

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“GEOLOGÍA Y CONTAMINACIÓN POR FUENTES  
HIDROTERMALES: CASO RÍO OLLACHEA –  
CARABAYA – PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JUVENAL BARRAZA CABALLERO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

“GEOLOGÍA Y CONTAMINACIÓN POR FUENTES  
HIDROTERMALES: CASO RÍO OLLACHEA – CARABAYA  
– PUNO”

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

Bach. JUVENAL BARRAZA CABALLERO

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**



**APROBADA POR:**

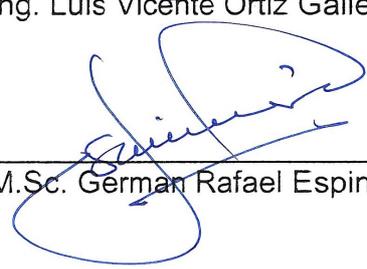
**PRESIDENTE:**

  
M.Sc. Emiliano Saturnino Guevara Guerra

**PRIMER MIEMBRO:**

  
Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
M.Sc. German Rafael Espinoza Rivas

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
M.Sc. Flavio Rosado Linares

**Área : Seguridad y Medio ambiente**

**Tema : Geología y medio ambiente**

Tesis sustentada: 20 de diciembre de 2017

## DEDICATORIA

A Dios, que ilumino mis pasos a lo largo de mi vida académica e intelectual, por mostrarme tantas señales cada día que hacen que decida pensando.

A mis padres que con mucho sacrificio me brindaron dedicación y esfuerzos, para mi superación constante para así lograr una formación ética y moral, por ser ellos quien merecen todos los logros, por haber hecho de mí la persona que soy, por darme siempre su apoyo incondicional hasta en los peores momentos, por mostrarme que la vida es para ser felices.

A mis hermanos, hermanas y amigos por el apoyo moral que me brindan a diario, gracias por sus palabras de aliento en todo este tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

La culminación de la presente tesis ha sido un trabajo que me ha llenado de muy buenas experiencias, ha enriquecido mis conocimientos y me ha enseñado a que, si uno trabaja constantemente y se rodea de excelentes personas, todo puede ser más sencillo.

A mi Madre Juana Caballero Riquelme y mi Padre Ramón Barraza Garcés, por ser mi fuente de inspiración para lograr lo que me proponga.

A toda mi familia, por estar a mi lado y por compartir esos momentos gratos y experiencias inolvidables en esta etapa de mi vida.

A mis amigos Ademir Yucra, Omar Vizcarra y Walter Godiel por su apoyo incondicional, por las tantas risas y cosas compartidas que hacen que la vida sea más amena y feliz.

Mis agradecimientos a mis profesores por las enseñanzas brindadas durante el transcurrir de mis estudios de formación profesional en las aulas de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Del Altiplano - Puno.

Mis agradecimientos especiales al M.Sc. Valentín Elías Fernández Valdivia, al Dr. Rolando Apaza Campos y al M.Sc. Flavio Rosado Linares por el apoyo técnico durante la ejecución de este trabajo de investigación.

Agradezco igualmente a todas y cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de la presente Tesis.

## INDICE

LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE ACRÓNIMO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XV
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Formulación del problema .....	3
1.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....	3
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.4.1 Objetivos generales.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	5
CAPITULO II .....	6
REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	6
2.1.1 Antecedentes de la Tesis .....	6
2.1.2 Antecedentes de investigación .....	8
2.2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1 GEOLOGÍA.....	11
2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	11
2.2.3 MINERALOGÍA ASOCIADA A FUENTES TERMALES.....	12
2.2.4 HIDROGEOLOGÍA .....	12
2.2.4.1 Permeabilidad.....	13
2.2.4.2 Nivel freático .....	13
2.2.4.3 Zona de recarga.....	14
2.2.4.4 Zona de descarga .....	14
2.2.5 GEOQUÍMICA .....	15
2.2.5.1 Clasificación de las aguas termales en función de su composición.....	16
2.2.5.2 Química de las aguas termominerales .....	17
2.2.5.3 Representación de datos hidroquímicos .....	19

➤ Diagramas de columnas.....	19
➤ Diagramas triangulares .....	19
➤ Diagramas poligonales .....	20
2.2.6 ACUÍFEROS .....	22
2.2.6.1 Según su textura.....	22
2.2.6.2 Según su comportamiento hidráulico .....	23
2.2.6.3 Según su comportamiento hidrodinámico .....	24
2.2.7 AGUAS TERMALES.....	25
2.2.7.1 Historia de Aguas minero medicinales en el Perú .....	26
2.2.7.2 Tipos de aguas termales.....	27
2.2.8 GEOTERMAL.....	28
2.2.9 ENTALPIA.....	29
2.2.10 VULCANISMO .....	29
2.2.11 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES.....	30
2.2.12 GRADIENTE GEOTÉRMICO.....	34
2.2.13 METALES PESADOS.....	35
2.2.14 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS.....	37
2.2.14.1 Salinidad .....	37
2.2.14.2 Temperatura .....	37
2.2.14.3 pH (potencial de hidrogeniones).....	38
2.2.14.4 Conductividad eléctrica .....	38
2.2.14.5 Dureza .....	39
2.2.14.6 Sólidos disueltos totales (TDS) .....	39
2.2.14.7 Oxígeno disuelto (DO) .....	39
2.2.14.9 Resistencia eléctrica ( $\Omega$ cm).....	40
2.2.15 ANTIMONIO (Sb).....	40
2.2.15.1 Distribución y usos .....	41
2.2.15.2 Efectos tóxicos del antimonio.....	41
2.2.15.3 Síntomas por intoxicación por antimonio.....	42
2.2.16 ARSÉNICO (As).....	42
2.2.16.1 Intoxicación aguda .....	43
2.2.16.2 Exposición a largo plazo (intoxicación crónica) .....	43
2.2.17 PLOMO (Pb).....	45
2.2.18 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	46
2.2.18.1 Tipos de contaminación ambiental .....	47
2.3 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	47
2.3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	47
2.3.2 ACCESIBILIDAD.....	48

2.3.3 GEOLOGÍA REGIONAL .....	49
2.3.3.1 GEOMORFOLOGÍA.....	50
2.3.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA.....	50
2.3.3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	63
2.3.4 HIDROGRAFÍA .....	66
2.3.4.1 Río Macusani.....	66
2.3.4.2 Río Corani.....	67
2.3.4.3 Río Ollachea .....	68
2.3.4.4 Río Oscococachi .....	69
2.3.4.5 Río Calachaca .....	69
2.4 NORMATIVIDAD LEGAL VIGENTE.....	70
2.4.1 NORMATIVIDAD SOBRE AGUAS RECREACIONALES Y MEDIO AMBIENTE .	70
2.4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PUNO .....	76
2.4.2.1 Ubicación, extensión y capital de la región.....	76
2.4.2.2 Breve reseña histórica de Ollachea.....	77
2.4.3 AGUAS TERMALES Y MINERALES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO .....	78
2.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE AGUAS TERMALES Y SU ORIGEN.....	78
2.4.5 DESARROLLO Y USO DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES .....	79
2.4.5.1 Aprovechamiento como uso turístico .....	79
2.4.5.2 Como uso de bebidas .....	80
2.5 FISIOGRAFÍA Y CLIMA .....	81
2.6 FAUNA Y FLORA.....	82
2.6.1 FAUNA .....	82
2.6.1.1 AVES.....	82
2.6.1.2 MAMÍFEROS .....	83
2.6.2 FLORA .....	83
CAPITULO III .....	85
MATERIALES Y MÉTODOS .....	85
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS .....	85
3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	85
3.2.1 ETAPA I: GABINETE .....	85
3.2.2 ETAPA II: TRABAJOS EN CAMPO .....	86
3.2.2.1 PARÁMETROS EN CAMPO .....	86
3.2.2.2 PARÁMETROS EN LABORATORIO.....	93
3.2.3 ETAPA III: TRABAJOS DE LABORATORIO.....	93
3.2.3.1 Análisis hidrogeológico de las fuentes .....	93
3.2.3.2 ICP-OES .....	94

3.2.4 ETAPA IV: GABINETE II .....	95
3.2.4.1 Análisis geológico de la zona de estudio.....	95
3.2.4.2 Interpretación de parámetros físico químicas .....	95
3.2.4.3 Interpretación de los metales pesados .....	96
CAPÍTULO IV.....	97
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	97
4.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	97
4.1.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	97
4.1.1.1 Agentes y factores de modelamiento geomorfológico .....	98
4.1.1.2 Unidades geomorfológicas.....	101
4.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL .....	108
4.1.2.1 Paleozoico .....	108
4.1.2.3 Rocas intrusivas.....	111
4.1.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	111
4.1.4.1 Tectónica .....	111
4.1.4.2 Identificación de estructuras.....	112
4.2 FUENTES TERMALES.....	113
4.2.1 Quinsa mayo (Ccollpani) .....	113
4.2.2 Piscina Municipal .....	114
4.2.3 Ccollpapampa.....	114
4.3 MUESTREO DE AGUA .....	115
4.3.1 UBICACIÓN DE MUESTRAS .....	115
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES TERMALES .....	116
4.4.1 TEMPERATURA Y CAUDAL.....	116
4.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS .....	116
4.4.3 RESULTADOS DE LABORATORIO.....	119
4.5 CALIDAD DEL AGUA DEL CUERPO RECEPTOR (RÍO OLLACHEA).....	123
4.5.1 PARAMETROS FÍSICO – QUÍMICOS .....	123
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
PAGINAS WEB CONSULTADAS.....	135
ANEXOS.....	136
➤ Mapas	
➤ Fichas de estación	
➤ Resultados de análisis de laboratorio	

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Descripción	Pag.
1	Interpretación de Diagrama de Piper.....	20
2	Diagrama de Stiff típicos .....	21
3	Esquema del origen mixto de las aguas termales .....	32
4	Depósitos de materiales cuaternarios .....	57
5	Curso del río Ollachea.....	68
6	Río Ollachea.....	68
7	Hidrograma de caudales en la estación Ollachea .....	69
8	Afloramiento de fuente hidrotermal Quinsa Mayo .....	79
9	Afloramiento de la fuente hidrotermal Ccollpapampa.....	79
11	Representación esquemática de un sistema geotérmico ideal.....	94
12	Geomorfología Local de Ollachea.....	98
13	Actividad antrópica (andenes).....	100
14	Nevado Allín Ccapac.....	102
15	<i>Valle en "U", "V"</i> .....	103
16	Cauces fluviales ocasionados por el río Macusani.....	104
17	Viviendas.....	106
18	Actividad antrópica .....	107
19	Parámetros físico químicos de pruebas in situ de calidad de aguas .....	118
20	Resultados "pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES)" .....	121

<b>21</b>	Diagrama de Piper para fuentes termales.....	105
<b>22</b>	Diagrama de Schoeller para fuentes termales.....	122
<b>23</b>	Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas del cuerpo receptor.	125
<b>24</b>	Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas del cuerpo receptor.	126

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pag.</b>
1	TIPOS DE ACUÍFEREOS .....	23
2	CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS .....	25
3	UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	48
4	ACCECIBILIDAD .....	49
5	LITOESTRATIGRAFÍA REGIONAL .....	63
6	ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUAS	75
7	CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES TERMALES SEGÚN SU FACTOR .	80
8	ESPECIES DE AVES IDENTIFICADAS EN EL PROYECTO OLLACHEA	83
9	ESPECIES DE MAMÍFEROS IDENTIFICADAS EN EL PROYECTO OLLACHEA .....	83
10	MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR .....	85
11	SISTEMAS Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS .....	107
12	PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS TERMALES .....	115
13	PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR.....	115
14	PUNTOS DE ANALISIS IN SITU .....	115
15	TEMPERATURA Y CAUDAL .....	116
16	RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE PRUEBAS IN SITU DE CALIDAD DE AGUAS.....	117
17	RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS SEGÚN LABORATORIO.....	117
18	PUNTOS COMPARADOS SEGÚN LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL .....	119



<b>19</b>	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA (ICP - OES).....	119
<b>20</b>	RESULTADOS DE PRUEBAS IN SITU DE CALIDAD DE AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR .....	124

**LISTA DE ACRÓNIMO**

- IARC: Agencia internacional para la investigación sobre el Cáncer.
- MEM: Ministerio de Energía y Minas.
- INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- MINAM: Ministerio del Ambiente.
- ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).
- OMS: Organización Mundial de la Salud.
- FAO: Organización de las Nacionales Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- ECA: Estándares de Calidad Ambiental.
- LMP: El Límite Máximo Permisible.
- SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú.
- FITEC: Congreso Internacional de Termalismo y Climatismo.
- UNA: Universidad Nacional del Altiplano.
- MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- IARC: Agencia internacional para la investigación sobre el Cáncer.
- EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environment Protection Authority).
- MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones.

## LISTA DE ABREVIATURAS

COP:	Contaminantes orgánicos persistentes.
WGS84:	World Geodetic System 84
UTM:	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (Universal Transverse Mercator).
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System).
ICP-OES:	Espectroscopia de Emisión de Plasma Óptica Inductivamente Conectada (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry).
GIS:	Sistema de información geográfica (geographic information system).
TDS:	Sólidos disueltos totales
LAS:	Laboratorios Analíticos del Sur
EPP:	Equipo de protección personal
DO:	Oxígeno disuelto
pH:	Potencial de hidrogeniones
°C:	Grados centígrados
Atm:	Atmosfera
Sal:	Salinidad
ORP:	Capacidad de reducción del oxígeno
Ha:	Hectáreas

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar

MAO: Monitoreo ambiental Ollachea

PC: Puesto de control

HACER: Hidroarsenicismo crónico regional endémico

Ing.: Ingeniero

Km: Kilometro

Dptos: Departamentos

mEq: Miliequivalente

$\mu$ S: Microsiemens

Vol: Volumen

SW: Suroeste

SE: Sureste

NW: Noroeste

NE: Noreste

Ag: Plata

K: Potasio

Al: Aluminio

Li: Litio

As: Arsénico

Mg: Magnesio

B: Boro

Mn: Manganeso

Ba: Bario

Mo: Molibdeno

Be: Berilio

Na: Sodio

Ca: Calcio

Ni: Níquel

Cd: Cadmio

P: Fósforo

Co: Cobalto

Pb: Plomo

Cr: Cromo

Sb: Antimonio

Cu: Cobre

Se: Selenio

Fe: Fierro

SiO<sub>2</sub>: Óxido de Silicio

Sn:	Estaño	mg/L:	Miligramos por Litro
Sr:	Estroncio	ed.:	Edición.
Ti:	Titanio	s.f:	Sin fecha.
Tl:	Talio	p. (pp.):	Página (páginas)
V:	Vanadio	núm:	Número
Zn:	Zinc	et al.:	Proviene del latín et allis
UND:	Unidad		

## RESUMEN

El área de estudio se encuentra ubicado en la Región de Puno, Provincia de Carabaya, Distrito de Ollachea, donde el objetivo fue evaluar las características geológicas y su relación con las características fisicoquímicas que presentan las aguas termales que afloran en el distrito de Ollachea, determinar el nivel de contaminación del río Ollachea por dichas fuentes y sus impactos ambientales.

Las fuentes termales que se evaluaron por sus parámetros fisicoquímicos así también por ICP son: fuente termal Quinsa Mayo (MAO-1), Piscina Municipal (MAO-2) y Ccollpapampa (MAO-3).

El trabajo de investigación es de tipo descriptivo – experimental, la técnica que se empleó para el desarrollo del trabajo es por métodos Hidroquímicos, sabiendo que las fuentes hidrotermales de uso recreacional, debido a que emanan aguas de alta temperatura, transportan diversos minerales disueltos al estado molecular e iónico, muchas de estas aguas presentan en su composición elementos ambientalmente tóxicos. Según las cuales ingresan directamente a los cuerpos de agua, alterando la composición fisicoquímica de aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, estas constituyen un invaluable recurso desde el punto de vista turístico, económico, cultural y social. En la localidad de Ollachea, las fuentes termales de emisión dispersa ingresan directamente al río Ollachea, cuyo grado de afectación toxicológica sobre la calidad de aguas es puntual, río abajo las concentraciones no superan los límites de detección de los estándares de calidad ambiental para agua.

Las referidas fuentes afloran de sistemas de fracturamiento controladas por fallas inversas Paquillusi, Ollachea sobre las rocas de la formación Mitu y Ananea, en cuya composición presentan especies minerales de sulfuros

portadores de metales pesados como la arsenopirita, calcopirita, pirita, moscovita, galena y clorita.

Las fuentes termales MAO-01, MAO-03 son aguas de tipo Clorurada y/o Sulfatada, Cálcida y/o Magnésica, la fuente termal MAO-02 es de tipo Clorurada y/o Sulfatada Sódica.

**Palabras claves:** Geología, Contaminación, Fuente Termal - Ollachea, Monitoreo.

## ABSTRACT

The study area is located in the Puno Region, Carabaya Province, Ollachea District, where the objective is to evaluate the geological characteristics and their relationship with the physicochemical characteristics of the thermal waters that emerge in the Ollachea district and determine the level of contamination of the Ollachea River by said sources and their environmental impacts.

The hot springs that were evaluated by their physicochemical parameters so too by ICP are: Quinsa Mayo hot spring (MAO-1), Municipal Swimming Pool (MAO-2) and Ccollpapampa (MAO-3).

The research work is of descriptive - experimental type, the technique that is used for the development of the work is by Hydrochemical methods, knowing that the hydrothermal springs of recreational use, because they emit high temperature waters, transport various dissolved minerals to the molecular and ionic state, many of these waters have in their composition environmentally toxic element. Through which they enter directly to the bodies of water, altering the physicochemical composition of surface and groundwater. However, these constitute an invaluable resource from the tourist, economic, cultural and social point of view. In the locality of Ollachea, the hot springs of dispersed emission enter directly to the Ollachea river, whose degree of toxicological affectation on the quality of the waters is punctual, downstream the concentrations do not exceed the limits of detection of the environmental quality standards for water.

The mentioned springs emerge of fracture systems controlled by the reverse faults Paquillusi, Ollachea on the rocks of the Mitu and Ananea formation, in

whose composition there are sulfide minerals carrying heavy metals such as arsenopyrite, chalcopyrite, pyrite, muscovite, galena and chlorite.

The MAO-01, MAO-03 hot springs are Chlorinated and/or Sulphatic, Calcic and/or Magnesian Waters, the hot spring MAO-02 is Chlorided and/or Sodic Sulphated water.

**Keywords:** Geology, Pollution, Hot Spring - Ollachea, Monitoring.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 ANTECEDENTES

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se tiene como información base los estudios realizados de:

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, es la única institución que ha realizado estudios geológicos a nivel regional a una escala 1/100 000, así como también estudios sobre las fuentes termales, con publicaciones como “Aguas Minerales del Perú” (Zapata, 1973) y posteriormente “Hidrotermalismo en el Sur del Perú” (Steinmüller y Zavala, 1997), “Hidrotermalismo en el Sur del Perú (Sector Cailloma - Puquio)” (Steinmüller y Núñez, 1998), “Aguas Termales y Minerales en el Suroriente del Perú (Dptos. Apurímac, Cuzco, Madre de Dios y Puno)” (Huamaní, 2001). En estos inventarios se muestran estudios geológicos y geoquímicos realizados en zonas de mayor interés, con el objetivo de conocer el origen y las características de las aguas termales, para que de acuerdo a estos resultados podamos definir posibles usos.

SUR PERÚ, mediante el “programa de monitoreo ambiental – primer informe de monitoreo ambiental exploración km 232”, presentado el 28 de febrero del 2015 por SUR PERÚ, realiza la valoración de los componentes ambientales evaluados, con referencia a los estándares de calidad ambiental para agua y

estándares internacionales (Banco mundial y EPA), indicando el estado actual de los parámetros de las fuentes termales y su análisis químico.

La Geología de Ollachea es poco conocido sin embargo Luque (2013) y Vilca (2010) en sus trabajos de investigación hacen mención la geología de la zona de Ollachea.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Indudablemente los temas ambientales hoy en día son de mucha relevancia, es el motivo que instituciones públicas y privadas estudian el caso y ven su remediación; sabiendo que el país, por ende, la parte Norte de la región de Puno, se caracteriza por presentar fuentes hidrotermales, de temperatura y composición química variable. Las diferentes fuentes de aguas termales en el país y en la región de Puno, cumpliendo algunos parámetros de calidad ambiental se les pueden dar diferentes usos como energía geotérmica y balnearios.

La fuente termal a estudiar está ubicada en Quinsa mayo, Ccollpapampa y Piscina Municipal del Distrito de Ollachea, provincia de Carabaya y la región de Puno.

El desconocimiento de los pobladores de Ollachea Sobre la calidad del agua y su composición (mineralógica, microbiológica) hace que utilicen el agua para su uso personal (balneario, cocción de alimentos) ya que las aguas subterráneas contaminadas pueden acarrear diferentes tipos de enfermedades y otras reacciones en los seres humanos.

### **1.2.1 Formulación del problema**

Con la finalidad de contribuir a la geología y la sociedad a prevenir los impactos socio económicos y ambientales ocasionados por fuentes hidrotermales de origen natural, por lo cual es conveniente la generación de información técnica - científico y uso de procedimientos técnicos de análisis para el aprovechamiento y/o solución de problemas ocasionados por la tierra.

De acuerdo a las razones mencionadas en párrafos anteriores, podemos formular las siguientes interrogantes de investigación:

- a) ¿Cuál es la relación de la geología y la geoquímica de las aguas subterráneas de Quinsa mayo, Piscina Municipal y Ccollpapampa?
- b) ¿Cuáles son las características físico - químicas que presenta las aguas termales y los cuerpos receptores de Ollachea?
- c) ¿Las aguas subterráneas de Ollachea, presentan algún nivel de contaminación?

### **1.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

La surgencia de la fuente hidrotermal y su composición fisicoquímica está relacionada con las diferentes estructuras geológicas existentes en el lugar, donde éstas fuentes vierten sus aguas, alterando la composición química del río Ollachea, pudiendo generar contaminación.

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 Objetivos generales**

Evaluar las características geológicas y su relación con las características fisicoquímicas que presentan las aguas termales que afloran en el distrito de

Ollachea y determinar el nivel de contaminación del río Ollachea por dichas fuentes y sus impactos ambientales.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las condiciones geológicas que presenta la zona de Ollachea.
- Identificar los tenores de contaminación en las fuentes hidrotermales de Ollachea.
- Determinar los niveles de contaminación del río Ollachea, ocasionado por las fuentes hidrotermales de Ollachea.

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La justificación de este proyecto incide en la mejora de la calidad de vida, salud y salvaguarda de los ecosistemas a través de un conocimiento científico más preciso de los procesos que tienen lugar en el río, gracias a la capacidad de disponer de una herramienta para evaluar y gestionar la calidad de las fuentes hidrotermales y del río Ollachea.

Según el estudio por SUR PERU en marzo 2015, reporta la presencia de metales como antimonio y arsénico en concentraciones superiores a los ECA's en uno de los afloramientos de fuentes termales, dichos elementos químicos son cancerígenos y los lugareños dan uso primario a estas aguas, exponiéndose a las enfermedades diariamente; estos son algunos motivos que nos impulsa a realizar la presente investigación con la finalidad de encontrar soluciones idóneas a la contaminación ambiental, como prevenir y cómo actuar frente a este problema, a la vez la ejecución del proyecto contribuirá a un avance significativo del conocimiento científico así como, para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

## 1.6 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

La Investigación estará delimitada espacialmente a las fuentes termales de la Piscina Municipal de Ollachea, Ccollpapampa y Quinsa mayo, que se encuentran ubicadas a 0.8, 1.5 y 2.5 km, y a una altitud de 2700, 2750 y 3300 m.s.n.m. respectivamente, de la plaza de armas del pueblo de Ollachea.

El área de investigación se encuentra en su alrededor del pueblo de Ollachea, pero donde se tomó mayor prioridad es al lado Sur de este pueblo donde se encuentran las fuentes termales, por el Sur del área en estudio se encuentra la quebrada de Quinsa Mayo y Chahuana, al lado Este se encuentra el cerro Qoscco Orcco, al Oeste se encuentra las quebradas del río Macusani, Corani y Oscococachi, y al lado Norte se ubica el valle del río Ollachea.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

##### 2.1.1 Antecedentes de la Tesis

LUQUE CONDORI, EDGAR D. (2013) en su tesis para optar el grado de ingeniero cuyo título es “Geología económica del proyecto Ollachea, distrito Ollachea – Carabaya - Puno” menciona que la Formación Ananea, que comprende pizarras negras, metamorfizadas, intensamente foliadas y ligeramente plegadas, son rocas caja de la mineralización aurífera y esta se encuentran controladas por sistema de fallas inversas y fallas subparalelas a estas con buzamiento al norte y orientación este - oeste que controlan los emplazamientos de mineralización en zonas de cizalla.

VILCA MAQUERA, ELENDÍN A. (2010) en su tesis para optar el grado de ingeniero cuyo título es “Evaluación estructural del proyecto Ollachea” afirma que los análisis estructurales demuestran que la zona de estudio fue afectada inicialmente por esfuerzos compresivos  $N40^{\circ}W - S40^{\circ}E$  y esfuerzos distensivos de dirección  $N40^{\circ}E - S40^{\circ}W$ . El primero de estos es responsable de plegamientos locales y el segundo por consecuencia de un sistema de cizallamiento sinistral; que regionalmente corresponde a un sistema de cizalla

Riedel enmarcando dominios estructurales como el Quicho y Tantamaco, y su correspondiente falla antitética (falla Oscocchachi).

YUPANQUI TORRES, EDSON G. (2006) en su tesis para optar el grado de Magíster en Química, "Análisis Fisicoquímico de Fuentes de Aguas Termominerales del Callejón de Huaylas" hace una caracterización de fuentes termales acorde a los análisis hechas, entre propiedades físicas, contenido de metales, no metales y gases libres. Determinando variaciones de las concentraciones de sus componentes químicos con el tiempo al compararse con resultados previos. Sus resultados le permitieron clasificar a las fuentes en base a su temperatura, contenido mineral, presión osmótica y componentes mayoritarios, además permiten orientar sus aplicaciones, resultando ser El Pato hipertermal, La Merced termal, Chancos hipertermal, Monterrey termal, de los resultados se deduce que estas aguas no son aptas para la alimentación y agricultura, son aguas medicinales, por tanto se deben fijar estrategias para incentivar el turismo de salud termal en el Callejón de Huaylas.

BARRIONURVO INCA ROCA, YAMIL A. (2004) en su tesis para optar el grado de Magíster en Administración, "La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos" menciona que el presente estudio constituye un análisis de las Aguas termales de Machu Picchu y los circuitos turísticos, existentes en el curso en especial el desarrollo de un nuevo circuito turístico denominado Circuito de Salud.

Por otro lado, también hace mención que las aguas termales de Machu Picchu, surgen de roca granito, por las disyunciones irregulares que tiene (fracturas naturales de la roca).

SANCHEZ RODRIGUES, LUIS. (2000) En su tesis para optar el grado de Maestro en ciencias del agua de título “Hidrogeoquímica del sistema hidrotermal San Diego de los Baños – Bermejales, Pinar del Río” hace una clasificación de las aguas minerales según sus características físico – químicas y otros en: I) clasificación de las aguas por su génesis, II) clasificación hidroquímico, III) clasificación de las aguas minero medicinales por su composición, IV) clasificación de las aguas minero medicinales por su composición.

### 2.1.2 Antecedentes de investigación

En los trabajos de investigación del INGEMMET (2001), Boletín N° 24, serie D: estudios regionales, de título “*aguas termales y minerales en el suroriente del Perú (Dptos.: Apurímac, Cusco, Madre de Dios y Puno)*”; indica que la surgencia de fuentes termales y termo minerales tienen una orientación noroeste-sureste, paralelo a las estructuras andinas y/o antiandinas donde estas fuentes son controladas por fracturas, fallas locales, regionales de rumbo ya mencionado. Aquellas ubicadas al Norte de Puno, deben su calentamiento a la acción de los intrusivos presentes en sus alrededores. Estas aguas surgen de areniscas del Ordovícico (Formación Sandia).

Por otra parte, las fuentes termales de la piscina Municipal de Ollachea, la fuente termal Ccollpapampa y la fuente termal Calachaca, son mencionadas y caracterizadas en este trabajo.

INTERSUR CONCESIONES, mediante el “*programa de monitoreo ambiental – primer informe de monitoreo ambiental exploración km 232*”, realizado el 28 de febrero del 2015. Realiza la valoración de los componentes ambientales evaluados, con referencia a los estándares de calidad ambiental para agua y

estándares internacionales (banco mundial y EPA), indicando el estado actual de los parámetros de las fuentes termales y su análisis químico.

YORIO, ALBERTO A. Y MUZIO, RUBÉN N. (2013) en su paper, "*Contaminación de las fuentes de agua y sus efectos en el sistema nervioso y la conducta*" hace mención que el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) es una enfermedad grave de larga evolución provocada por la presencia en el entorno ambiental de aguas de bebida contaminadas con altas concentraciones de arsénico inorgánico (As). Llamada también arsenicosis, en Argentina fue conocida inicialmente como Enfermedad de Bell Ville. Esta enfermedad se caracteriza por presentar, luego de un período variable de exposición, lesiones en la piel y distintas alteraciones sistémicas, generando en algunos casos distintos tipos de cáncer. Estudios recientes han demostrado que la población infantil expuesta durante el período prenatal y posnatal puede tener menor desempeño neuro-conductual que los niños no expuestos.

APAZA CAMPOS, ROLANDO F. Y CALCINA BENIQUE, MIGUEL E. (2014) en su artículo de investigación "*Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno*" determinan que la ocurrencia de arsénico en aguas subterráneas, está relacionado a dos condiciones fisicoquímicas que explican la movilidad del arsénico disuelto total (As) en función con el oxígeno disuelto (OD). Evidencian que a valores altos de OD se presentan altas concentraciones de arsénico, esta relación directa muestra condiciones oxidantes debido a la poca profundidad de la superficie freática donde el oxígeno disuelto está presente relativamente en mayor concentración.

En Carancas, las aguas provenientes de acuífero confinado muestran que a valores bajos de oxígeno disuelto se presentan altas concentraciones de

arsénico, evidenciando condiciones de ambiente reductor del acuífero confinado; el arsénico presente en el agua, es liberado de los óxidos de hierro cuando las condiciones del medio son reductoras.

Donde se llega que las características observadas en Huata y Carancas evidencian que el arsénico puede estar presente en ambientes oxidantes, como en ambiente reductor.

PEÑA, FLUQUER; SIMA, JIRI Y BARATOUX, LENKA. (2006) en su artículo *“hidrogeología de las fuentes termales de Cajamarca y Churín para el desarrollo de las aguas termales y minerales”* después de hacer Geología de Cajamarca y Churín, hacen constar que las fuentes termales y minerales en Baños del Inca – Cajamarca incluyen dos grupos de fuentes, Tragadero y Perolitos, el ambiente donde se forman son areniscas cuarzosas del acuífero Chimú, los elementos geológicos estructurales condicionan la surgencia de las fuentes termales y minerales.

Hacen un tratamiento hidroquímico de las fuentes termales de Cajamarca y Churín, de las cuales concluyen que estas aguas son aptas para el uso en hidroterapias, balneología, para el tratamiento de enfermedades tales como artritis reumática, enfermedades neurológicas, las del sistema locomotor, enfermedades de la piel, incluso cardiovascular.

RESTREPO MARTINEZ, CATALINA. (2004) en su Paper *“las fuentes hidrotermales y los metales pesados”* menciona que existe una estrecha relación entre las aguas hidrotermales y los metales pesados, en la mayoría de los casos su origen es igual, y esta relación se incrementa probablemente con la temperatura, menciona también que el Se, Ba, As y Cu sobrepasan la norma de calidad de agua, las cuales no se deben a contaminaciones antrópicas.

CRUZ VICETINA Y MATSUDA KOJI. (2007) en su Paper “*Caracterización geoquímica de las fuentes termales en el campo geotermal de calientes, Tacna*” realizaron el estudio mediante la aplicación de métodos geoquímicos para la interpretación de las características químicas e isotópicas de las aguas termales y su aplicación en la geotermia, llegando a denominar que las aguas termales se clasifican dentro de aguas cloruradas – sódicas o alcalinas, característico de aguas provenientes de reservorios geotermiales profundos.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 GEOLOGÍA**

El concepto de geología proviene de dos vocablos griegos: geo = tierra y logos = estudio. Se trata de la ciencia que estudia el interior y exterior del globo terrestre. De esta manera, la geología se encarga del estudio de las materias que forman el globo y de su mecanismo de formación. También se centra en las alteraciones que estas materias han experimentado desde su origen y en el actual estado de su colocación.

### **2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La geología estructural es la disciplina científica que se ocupa del estudio de la deformación de la corteza tanto a escala pequeña como a gran escala. Su alcance es vasto, cubriendo desde el estudio de los defectos en los arreglos atómicos de los cristales hasta la estructura de las fallas y sistemas de pliegues en la corteza de la tierra. El principal objetivo de la geología estructural es medir la deformación en la corteza para entender cuál fue la historia de deformación registrada por las rocas y cómo, cuándo y por qué se acumuló esta deformación.

### 2.2.3 MINERALOGÍA ASOCIADA A FUENTES TERMALES

Las fuentes termales ascienden desde profundidades donde se han originado diversos procesos, entre ellos el intercambio fisicoquímico agua – roca, que otorgan al agua propiedades fisicoquímicas peculiares que dependen del tipo de roca, profundidad y distancia de recorrido principalmente, al aflorar estas aguas llegan a tener minerales en forma iónica en su composición.

### 2.2.4 HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología es una rama de las ciencias geológicas (dentro de la Geodinámica Externa), que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación, así su definición dice «La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación» (*Mijailov, L. 1985. Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p*)

Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, como así también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos.

#### 2.2.4.1 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material y su estructura.
- La viscosidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que permitan un paso fácil del fluido a través del material. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material. Fuente: Wikipedia

#### 2.2.4.2 Nivel freático

El nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea.

Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno. En el caso de un acuífero confinado, el nivel del agua que se observa en el pozo corresponde al nivel piezométrico.

La presión por debajo del nivel freático se mide con un piezómetro que es un tubo que se introduce en el agua subterránea dejando una abertura al fondo del tubo. El nivel del agua en el piezómetro puede estar al nivel freático, por encima de este nivel, o por debajo. Se llama el nivel piezométrico o potencial hídrico. Cuando el nivel piezométrico es relativamente alto existe un flujo descendente de agua subterránea. Al revés existe un flujo ascendente. Fuente: Wikipedia

#### **2.2.4.3 Zona de recarga**

La identificación de estas zonas es más complicada debido a que el agua se infiltra y no se tiene evidencia superficial como en las de descarga, a menos que se cuente con presupuesto suficiente para perforar y tomar muestras de suelo y subsuelo en condiciones específicas. No obstante, un primer indicador está asociado con la conductividad hidráulica de la roca, la cual puede permitir la infiltración del agua de lluvia; un segundo es que tal roca se localice en una elevación topográficamente alta. En la zona de recarga el nivel freático se encuentra profundo, el suelo es ácido y poco desarrollado con poca cantidad de materia orgánica, baja concentración de sodio y/o sales. La vegetación es xerófila, esto es, adaptada a un ambiente relativamente seco, con raíz larga para alcanzar captar el agua infiltrada en su camino al nivel freático.

#### **2.2.4.4 Zona de descarga**

Una zona de descarga es la evidencia más viable de identificar el funcionamiento del agua subterránea, es el sitio donde el agua aflora (superficie) y representa la fase final de recorrido del flujo subterráneo; así, el agua ha adquirido propiedades particulares (salinidad, temperatura, pH, OD, entre otros) teniéndose una continuidad específica de caudal en el tiempo que condiciona la presencia de determinado suelo y de una vegetación acorde con las variables del caso.

Una zona de descarga puede estar representada por un manantial, lago, suelo salino, vegetación controlada por la salinidad del agua-suelo, y/o un nivel de agua subterránea somero. Entre mayor ha sido el recorrido (tiempo de residencia) del agua subterránea en el subsuelo, se han originado diversos procesos, entre ellos el intercambio fisicoquímico agua-roca, que otorgan al agua propiedades fisicoquímicas peculiares que dependen del tipo de roca, profundidad y distancia de recorrido, principalmente. La descarga de agua subterránea ocurre a una elevación topográfica más baja que donde se origina la recarga. Fuente: Liliana A. Peñuela Arévalo J. Joel Carrillo Rivera.

### 2.2.5 GEOQUÍMICA

La geoquímica es la ciencia que tiene por objeto el reconocimiento de la distribución de los elementos químicos en la tierra, estudia las reacciones químicas que ocurren en la superficie terrestre y en su interior, leyes que gobiernan la distribución de elementos químicos y sus isótopos en la tierra.

*Fuente: D. Rojas, J. Paredes (2008) Compendio de geología general.*

La geoquímica es una especialidad de las ciencias naturales que, sobre la base de la geología y de la química, estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa, su distribución así como la migración de dichos elementos entre las diferentes geósferas que conforman la Tierra (litósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera) utilizando como principales evidencias las transformaciones de rocas y minerales componentes de la corteza terrestre, con el propósito de establecer leyes sobre las cuales se basa tal distribución. Gonzales, F. (1972)

### 2.2.5.1 Clasificación de las aguas termales en función de su composición

Las fuentes termales, se clasifican de acuerdo a su contenido variable de elementos químicos, según sea la mayor cantidad de sustancia que predomina.

Estos se clasifican de la siguiente manera:

**Aguas Bicarbonatadas:** Se recomiendan para el tratamiento del aparato digestivo y trastornos hepáticos. Principalmente se administran en inhalaciones y bebida.

**Aguas Carbónicas o Carbogaseosas:** Estimulan el apetito, su bebida aumenta la secreción gástrica y limpian el tubo digestivo y el estómago. El baño produce vasodilatación arteriolar y se utiliza tratar arteriopatías.

**Aguas Cloruradas:** Proviene de las profundidades de la tierra, sus composiciones son muy variadas. Su toma en baños es relajante y se utilizan como terapia en lesiones óseas y reumatismo. También se aplican en duchas y aspersiones.

**Aguas Ferruginosas:** Su composición es rica en hierro. Se recomienda su uso en problemas de piel y reuma. Se administra como complemento a dietas adelgazantes y para tratar enfermedades sanguíneas y anemias. Pueden ser bicarbonatadas o sulfatadas.

**Aguas Sulfatadas:** Se subdividen en:

- Sódicas y magnésicas, su uso es generalmente en bebida y tienen efectos laxantes.
- Sulfatadas cloruradas, se utiliza en bebida para problemas del aparato digestivo.

- Sulfatadas cálcicas y sulfatado-bicarbonatadas-cálcicas, se aplican en afecciones gástricas, intestinales y hepáticas.

**Aguas Sulfuradas:** Se recomiendan por su acción sobre la piel (psoriasis, quertosis y eccemas), el aparato locomotor y respiratorio (laringitis, rinitis y bronquitis). Tienen un olor parecido al de los huevos podridos. Se utilizan en forma de bebidas, baños o inhalaciones.

**Aguas Radiactivas:** Recomendadas para tratar el estrés por sus efectos sedantes y para procesos alérgicos. También se usan en algunas afecciones del aparato digestivo, endocrino e inmunológico. Generalmente contienen radón un gas noble radiactivo, el nivel de radiación de estas aguas es bajo y no supone un peligro para la salud.

**NOTA:** La información sobre los tipos de aguas que se ofrece en esta página son recopilaciones de diferentes fuentes y en ningún caso se aceptará ninguna responsabilidad por daños causados por el uso de dicha información. Son los médicos y los profesionales que trabajan en las instalaciones de hidroterapia los que deben informarle sobre la idoneidad de cualquier tratamiento en función de su estado de salud, consúlteles antes de iniciar cualquier tratamiento y siga sus indicaciones.

Consulte siempre a un médico antes de hacer uso de cualquier información de esta página, las indicaciones de su médico siempre han de prevalecer frente a las de esta página.

#### **2.2.5.2 Química de las aguas termominerales**

Las aguas termominerales llamadas minero medicinales, son las mejores para un tratamiento medicinal, desde el punto de vista médico se distinguen de otras

aguas por sus acciones fisiológicas, como por sus propiedades físicas, físico - químicas y químicas (ARMIJO, V., (1968), CATALAN LA FUENTE, J., (1969), KEMMER Y Mc CALLION, (1989)). Por esta razón, la evaluación química es la base para la clasificación de estas aguas, reconociendo a los iones predominantes en su composición e iones que tienen un marcado valor terapéutico.

Las características vigentes de las aguas minero medicinales, se fijaron en el Congreso Internacional de Cronología Médica en Nauheim, Alemania (1912): “Agua minero medicinal corresponde a las aguas que contienen más de **1 g de materias fijas disueltas en 1000 g de agua**, además de un contenido de gas carbónico y de ciertas materias raras encontradas en ella. Finalmente, estas aguas deben tener una temperatura permanentemente mayor que el promedio anual de la temperatura del lugar de la fuente” (PRAZAK, L., Lima - Perú (1949)).

Según el contenido mineral y en base a la definición mencionada, estas aguas medicinales se dividen en dos grupos:

- Aguas medicinales mineralizadas, contienen 1 g o más de materias fijas disueltas por litro.
- Aguas medicinales oligomineralizadas o aguas medicinales mineralizadas simples, que contienen menos de 1 g de materias fijas disueltas y que se distinguen por su contenido de componentes raros farmacodinámicamente eficaces o por su temperatura elevada.

La tendencia actual de clasificación de estas aguas, consiste en considerar sólo a los componentes mayoritarios, expresados en porcentajes de miliequivalentes iónicos mayores a un 20 % (1, 5), lo cual es más apropiado y puede proporcionar

datos de gran valor para deducir consecuencias farmacodinámicas y terapéuticas.

### 2.2.5.3 Representación de datos hidroquímicos

Para la representación de los datos obtenidos en los laboratorios tenemos los métodos gráficos que son las siguientes, pero antes los valores para el ploteo en estos gráficos tienen que estar en unidades de miliequivalentes, para convertir miligramos (mg) en miliequivalentes (mEq) se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{mg}{\text{peso atómico}} \times \text{valencia} = \text{mEq}$$

#### ➤ Diagramas de columnas

Diagrama de Schoeller – Berkaloff o de Columnas Verticales se representa el valor en miliequivalentes por litro (mEq/l) de distintos aniones, cationes o una suma de ellos, utilizando una escala logarítmica, y uniendo los puntos mediante una secuencia de líneas.

#### ➤ Diagramas triangulares

Diagrama Piper-Hill-Langelier

Los diagramas triangulares se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia. La suma de los tres componentes debe representar el 100% de la composición de lo que se considera.

En hidroquímico se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones. Veamos un ejemplo para situar un punto en un triángulo  $\text{Ca}^{++}$  /

$Mg^{++} / (Na^{++}+K^+)$  Un vértice representa el 100% de ese componente. Por el contrario, los puntos que contengan 0% de ese componente estarán en el lado opuesto al vértice correspondiente.

El vértice  $Ca^{++}$  representa 100% de  $Ca^{++}$ , mientras que todos los puntos del lado opuesto a ese vértice suponen 0% de  $Ca^{++}$ :

- 1.- Bicarbonatado Sódico
- 2.- Bicarbonatado Cálxico y/o Magnésico
- 3.- Clorurado y/o Sulfatado Cálxico y/o Magnésico
- 4.- Clorurada y/o Sulfatada Sódica

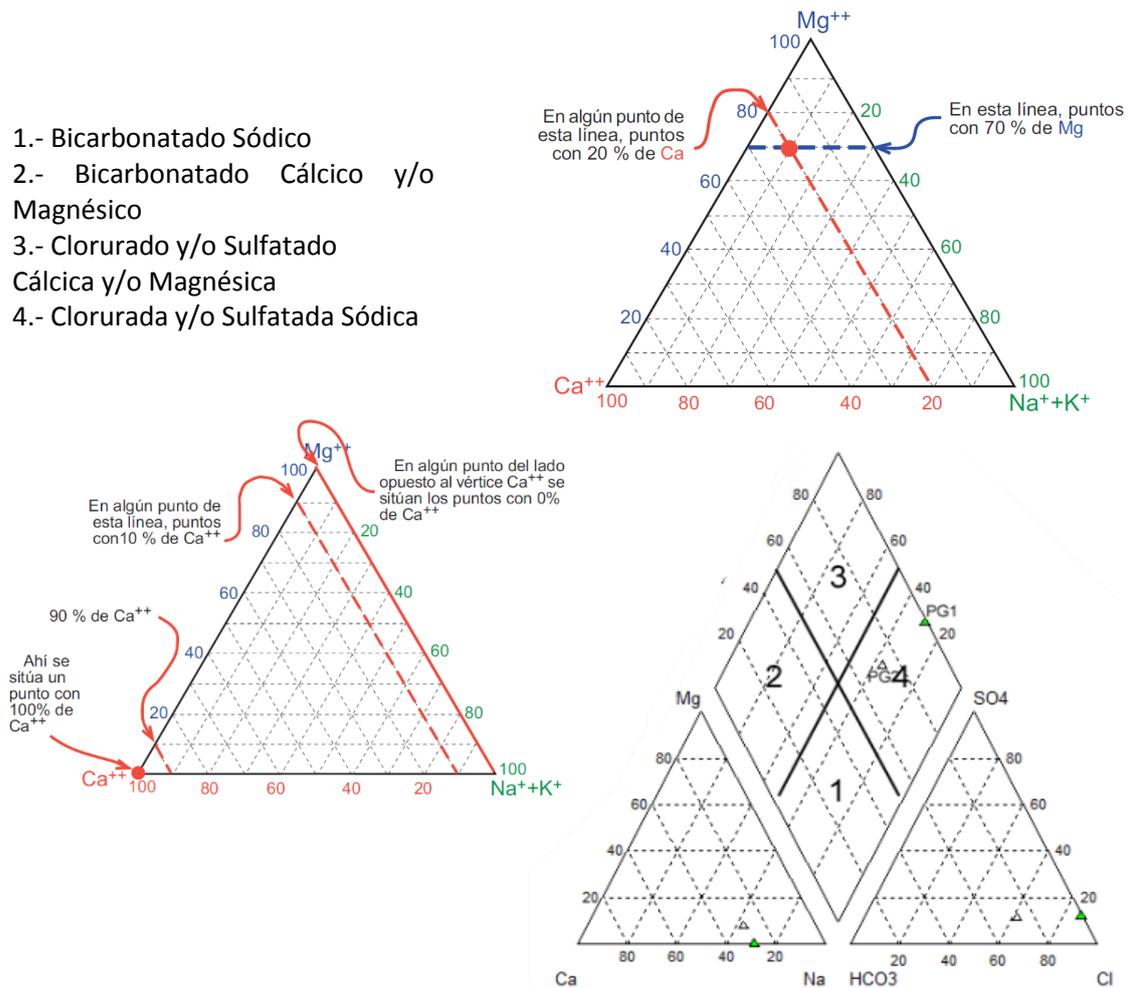


Figura N° 1 Interpretación de Diagrama de Piper

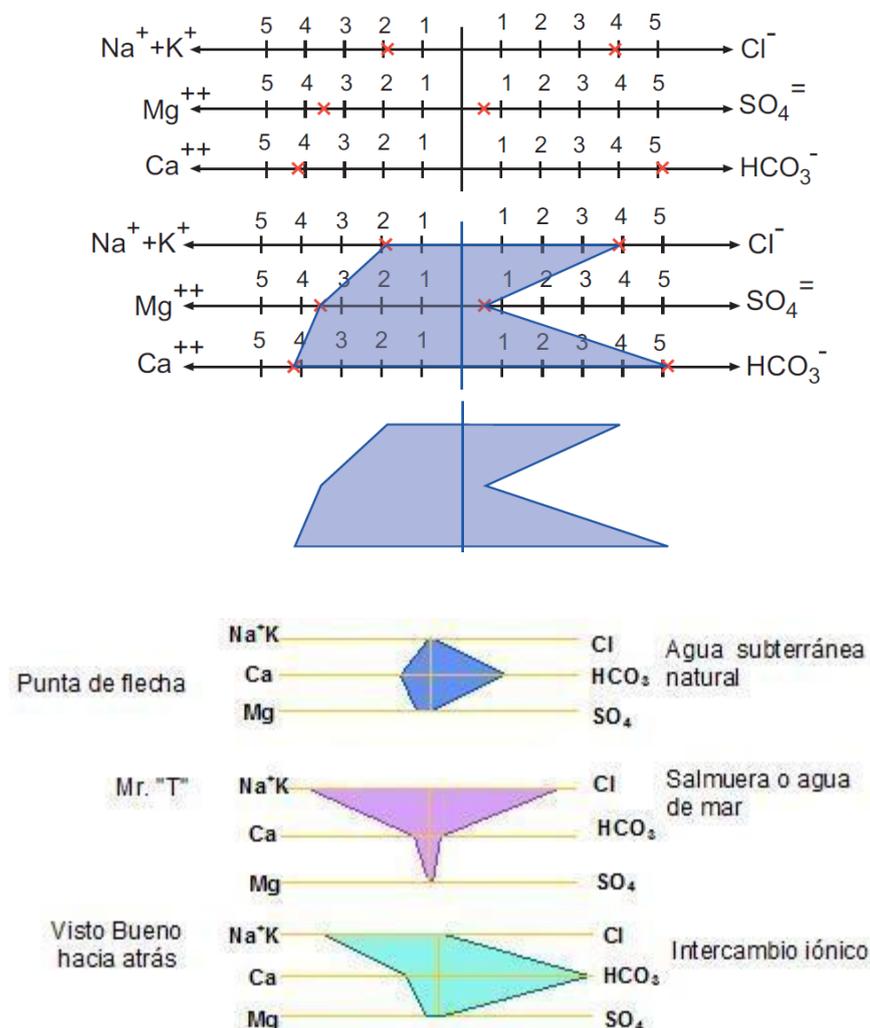
➤ Diagramas poligonales

Son polígonos (uno para cada análisis) que normalmente se situarán sobre un mapa para mostrar la distribución geográfica de la composición de las aguas. En

su forma más sencilla (y mejor) se forman con 3 ejes paralelos hacia la izquierda (cationes) y otros tres hacia la derecha (aniones) como puede verse en la figura.

1. En cada eje, representamos los valores en mEq/L.
2. Unimos los puntos formando un polígono, a ambos lados del eje vertical central.
3. Y finalmente no se representan los ejes, solamente el polígono y el eje central. Ver las figuras siguientes.

**Figura N° 2** Diagrama de Stiff típicos



## 2.2.6 ACUÍFEROS

Es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla.

Existen tipos de rocas, entre ellas la pizarra y la arcilla, que son porosas, pero que restringen el flujo de las aguas subterráneas.

### 2.2.6.1 Según su textura

Desde el punto de vista textural, se dividen también en dos grandes grupos: los porosos y fisurales.

En los **acuíferos porosos** el agua subterránea se encuentra como embebida en una esponja, dentro de unos poros intercomunicados entre sí, cuya textura motiva que existe "permeabilidad" (transmisión interna de agua), frente a un simple almacenamiento. Aunque las arcillas presentan una máxima porosidad y almacenamiento, pero una nula transmisión o permeabilidad (permeabilidad  $\ll$  porosidad). Como ejemplo de acuíferos porosos, tenemos las formaciones de arenas y gravas aluviales.

En los **acuíferos fisurales**, el agua se encuentra ubicada sobre fisuras o diaclasas, también intercomunicadas entre sí; pero a diferencia de los acuíferos porosos, su distribución hace que los flujos internos de agua se comporten de una manera heterogénea, por direcciones preferenciales. Como representantes principales del tipo fisural podemos citar a los acuíferos kársticos.

TABLA N° 1 TIPOS DE ACUÍFEROS			
			Porosos
Detrítico	Detrítico de matriz limosa	Detrítico de grano poroso	
Fisurado	Cárstico	Cárstico y poroso	

**Fuente:** <https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/16837007/Tipos-de-acuiferos.html>

*Elaboración propia.*

### 2.2.6.2 Según su comportamiento hidráulico

**Acuífero subestimado o libre.** - Es aquel acuífero que se encuentra en directo contacto con la zona subsaturada del suelo. En este acuífero la presión de agua en la zona superior es igual a la presión atmosférica, aumentando en profundidad a medida que aumenta el espesor saturado.

**Acuífero cautivo o confinado.** - Son aquellas formaciones en las que el agua subterránea se encuentra encerrada entre dos capas impermeables y es sometida a una presión distinta a la atmosférica (superior). Sólo recibe el agua de lluvia por una zona en la que existen materiales permeables, recarga alóctona donde el área de recarga se encuentra alejada del punto de medición, y puede ser directa o indirecta dependiendo de si es agua de lluvia que entra en contacto directo con un afloramiento del agua subterránea, o las precipitaciones deben

atravesar las diferentes capas de suelo antes de ser integrada al agua subterránea.

**Acuífero semi-confinado.** - Un acuífero se dice semi-confinado cuando el estrato de suelo que lo cubre tiene una permeabilidad significativamente menor a la del acuífero mismo, pero no llegando a ser impermeable, es decir que a través de este estrato la descarga y recarga puede todavía ocurrir.

**Acuíferos costeros.** - Los acuíferos costeros pueden ser libres, confinados o semi-confinados. Lo que la diferencia es la presencia de fluidos con dos densidades diferentes: agua dulce, con una densidad menor, con relación al agua salada del mar o del océano. Esta diferencia de densidad hace que, en la zona de la costa, el agua dulce se encuentra sobrepuesta al agua salada. El agua salada se introduce en el continente en forma de una cuña, que se va profundizando a medida que se introduce en el continente.

### 2.2.6.3 Según su comportamiento hidrodinámico

Por último, desde un punto de vista hidrodinámico, de la movilidad del agua, podemos denominar, en sentido estricto:

**Acuíferos.** - Buenos almacenes y transmisores de agua subterránea (cantidad y velocidad) (p.ej.- arenas porosas y calizas fisurales).

**Acuitados.** - Buenos almacenes, pero malos transmisores de agua subterránea (cantidad, pero lentos) (por ejemplo: limos).

**Acuicludos.** - Pueden ser buenos almacenes, pero nulos transmisores (p.ej.- las arcillas).

**Acuífugos.** - Son nulos tanto como almacenes como transmisores. (por ejemplo: granitos o cuarcitas no fisuradas).

<b>TABLA N° 2 CLASIFICACIÓN ACUIFEROS</b>		
<b>Según su Textura</b>	<b>Según su comportamiento hidráulico</b>	<b>Según su comportamiento hidrodinámico</b>
Porosos.	Acuífero subestimado o libre	Acuíferos
Fisurales	Acuífero cautivo o confinado	Acuitados
	Acuífero semi-confinado	Acuícludos
	Acuíferos costeros	Acuífugos

**Fuente:** [https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf)

### 2.2.7 AGUAS TERMALES

Se denomina agua termal aquellas que emanan a la superficie con una temperatura de 5°C, más alto que la temperatura media anual del lugar, estas aguas proceden de capas subterráneas, las cuales son ricas en diferentes componentes minerales que le confieren propiedades terapéuticas. el criterio de clasificación puede asumirse desde diversos puntos de vista: físico, químico, bacteriológico y otros, el de mayor aceptación en todo el mundo es el basado en la mineralización predominante y especie que pueden contener las aguas de esta manera se tienen aguas sulfuradas, cloruradas, sulfatadas, ferruginosas, bicarbonatadas, carbónicas, radiactivas, oligominerales.

Jr. Fagundo (2005), también señala que las aguas minerales constituyen un recurso natural que yace en estratos acuíferos subterráneos. Se diferencian claramente de las aguas de consumo ordinario por su grado de mineralización, la presencia de determinados componentes y poseer estables su composición química, la temperatura, caudal. El criterio de clasificación de las aguas termales y minerales puede ser asumido desde diversos puntos de vista: por su uso,

origen, temperatura, mineralización global, composición química, acciones fisiológicas, actividad terapéutica, etcétera.

Con relación a la temperatura se ha establecido muchas clasificaciones de las aguas termales, el cual depende de las condiciones climáticas y geotérmicas de la región dentro de los límites de la cual ellas se forman, en la parte superior del corte (por donde discurre las aguas de tipo acuíferas), la temperatura del agua está sometida a oscilaciones debidas a la influencia del aire (temperatura hiper anual promedio del día), mientras que cierta profundidad a la que no se siente la influencia de las temperaturas superficial del aire, la temperatura del agua se hace constante y depende del gradiente geotérmico local.

Con el objeto de agrupar las aguas de acorde a su temperatura se han empleado los prefijos hipo, meso e híper, así como clasificación sencilla como la adopta Urbani (1991). Este especialista denominó agua fría a aquella que posee en la emergencia una temperatura menor o igual a la temperatura media anual; agua tibia con un intervalo desde la temperatura media anual hasta 37°C, agua caliente cuando varía desde 37° a 60°C y agua muy caliente desde 60° a 100°C.

#### **2.2.7.1 Historia de Aguas minero medicinales en el Perú**

El uso de las aguas minero medicinales se conocía desde las épocas pre-inca e incaica. Los pobladores conocían de sus bondades medicinales, por ello, los incas construían tambos en lugares próximos a las fuentes termales, las que aprovechaban en sus viajes como un tratamiento termal con fines medicinales e higiénicos. Como evidencias tenemos los famosos Baños del Inca en Cajamarca, el baño de Tambo Machay y el baño del inca en la ciudadela de Macchu Picchu en Cusco, entre otros.

En 1796 el sabio alemán Teodoro Haenke realizó los primeros estudios sobre las termas de Yura, Jesús y Socosani en el Departamento de Arequipa. En 1827 Rivero de Ustariz determinó los usos de estas aguas con fines curativos. En 1882 el sabio italiano Antonio Raymondi, publicó estudios sobre las aguas minerales del Perú, para cuyo fin recorrió casi todo el territorio nacional. Entre los años de 1900 a 1943 es destacable los trabajos en estas aguas de los doctores Edmundo Escomel, Ramón Cárcamo y Luis Angel Maldonado. En 1950 el gobierno contrató los servicios del Dr. Ladislao J. Prazak, médico crenólogo y estudió el problema del termalismo en el Perú (*PRAZAK, L., Lima - Perú (1949).*).

En los años de 1971 a 1973 el Ing. Rómulo Zapata Valle publica dos obras tituladas Aguas Minerales del Perú, primera y segunda parte, en donde se encuentran los resultados de los análisis de las aguas minerales del país, clasificándolas en 24 grupos en función a sus iones predominantes (*ZAPATA, R., (1973)*). En 1975 Francisco Loayza Peralta hace un breve análisis de la situación crenológica del país y un inventario del recurso minero medicinal en su publicación Panorama Hidrotermal del Perú. En 1994 se realizó en el país el Congreso Internacional de Termalismo y Climatismo-FITEC 94, en dicho evento se concluye que el termalismo en el país no se explota ordenada y científicamente.

#### **2.2.7.2 Tipos de aguas termales**

- Desde el punto de vista hidroterapéutico y en relación con la llamada Temperatura indiferente del organismo, resulta de interés la clasificación de que establece los siguientes tipo:

Hipo termales: (menos de 35°C)

Meso termales: con temperatura entre 35 y 37°C

Híper termal: (más de 37°C)

- La clasificación considerada universal y la que resulta más aceptada es similar a la propuesta de Castany (1971, en Morell, 1995), en que solo difieren los límites de alguna temperatura:

Frías : menos de 20°C

Hipo termales : entre 20 y 35°C

Meso termal : entre 35 y 50°C

Hipertermal : entre 50 y 100°C

- Con relación al pH, en Bulgaria se clasifican las aguas termales en:

Aguas con fuerte reacción ácida : pH<3.5

Aguas con moderada reacción ácida : pH 3.5 – 5.5

Aguas con ligera reacción ácida : pH 5.5 – 6.8

Aguas con reacción neutra : pH 6.8 – 7.2

Aguas con reacción alcalina : pH 7.2 – 8.5

Aguas con reacción alcalina moderada : pH 8.5 – 9.5

Aguas con fuerte reacción alcalina : pH >9.5

### 2.2.8 GEOTERMAL

El interior de la Tierra está caliente y la temperatura aumenta con la profundidad. Las capas profundas, pues, están a temperaturas elevadas y, a menudo, a esa profundidad hay capas freáticas en las que se calienta el agua: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los

géiseres o las fuentes termales, Buil, B. Garcia, S. Lago, M. y Arranz, E. (2001), utilizadas para baños desde la época de los romanos. Actualmente, el progreso en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo.

Algunos países como Islandia o Nueva Zelanda utilizan muy eficazmente esta fuente de energía. Son países situados en zonas en las que a poca profundidad hay temperaturas muy altas y una parte importante de sus necesidades energéticas las obtienen de esta fuente, otros países están aumentando el uso de esta fuente de energía, aunque la producción mundial sigue siendo muy pequeña.

Desde el punto de vista ambiental la energía geotermal tiene varios problemas. Por una parte, el agua caliente extraída del subsuelo es liberada en la superficie contaminando térmicamente los ecosistemas, al aumentar su temperatura natural. Por otra parte, el agua extraída asciende con sales y otros elementos disueltos que contaminan la atmósfera y las aguas si no es purificada.

### **2.2.9 ENTALPIA**

Es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

### **2.2.10 VULCANISMO**

El vulcanismo corresponde a todos los fenómenos relacionados con el ascenso del magma o rocas fundidas desde el interior de la Tierra a la superficie terrestre. Es una de las principales manifestaciones de la energía interna del globo

terrestre y afecta principalmente a las zonas inestables de su corteza. Los volcanes son puntos de relieve que comunican directamente la superficie terrestre con las capas interiores a la corteza, en donde, debido a la elevada temperatura presente, las rocas se encuentran en estado de fusión.

El magma y gases presentes, agrietan las superficies, partes débiles de la corteza externa de la tierra, la mayor parte del vulcanismo se encuentran paralelas a las placas tectónicas, formando volcanes de varios tipos, con el pasar del tiempo van naciendo nuevos volcanes según el movimiento de las placas tectónicas, consecuencia tenemos la presencia de grandes yacimientos de minerales como geotermiales.

### **2.2.11 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES**

Las fuentes termales son manantiales de aguas calientes que contienen sales minerales en diversas cantidades. Se forman en una región volcánica o donde haya intrusiones, cuando el agua de la lluvia se percola en el terreno hasta que alcanza la roca porosa que la absorbe como si fuera una esponja. Como la roca está caliente, lo que sucede después es parecido a una olla a presión en la que el agua hierve.

El líquido más frío que va cayendo vuelve a llenar la roca porosa e impulsa al agua caliente hacia arriba. En el camino va perdiendo presión, lo que es esencial para saber si va a salir por una fisura suavemente como agua caliente o como un espectacular chorro de vapor en un geiser.

Respecto a las aguas de **origen magmático** se puede afirmar que existe la posibilidad de que como consecuencia de la cristalización de los magmas se liberen constituyentes volátiles que pueden escaparse en forma de fumarolas,

compuestas esencialmente de hidrógeno y vapor de agua, junto con elementos como flúor, cloro, azufre, carbono, fósforo y boro. Así, se ha calculado que al fundirse un km<sup>3</sup> de granito se liberarían 26 millones de toneladas de agua (**1 kg de granito produce 1 O gr. de agua**). Según los estudios de *Sosman*, confirmados por *Geze*, (tomada de *Castany 1971*) una intrusión magmática con una potencia de 1000 metros contendría un 5% en peso de agua y al enfriarse lentamente podría producir durante un millón de años una cantidad de agua de unos 23,8 litros de agua por minuto y por kilómetro cuadrado.

La composición en sales y la temperatura de estas aguas termales de origen endógeno, con independencia de la roca de la que proceden, son relativamente constantes y de carácter hipertermal cuanto más caliente un agua, más actividad química puede desarrollar, hay aguas que han circulado a profundidades de muchos cientos de metros, cerca de zonas volcánicas, donde la temperatura es muy elevada, y luego se han enfriado antes de salir a la superficie, recordar que eso ocurría en el campo geotérmico de El Tatio, al norte de Chile en la frontera con Bolivia el agua, aunque sólo templada llevaba disueltas cantidades anormalmente grandes de sílice, indicador de haber estado sometida a temperaturas mucho mayores.

Es todo este grupo especial de aguas el que constituye las aguas minerales y minero-medicinales, muchas de ellas se conocen y utilizan desde la antigüedad, aunque pocas de ellas tienen estudios hidrogeológicos suficientes. Son acuíferos pequeños y de circulación profunda, estas son especialmente complicados de reconocer y valorar. Sin embargo, esto es lo que se necesitaría especialmente ahora, ya sea para ampliar sus caudales, o para garantizar la continuidad de los

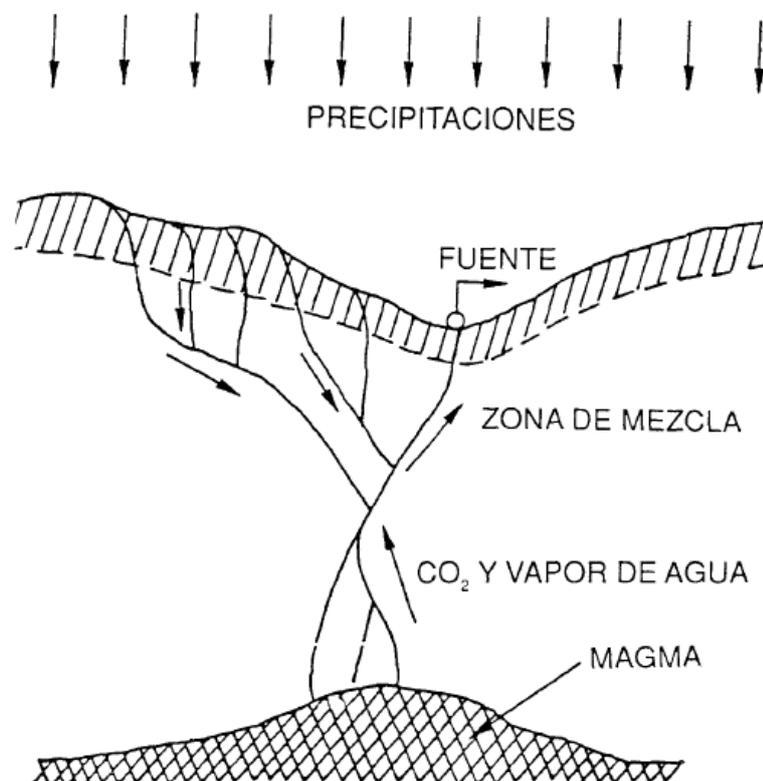
mismos y la de sus características físico-químicas y terapéuticas para posibles mejoras.

Entre los accidentes geológicos que favorecen la circulación del agua se pueden citar

- Las diaclasas y fisuras finas
- Las fallas y zonas de milonitización
- Los contactos geológicos
- Los filones y diques eruptivos
- Los filones metalíferos

Pero la sola presencia de fisuras y fracturas no es suficiente para que se produzca una surgencia de agua termal. Es necesario que estos accidentes se encuentren abiertos.

**Figura N° 3** Esquema del origen mixto de las aguas termales



**Fuente:** Ing. Juan Ignacio Pinuaga Espejel - Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Los estudios de geología estructural muestran que los accidentes primitivamente abiertos y posteriormente ampliados y desarrollados por la circulación de las aguas subterráneas, aunque puede verse colmatados por depósitos minerales, pueden reactivarse también en fases tectónicas posteriores. Por ello, las surgencias de aguas termales se sitúan, sobre todo, en zonas de movimientos recientes o de tectónica activa.

Las diaclasas y fisuras finas raramente constituyen el origen de la circulación de las aguas termales, no así las fallas y las zonas milonitizadas que las acompañan que cuando están abiertas son las vías naturales de surgencia de las aguas termales, siendo frecuente la localización de surgencias termales sobre grandes fracturas de zócalo. La importancia de las fracturas ha sido reconocida por numerosos autores, al igual que el importante papel de las fallas de distensión. Asimismo, es en la intersección de accidentes jóvenes donde se sitúan las surgencias importantes, siendo más abundantes cuanto más joven es la fractura.

Los contactos geológicos entre rocas graníticas y sedimentarias son también vías preferentes por las que circulan y emergen las aguas termales. Del mismo modo, los filones y los diques eruptivos favorecen la emergencia rápida de las aguas termales.

Por último, los filones metalíferos son a menudo una vía privilegiada para la emergencia de aguas termales. En este sentido hay que resaltar que los filones se corresponden normalmente con las grandes fracturas del zócalo que continúan activas y juegan un doble papel: por un lado, hidráulico, favoreciendo la ascensión de las aguas profundas hacia la superficie, y por otro lado químico, favoreciendo el enriquecimiento en sales debido a la disolución de sus sustancias minerales.

En resumen, las surgencias termales vienen determinadas por dos tipos de condicionantes principales:

- Una fracturación intensa con una o varias fases tectónicas, de las que la última, debida a movimientos recientes, está a veces acentuada por algún tipo de actividad volcánica.
- La presencia de valles o depresiones.

### **2.2.12 GRADIENTE GEOTÉRMICO**

Se denomina Gradiente geotérmico a la variación de temperatura, que aumenta con la profundidad en la corteza terrestre. El valor promedio de este gradiente es de 30 °C/Km de profundidad, considerando que se avanza desde la superficie hacia el centro de la esfera terrestre. Físicamente se expresa en unidades de temperatura y unidades de longitud.

El Gradiente geotérmico no es un valor constante: El estudio de las ondas sísmicas ha demostrado la existencia de un núcleo interno sólido, y esto no sería posible si el incremento de la temperatura fuera constante, ya que, en ese caso el centro del planeta soportaría alrededor de  $2 \times 10^5$  °C, y se piensa que es de sólo 5000 ó 6000 °C.

Gradiente geotérmico depende de las características físicas del material propias de cada zona del interior del planeta, o dicho de otro modo, de las condiciones geológicas locales, por ejemplo relación presión - temperatura, composición química y reacciones que producen, existencia de material radiactivo, presencia de movimientos convectivos y rozamientos, etcétera.

La razón por la que la temperatura aumenta a medida que se profundiza radica en las muy altas temperaturas que existen en el núcleo del planeta.

Los valores usuales se encuentran en el rango 10 a 66 °C/km, sin embargo, se ha medido gradientes de hasta 200 °C/km.

### **2.2.13 METALES PESADOS**

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, Casas, J. (2002). Como, por ejemplo, el plomo que se utiliza mucho para tubería. Hablando ya de la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos.

Los metales pesados en nuestra vida son muy importantes por los precios en el mercado internacional pero también estas no son muy buenos para nuestra salud, de lo cual se generan muchas interrogantes tales como son:

➤ **¿Qué efectos tiene respecto a la salud esta contaminación por metales pesados?**

Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. El más conocido es el plomo que afecta varios sistemas, por ejemplo, en el sistema nervioso llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro. El plomo afecta también a la médula ósea y otro lugar donde es frecuente encontrarlo es el riñón, específicamente en sistema tubular de las nefronas, Otro metal pesado es el cadmio que también afecta al riñón y otro que no es exactamente un metal, pero es un contaminante es el arsénico que tienen efecto directo en las mitocondrias. Los daños en si son muy diversos dependiendo de cada metal, pero en general se puede decir que hay lesión celular. La intoxicación por plomo puede simular otras enfermedades, como por ejemplo la esclerosis, que es una enfermedad incurable muy

complicada en cuanto a sus síntomas, y la intoxicación por plomo puede simular y afectar al sistema nervioso con la misma sintomatología, como parestesias, parestesias, fatiga, etc., y puede producir en general una disfunción, luego algo importante del plomo es que se lo ha relacionado últimamente con la generación de conductas antisociales, y también hay una relación con retardo mental y pérdida de habilidades cognitivas. En cuanto al riñón, los metales pesados a la larga van a producir daño renal que puede llegar hasta una insuficiencia renal. (Dr. Carlos P. Eróstegui Revilla, *contaminación por metales pesados, Volumen 12, No 1: 2009*)

➤ **¿Cuáles son los efectos respecto al medio ambiente?**

Son bastantes graves y hablando específicamente, cambia la alcalinidad del suelo, obviamente, depende mucho de la concentración. También contaminan el agua de las quebradas, ríos y los cultivos. En este, si es una cantidad excesiva de plomo se pueden producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva, puede llegar a producir desertificación. A nivel de los ríos y lagos, también afecta principalmente la fauna.

El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y sobre todo que son peligrosos para la salud. (Dr. Carlos P. Eróstegui Revilla, *contaminación por metales pesados, Volumen 12, No 1: 2009*)

## **2.2.14 PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS**

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática, los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca de los contaminantes o los contaminantes responsables.

Los resultados de análisis de laboratorio de los parámetros Físicos y Químicos, se muestran en tabla N° 17.

A continuación, nos detendremos en algunas de las características físico-químicas del agua.

### **2.2.14.1 Salinidad**

La salinidad del agua es contenido total de sales. Así la cantidad de cloruro sódico es una parte de esta salinidad y la dureza del agua (sales de magnesio y calcio) es otra parte de la salinidad del agua.

Las sales más frecuentes en el agua son las de calcio, magnesio y sodio. En aguas no salobres, el 90 % del contenido de sales en el agua, son por presencia de calcio y magnesio.

### **2.2.14.2 Temperatura**

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que puede ser medida con un termómetro, los cuales pueden ser calibrados de acuerdo a una multitud de escalas que dan lugar a unidades de medición de la temperatura. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada

directamente con la parte de la energía interna conocida como «energía cinética», que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que éste se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor.

#### **2.2.14.3 pH (potencial de hidrogeniones)**

La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad. El pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que éstos tienen.

#### **2.2.14.4 Conductividad eléctrica**

Se define la conductividad eléctrica como la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica y, por tanto, es lo contrario de la resistencia eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido. La unidad de medición utilizada comúnmente es el siemens/cm (S/cm), microsiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ), o milisiemens/cm (mS/cm).

En soluciones acuosas el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos. Por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración mayor será la conductividad, como puede observarse en los valores apuntados a continuación:

Agua pura : 0,055  $\mu\text{S/cm}$ .

Agua destilada : 0,5  $\mu\text{S/cm}$ .

Agua de montaña : 1,0  $\mu\text{S/cm}$ .

Agua de uso doméstico: 500-800  $\mu\text{S/cm}$ .

Agua de mar : 50.000-60.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### **2.2.14.5 Dureza**

La dureza del agua corresponde a la suma de calcio y magnesio, a los que se añaden los iones hierro, aluminio, manganeso, etc.

La dureza del agua está formada por las sales de calcio y de magnesio. La dureza procedente de las sales de calcio se llama dureza cálcica y la dureza procedente de las sales de magnesio se llama dureza magnésica.

La dureza carbonatada se denomina dureza temporal y la dureza no carbonatada dureza permanente. Se llama dureza temporal porque cuando el agua hierve a  $100^\circ$  desaparece por descomposición de los bicarbonatos y precipitación en forma de carbonatos, la permanente no sufre este proceso.

#### **2.2.14.6 Sólidos disueltos totales (TDS)**

La cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) es uno de los principales indicadores de la calidad del agua. El TDS es el total de sales disueltas y se puede expresar en  $\text{mg}/\text{l}$ ,  $\text{g}/\text{m}^3$  o ppm ( $\text{mg}/\text{l}$ ). El hecho de que el agua tenga sales en disolución, hace que ésta sea conductiva a la electricidad. Así un agua con muchas sales, es muy conductiva y la medida de la conductividad nos permite evaluar de una forma rápida la salinidad del agua.

#### **2.2.14.7 Oxígeno disuelto (DO)**

El oxígeno gaseoso disuelto en el agua es vital para la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos. La concentración de oxígeno disuelto (DO) en un ambiente acuático es un indicador importante de la calidad del agua ambiental.

Algunos organismos, como las truchas, requieren altas concentraciones de oxígeno disuelto.

El oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por diversos procesos como la difusión entre la atmósfera y el agua, oxigenación por el flujo del agua sobre las rocas y otros detritos, la agitación del agua por las olas y el viento y la fotosíntesis de plantas acuáticas. Hay muchos factores que afectan la concentración del oxígeno disuelto en un ambiente acuático. Estos factores incluyen: temperatura, flujo de la corriente, presión del aire, plantas acuáticas, materia orgánica en descomposición y actividad humana.

La temperatura es un factor importante en la capacidad del oxígeno para disolverse, ya que el oxígeno, al igual que todos los gases, tiene diferentes solubilidades a distintas temperaturas. El agua más fría tiene una mayor capacidad de oxígeno disuelto que las aguas más cálidas.

#### **2.2.14.9 Resistencia eléctrica ( $\Omega\text{cm}$ )**

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores.

#### **2.2.15 ANTIMONIO (Sb)**

El antimonio es estable a temperatura ambiente, pero cuando se calienta, arde brillantemente, desprendiendo un humo blanco y denso de óxido de antimonio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) con un olor característico parecido al del ajo. Desde el punto de vista

químico, el antimonio está muy relacionado con el arsénico. Se combina fácilmente con el arsénico, el plomo, el estaño, el zinc, el hierro y el bismuto.

#### 2.2.15.1 Distribución y usos

El antimonio se encuentra en la naturaleza combinado con diversos elementos, en especial en minerales que contienen estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), valentinita ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ), kermesita ( $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$ ) y senarmontita ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ).

El antimonio con un alto grado de pureza se utiliza en la fabricación de semiconductores. El antimonio de pureza normal es ampliamente utilizado en la producción de aleaciones, a las que proporciona dureza, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y un bajo coeficiente de fricción. Las aleaciones que combinan estaño, plomo y antimonio se utilizan en la industria eléctrica.

#### 2.2.15.2 Efectos tóxicos del antimonio

Por sus propiedades químicas y acciones metabólicas, el antimonio es muy similar al arsénico y, puesto que ambos elementos se encuentran asociados en ocasiones como ya mencionados en el párrafo anterior, el Sb puede penetrar en el organismo a través de la **piel**, aunque la vía principal es la **vía respiratoria**. Desde los pulmones, la sangre absorbe el antimonio, y en especial el antimonio libre, y lo distribuye a los tejidos. Los estudios sobre personas expuestas y los experimentos con antimonio radioactivo muestran que la mayor parte del antimonio absorbido se metaboliza en las primeras 48 horas y se elimina con las heces y en menor proporción, con la orina.

El antimonio inhibe la acción de determinadas enzimas, se une al grupo sulfhidrido del suero y altera el metabolismo de las proteínas y carbohidratos a sí mismo la producción de glucógeno en el hígado.

### 2.2.15.3 Síntomas por intoxicación por antimonio

Los síntomas de una **intoxicación aguda** son los siguientes: gran irritación en la boca, nariz, estómago, e intestino, vómitos deposiciones sanguinolentas y respiración lenta y superficial. En ocasiones, se han observado casos de coma seguidos de muerte, debido a complicaciones hepáticas y renales.

Los síntomas de la **intoxicación crónica** son: sequedad de garganta, náuseas, cefalea (dolor de cabeza), insomnio, pérdida de apetito y mareos.

### 2.2.16 ARSÉNICO (As)

El As se encuentra en la tabla periódica entre el P y el Sb, y tiene propiedades similares al fósforo. Es un metaloide, es decir, con propiedades intermedias entre metales y no metales; por ello forma aleaciones con metales, pero también enlaces covalentes con el carbono, hidrógeno y oxígeno.

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y principalmente en los minerales sulfurosos. La arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) es la forma más abundante.

Por su alta toxicidad, ubicua presencia y propiedades organolépticas ha representado un papel central en la historia de la Toxicología.

Debido a que su uso ha disminuido mucho en los últimos años, el número de intoxicaciones y envenenamientos también se ha reducido considerablemente en los países desarrollados. Sin embargo, el consumo de agua de pozo con altas concentraciones de arsénico es un problema sanitario muy grave en algunos países como India.

La toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación y su solubilidad. El As pentavalente es 5-10 veces menos tóxico que el trivalente y los derivados orgánicos son menos tóxicos que los inorgánicos.

#### **2.2.16.1 Intoxicación aguda**

La exposición a dosis elevadas de compuestos de arsénico inorgánico puede producirse como una mezcla de inhalación e ingestión o por la piel en agua caliente como en la piscina aumenta la permeabilidad de la piel, al paso del Arsénico al organismo. Dependiendo de la dosis, se pueden presentar diversos síntomas y, si ésta es excesiva, puede resultar fatal. Se han observado síntomas de conjuntivitis, bronquitis y disnea, seguidos por molestias gastrointestinales y vómitos, y posteriormente, síntomas cardiacos y shock irreversible, con un curso temporal de horas. En un caso fatal, se describieron niveles de Arsénico en sangre superiores a 3 mg/l.

#### **2.2.16.2 Exposición a largo plazo (intoxicación crónica)**

Aspectos generales, la intoxicación crónica con arsénico puede presentarse en personas expuestas durante un tiempo prolongado a concentraciones excesivas de compuestos de arsénico en suspensión aérea o exposición al agua con concentraciones mayores a los permitidos. Los rasgos más sobresalientes son los efectos locales sobre la mucosa del **tracto respiratorio** y **la piel**. También puede afectar al sistema nervioso, circulatorio y al hígado, y puede llegar a producirse cáncer del tracto respiratorio.

En el caso de una exposición a largo plazo al arsénico a través de la comida, el agua o la medicación, los síntomas son en cierto modo distinto de los que surgen tras la exposición por inhalación.

Dominan en el cuadro clínico los síntomas abdominales, diarrea o estreñimiento, enrojecimiento de la piel, pigmentación e hiperqueratosis. Además, puede producirse una afectación vascular, que en una región dio lugar a gangrena periférica.

En la intoxicación crónica por arsénico son habituales la **anemia** y la **leucopenia**.

**2.2.16.2.1 Trastornos vasculares.** La exposición prolongada al arsénico inorgánico por la ingestión de agua puede dar lugar a trastornos vasculares periféricos con fenómenos de Raynaud<sup>1</sup>.

**2.2.16.2.2 Trastornos dermatológicos.** Las lesiones cutáneas arsenicales varían ligeramente dependiendo del tipo de exposición. Aparecen síntomas eczematoides de gravedad variable. En la exposición de personas al arsénico en suspensión aérea, pueden surgir lesiones cutáneas por irritación local. Se han descrito dos tipos de trastornos dermatológicos:

- Uno de tipo eczematoso, con eritema (enrojecimiento), tumefacción y aparición de pápulas o vesículas.
- Otro de tipo folicular, con eritema y tumefacción o pústulas foliculares.

**2.2.16.2.3 Neuropatía periférica.** En los supervivientes de intoxicación aguda se observan con frecuencia trastornos del sistema nervioso periférico. La neuropatía se caracteriza por disfunción motora y parestesias (adormecimiento), aunque en los casos menos graves puede aparecer solo una neuropatía sensorial unilateral.

---

<sup>1</sup> El fenómeno de Raynaud es una enfermedad que afecta los vasos sanguíneos, sobre todo los de los dedos de las manos y los pies, y que hace que los vasos sanguíneos se contraigan cuando la persona siente: frío, estrés.

**2.2.16.2.4 Efectos carcinogénicos.** La agencia internacional para la investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica los compuestos de arsénico inorgánico como cancerígenos pulmonares y cutáneos.

El tiempo de latencia entre el inicio de la exposición y la aparición del cáncer es prolongado, generalmente de 15 a 30 años.

### **2.2.17 PLOMO (Pb)**

El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Su forma más abundante es el sulfuro (PbS), formando las menas de galena. Con frecuencia está asociado a otros metales, como plata, cobre, cinc, hierro y antimonio.

Forma compuestos en estado de valencia 2+ y 3+, orgánicos, como acetato, tetraetilo y tetrametilo e inorgánicos, como nitrato, arsenato, carbonato, cloruro, óxidos y silicato. Por su bajo punto de fusión fue uno de los primeros metales empleados por el hombre y su intoxicación crónica, el saturnismo, se conoce desde la antigüedad.

El Pb penetra en el organismo por todas las vías. En los pulmones se absorbe bien en forma de humos o partículas finas que son fagocitadas por los macrófagos alveolares. La absorción gastrointestinal depende de la solubilidad del tipo de sal y del tamaño de las partículas. Los adultos no absorben por esta vía más del 20-30% de la dosis ingerida, pero en los niños se alcanza hasta un 50%.

En la sangre, la mayor parte del plomo absorbido se encuentra en el interior de los hematíes. Desde aquí se distribuye a los tejidos alcanzándose una mayor concentración en huesos, dientes, hígado, pulmón, riñón, cerebro y bazo. En los

dos primeros territorios se acumula el 95% de la carga orgánica total de plomo. El hueso es el territorio preferente de acumulación, en substitución del Ca y, aunque no causa allí ningún problema, puede ser origen de reaparición de toxicidad crónica por movilización.

La eliminación se produce sobre todo por orina y heces. La eliminación urinaria normal es de 30  $\mu\text{g}/24$  h. No está claro qué proporción del plomo detectado en las heces corresponde a la parte no absorbida.

Los niños presentan **cambios neuropsicológicos** como alteraciones en el aprendizaje, reducción en cociente intelectual, cambios de comportamiento con hiperactividad, vocabulario escaso, reducción de crecimiento, pérdida de agudeza auditiva y deficiencias en el tiempo de reacción y en la coordinación mano/ojo.

### 2.2.18 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación es la introducción de sustancias en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad). Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o

materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

### 2.2.18.1 Tipos de contaminación ambiental

La contaminación ambiental puede ser natural o provocado.

**Contaminación del agua:** es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, y de otros tipos o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

**Contaminación del suelo:** es la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del suelo produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente las plantas, animales y humanos.

**Contaminación del aire:** es la adición dañina a la atmósfera de gases tóxicos, CO, u otros que afectan el normal desarrollo de plantas, animales y que afectan negativamente la salud de los humanos.

## 2.3 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El área en estudio está ubicada en el Sur del Perú, en la Región de Puno, Provincia de Carabaya y Distrito de Ollachea. Según las cartas Geológicas del Perú se encuentra dentro del Cuadrángulo de Ayapata (28-V). Esta a su vez se encuentra ubicada dentro de la quebrada del río Ollachea a 0.7 km de Ollachea en dirección SW y S. *Ver Mapa N°: 01 (Ubicación del área de estudio).*

TABLA N° 3 UBICACIÓN DEL PROYECTO	
DETALLE	VALORES
Coordenadas centrales de área de estudio	E: 340500 N: 8474200
Zona Geográfica	19 L
Altitud Promedio	2800
Área total en estudio	1710 Ha
DATUM	WGS 84

**Fuente:** <http://www.elgps.com> y *Elaboración Propia*

### 2.3.2 ACCESIBILIDAD

Vía terrestre es accesible por la red vial Panamericana sur Lima – Juliaca, con un recorrido de 841.56 km (22 horas), luego por la carretera asfaltada de la Red Vial Nacional Puno Ollachea (Carretera Interoceánica Brasil - Perú) haciendo un recorrido de 310 km y un tiempo de 4 horas (Tabla N° 10).

Por vía aérea puede realizarse desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Juliaca tomando un tiempo de vuelo aproximadamente de 01 hora y 30 minutos, para luego continuar el acceso hacia el lugar de estudio por vía terrestre (Juliaca - Ollachea).

El área es accesible durante la mayor parte del año; sin embargo, el acceso puede ser de vez en cuando restringido en verano debido a las lluvias en los meses en enero a abril ya que esto produce desprendimientos de rocas que bloquean el camino.

TABLA N° 4 ACCESIBILIDAD						
DE	A	TIPO DE VÍA	DISTANCIA (Km)	ESTADO	TIEMPO (h.)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
Lima	Juliaca	Espacio Aéreo	841.56	-----	1.30	3885
Juliaca	Ollachea	Red Vial Nacional Puno Ollachea (Carretera Interoceánica)	310	Asfaltado	4	2685
Ollachea	Quinza Mayo		2.5	Camino de herradura	1.30	3300
	Piscina Municipal		0.8	asfaltado	1/4	2700
	Ccollpapampa	Interoceánica	1.5	asfaltado	1/2	2750

**Fuente:** "MTC" y Elaboración Propia

### 2.3.3 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se ubica en el suroriente del Perú, cuyo territorio está afectado por la subducción de la Placa de Nasca sobre la Placa Sudamericana. Esta subducción, que comenzó en el Mesozoico y que continúa hasta la actualidad, generó actividad magmática y elevados flujos térmicos en la corteza terrestre formando sistemas geotermales.

Dentro de éstos, circularon aguas subterráneas, convirtiéndose en fluidos hidrotermales que, en el Mesozoico y el Terciario, dieron origen a depósitos metálicos, alteraciones hidrotermales y brechas explosivas. Hoy, en el sector de estudio, la actividad hidrotermal se expresa sólo por surgencias de aguas calientes, a través de fallas o fracturas. Algunas de las fuentes presentan precipitaciones de sínter, en menor cantidad, también se observa la presencia de aguas minerales. (INGEMMET, Bol. 24, 2001)

En el área de estudio afloran unidades geológicas que van en edad desde el Paleozoico al Cenozoico.

El contexto estructural se caracteriza por lineamientos con rumbo sureste-noroeste (dirección andina).

### **2.3.3.1 GEOMORFOLOGÍA**

La Cordillera Oriental constituye una de las unidades morfológicas más relevantes del territorio Peruano, por su continuidad, mayor elevación y donde mejor se observan las rocas precámbricas y paleozoicas, (*INGEMMET, Bol. A-55, 1995*)

Regionalmente en el área de estudio se encuentra al Sur de la Cordillera Oriental de los Andes, el área de estudio presenta unidades geomorfológicas de relieve muy abrupto, típico de la zona cordillerana y zona subandina.

El tectonismo del ciclo orogénico Hercínico (Devónico), en el Paleozoico inferior y superior, determinó el afloramiento de las rocas metamórficas de la formación Sandia y Ananea, lo cual regionalmente se encuentran ligadas a plegamiento y fallamientos de tipo inverso de alto ángulo.

### **2.3.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA**

#### **2.3.3.2.1 Paleozoico**

##### **A. Formación Sandia (Os-sa)**

Definido inicialmente en el valle de Sandia por Laubacher G. en 1974 como una secuencia de cuarcitas y pelitas sobreyacente sobre la "Formación San José. La Formación Sandia está constituida por una secuencia de cuarcitas (*chert*), niveles de pizarras y areniscas grises formando una secuencia rítmica.

El grosor de la Formación Sandia es de 1641 m. aproximadamente. En la región no se ha reportado microfósiles diagnósticos en ninguno de sus niveles

cartografiados en diferentes localidades. Las condiciones sedimentarias de la Formación Sandia son características de un ambiente marino menos profundo observándose estructuras sedimentarias y "deslizamientos" en las secuencias superiores, con una alternancia rítmica de pelitas y areniscas. Después de esta última acumulación, sobrevienen facies de lutitas micáceas oscuras de mar abierto (*Offshore*) correspondientes a los primeros niveles de la Formación Ananea.

Esta formación se encuentra al norte del pueblo de Ollachea con extensión de 21.370 km de ancho, con una dirección de NW a SE que se extiende hasta el departamento de Cusco al noroeste (Luque C. 2013). El contacto con la Formación Ananea se realiza por intermedio de una falla inversa de alto ángulo (Falla Ollachea).

En esta formación se han emplazado la mayor parte de cuerpos intrusivos como ejemplo el granito de San Gabán, en el carbonífero inferior y la sienita de Macusani en el Permo-Triásico.

### **Edad y Correlación**

No ha sido posible encontrar fósiles, pero se le asigna como edad el Ordovícico superior por su posición estratigráfica, infrayace a la Formación Ananea y suprayace al Grupo San José. La Formación Sandia es una plataforma silicoclástica con facies tidales. Dataciones radiométricas de U/Pb, hechas por Reimann et al. (2010), en muestras de zircón, lanzan edades de 436, 455, 497 y 519 Ma. con un error de +/- 28, +/-10, +/-26 y +/-5 Ma. Respectivamente.

## B. Formación Ananea (SD-a)

Toma su nombre de la localidad de Ananea en el departamento de Puno, situada en la Cordillera Oriental asignándole como edad del Siluro-Devoniano, donde Laubacher G. 1978, la describe como una gruesa secuencia de pizarras y esquistos aflorantes a lo largo de la ruta entre Ananea a Cuyo Cuyo. Esta unidad sobreyace concordante sobre los niveles rítmicos de la Formación Sandia. En la región conforma los núcleos de los sinclinales a lo largo de los valles de Sandia y Tambopata. Sus niveles inferiores conservan láminas de areniscas finas en estructuras lenticulares.

La litología de la Formación Ananea está conformada principalmente por una secuencia gruesa de lutitas negras esquistosas, finamente estratificadas; también está conformada generalmente por limo arcillitas pizarrosas, limolitas pizarrosas con algunas intercalaciones de arenisca cuarzosa, en donde se pueden encontrar pizarras de color gris oscuro.

En nuestro territorio el Siluriano ha sido poco reconocido, ubicándose escasa fauna de macrofósiles y prácticamente nada de microfósiles. Esto ha traído como consecuencia no tener hasta la fecha un registro fósil característico, desde el Ordoviciano superior al Devónico inferior.

Esto nuevamente da la idea de que la transición entre el Ordoviciano superior y el Siluriano inferior corresponden litológicamente a secuencias resedimentadas y turbiditas que abarcan desde Cuzco hasta Bolivia e inclusive Argentina. De acuerdo a los estudios de Sempere (1995) e Isaacson y Díaz (1985).

La Formación Ananea representa secuencias pelíticas depositadas en un ambiente marino algo profundo. Sus primeros niveles pueden corresponder a

sedimentos turbidíticos y flysh, consecuencia de la inestabilidad tectónica a finales del Ordoviciano.

La Formación Ananea aflora en los alrededores de Ollachea en una franja E-W.

Esta formación se presenta también plegada y afectada de una esquistosidad de fractura (Luque C. 2013).

### **Edad y correlación**

Lamentablemente en los sedimentos de esta unidad no se ha encontrado fósiles.

La posición estratigráfica es importante ya que sobreyace a la Formación Sandia.

La datación radiométrica de K-Ar en una muestra de muscovita de una veta de Qz-Au, muestran una edad de 143.20 +/- 10.1 Ma. Kontak et al. (1990).

### **C. Grupo Mitu (Ps-mi)**

Fue descrito por McLaughlin, A. (1924) como una secuencia de arenisca rojiza y gris cubierta por un conglomerado arenoso, lutita, derrames volcánicos y piroclásticos riolíticos a andesíticos de edad Permiano – Triásico.

En el Sur del país, el Grupo Mitu tiene una gran extensión y desarrollo, sobre todo a lo largo del frente SW de la Cordillera Oriental. Audebaud E. (1973) la describe en los cuadrángulos de Sicuani, Ocongate, Macusani, Ñuñoa, así como Laubacher G. (1978).

Sus afloramientos en el área de estudio se presentan al Sur del pueblo de Ollachea y también se presentan en los cuadrángulos de Corani y Ayapata.

En el cuadrángulo de Ayapata sus afloramientos ocupan la mayor parte del cuadrante SW en los alrededores del nevado Allin Cápac, los cuales se extienden hasta los ríos Macusani y Corani.

La parte superior del Grupo Mitu está compuesta por una sucesión gruesa de derrames lávicos. La mayor exposición se sitúa en el valle del río Corani hasta cerca de la unión con el río Macusani. También está bien expuesta en el valle del río Macusani entre Tatamaco y cerca de la unión con el río Corani, conformando los alrededores de los nevados Allin Cápac, Aullincapac y Chichicapac en el cuadrángulo de Ayapata.

El grosor de esta unidad varía entre 1000 y 1500 m. Las coladas varían entre 10 y 20 m, su litología está compuesta principalmente por lavas andesíticas, porfíricas, con desarrollo de gruesos cristales de plagioclasa, los piroxenos están cloritizados y enriquecidos en óxidos de hierro, la matriz es vidrio volcánico completamente recristalizado, es importante la presencia de parches de calcita. Intercalan también coladas de lavas afaníticas de color oscuro.

Las características de este grupo por sus conglomerados, lutitas rojas sugieren un ambiente continental asociado con un volcanismo lávico.

Este Grupo Mitu da origen a una topografía de relieve abrupto y picos de fuerte pendiente. Presenta un color de cobertura violácea sirviendo como guía su identificación a distancia. Los afloramientos de roca se presentan aguas abajo del cañón que forma el río, entre los poblados de Macusani y Ollachea.

El vulcanismo del Grupo Mitu pertenece al magmatismo del arco interno fue episódico y periódicamente con un dominio de la fuente de la corteza. Según Laubacher G. (1978), el vulcanismo pudo haber estado ligeramente relacionado a los procesos de subducción.

## **Edad y Correlación**

En este Grupo no se han encontrado fósiles. Algunas dataciones realizadas en la cordillera como las de: KONTAK A. et al. (1985) por Rb-Sr, indican 270 y 210 Ma; Mc BRIDE et al. (1983) por K-Ar determinó edades de 280 y 245 Ma. en el NW de Bolivia y K LINCK, B. PALACIOS, O. et al. (1993) obtienen una edad K-Ar de  $272 \pm 10$  Ma. para la vulcanita del Grupo Iscay (equivalente a la parte superior volcánica del Grupo Mitu).

Según esto, estas rocas tendrían un rango de edad comprendido entre el permiano superior y el triásico inferior, siendo, por tanto, ambos rangos de edades bastante compatibles.

### **2.3.3.2 Cenozoico**

#### **2.3.3.2.1 Neógeno**

##### **A. Formación Quenamari (Ts-qe)**

Conformada por tobas ignimbríticas, en las cuales se han podido identificar tres secuencias, las cuales se designará como miembros, en todos los casos la unidad se caracteriza por su naturaleza félsica y su carácter peraluminoso. Los afloramientos de esta unidad pertenecen al Cenozoico, Neógeno, Mioceno superior y Plioceno (Luque, 2013).

##### **A.1 Miembro Chacacuniza (Nm-ch)**

Es el miembro basal de la Formación Quenamari, se encuentra en discordancia angular, principalmente sobre el Grupo Mitu. Además, hay que señalar que este miembro se encuentra rellenando un paleorelieve.

Está compuesto de una sucesión continua de flujos ignimbríticos cuyo grosor varía de 10 a 15 m. Se caracteriza por presentar flujos muy compactos y bien soldados. Litológicamente son de composición riolítica, contiene pómez centimétrica y material lítico Paleozoico muy fino. Su mineralogía consiste de cuarzo, plagioclasas, biotitas, sanidina y ocasionalmente obsidianas, todos envueltos en una matriz de vidrio volcánico.

Esta unidad infrayace en concordancia al miembro Sapanuta en casi toda el área. Cheilletz A. et al. (1992) en base a dataciones K/Ar le asigna una edad comprendida entre 10 a 6,7 Ma., correspondiendo al Mioceno medio.

### **A.2 Miembro Sapanuta (Nm-sa)**

Se denomina así a una sucesión tobácea de estructura columnar, de composición riolítica y de textura cristaloclástica, el rasgo más distintivo es la forma de meseta estructural que ha formado, que se levanta sobre altitudes de 4800 a más de 5200 m, con una superficie muy homogénea, subhorizontal y parcialmente cubierto por glaciares, este miembro suprayace en discordancia angular a la Formación Ananea y al Grupo Mitu; sobreyace concordantemente al miembro Chacacuniza. Dataciones de Ar/Ar muestran edades de 6.7 y 7.8 Ma. con errores de +/- 0.2 y 0.4 Ma. respectivamente, Cheilletz et al. (1992).

### **A.3 Miembro Yapamayo (Np-ya)**

Es el miembro superior de la Formación Quenamari, aflora en el cuadrante SE del cuadrángulo de Corani y esquina SW del cuadrángulo de Ayapata.

Está compuesto por una sucesión de 4 flujos ignimbríticos cuyos grosores varían de 30 a 50 m, de composición riolítica, se caracteriza por presentar flujos de cenizas débilmente soldadas en la base y hacia el techo es una toba blanca.

Mineralógicamente está constituido por cuarzo, plagioclasas y biotitas. Hay que destacar que en este miembro se encuentra la mineralización de uranio. CHEILLETZ A. (1992) y POUPEAU G. (1992) le asignan una edad de  $7.5 \pm 0.5$  Ma., que es sincrónica con la fase compresiva Quechua 5 de los Andes (SEBRIER et al. 1988) por lo cual le correspondería una edad del Mioceno superior a Plioceno inferior.

### B. Cuaternario

En el área de estudio se presentan diversos depósitos asociados a las geoformas actuales de la cordillera oriental, algunos directamente conectados a los nevados en sus partes bajas, rellenando valles y altiplanicies; así se presentan depósitos morrénicos, glaciofluviales y aluviales.

Durante el Cuaternario se depositan en el territorio peruano sedimentos de origen volcánico, glaciares, aluviales, lacustres, marinos, y eólicos.

**Figura N° 4** Depósitos de materiales cuaternarios



**Fuente:** Elaboración propia

### C. Depósitos Morrenicos (Qh-mo)

En los flancos occidentales de los nevados de la cordillera Vilajota - Allin Cápac (margen derecha de la cuenca Macusani), se encuentran extensas geoformas de morrenas originadas por la acumulación glaciaria, durante el proceso de deglaciación y retroceso glaciario, *Boletín N° 90, serie A (INGEMMET)*.

Estos depósitos están compuestos de bloques subangulares, por arenas limos, gravas y bloques angulosos sin selección, de diverso tamaño (0,3 - 2 m de diámetro), por encima de los 4000 m.s.n.m, generalmente son morrenas de tipo lateral, sus sedimentos están conformados por brechas polimícticas que se envuelven en una matriz arenosa.

### D. Depósitos Glaciofluviales (Qh-gf)

Material movido por glaciares y posteriormente ordenados y depositado por corrientes que fluyen desde el punto de fusión de hielo. Los depósitos están estratificados y puede ocurrir en forma de llanuras de sedimentos.

Son geoformas depresionadas con pendientes suaves en dirección de las corrientes de las aguas, originadas por la erosión glacial durante el descenso de los glaciares, en algunos casos están cubiertas de bofedales y se encuentran sobre los 4000 m.s.n.m, en las nacientes de las cuencas o en la cabecera de los valles aluviales. El poblado de Macusani yace sobre depósitos glaciofluviales hasta el Km199+650, debido a que se encuentra a una altitud sobre los 4500 m.s.n.m., donde los materiales han sido arrastrados por las corrientes de agua ocupando la extensa planicie del poblado Macusani depositándose tanto en longitud como en profundidad.

El suelo está conformado por gravas, cantos, englobados por una matriz arenosa o arenolimoso, la presencia de material fino es escasa, siendo permeable.

Estos depósitos se han formado por erosión de los depósitos morrénicos y del substrato constituido por rocas pre-cuaternarias.

### **E. Depósitos Aluviales (Q-al)**

Material detrítico, transportado por un flujo o aluvión y depositado, casi siempre temporalmente, en puntos a lo largo de su llanura de inundación.

En los fondos de los valles y las terrazas y pampas alto andinas, se encuentran potentes depósitos aluviales, formados por la acumulación fluvial y pluvial en fase de relleno, colmatación y aplanamiento. Estos depósitos se constituyen de gravas polimícticas envueltas en una matriz arenosa, que son coronadas con capas de arena gravosa a arena limosa.

Durante el Pleistoceno, coincidente con los períodos de deglaciación, se transportaron y depositaron gran cantidad de conglomerados, arcillas y gravas en las llanuras bajas, donde conjuntamente con los depósitos aluviales llegan a constituir un manto continuo de depósitos aluvio fluvio glaciares.

En el Llano Amazónico los depósitos aluviales pleistocénicos y recientes, correspondientes a paleodrenajes, se extienden formando amplias llanuras. En los cauces y en las llanuras de inundación de los ríos se presentan depósitos recientes, constituidos por cascajos, limos y arcillas, formándose localmente pantanos en meandros abandonados. Cubre a estos depósitos aluviales una exuberante vegetación.

### **2.3.3.2.3 Rocas Intrusivas**

En la zona de estudio tenemos una variedad de intrusiones de las cuales son asignadas según el Boletín N° 90 (Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, 28u y 28v), como Sienita Nefelinica (Sienita de Macusani) y Complejo de San Gabán (Batolito de San Gabán). Chávez, A.; Salas, G.; Gutiérrez, E. y Cuadros, J. (1997).

#### **A. Complejo de San Gabán (PT-mzg/gr)**

El granito de San Gabán es un gran batolito de límites bastante difusos que aflora al noroeste de Ollachea, observándose en el corte de la carretera que bordea el río San Gabán, entre Urahuasi y Casahuari.

Se trata de un granito con cuarzo, ortosa, microclina, plagioclasa, An<sub>10/15</sub> y grandes hojuelas de biotita de color marrón-rojizo; contiene también muscovita, andalucita, estaurolita y cordierita. Estas últimas caracterizan el metamorfismo de los esquistos encajonantes. Los minerales, a menudo deformados y fracturados, demuestran que el granito ha sufrido una leve cataclasis posterior a la intrusión. Heinrich, E. (1970). El metamorfismo termal es muy difuso, *Boletín N° 55, Serie A, Geología del Perú (INGEMMET)*.

El complejo granítico de San Gabán se encuentra orientado de NE – SW, prácticamente cruza diagonalmente al ámbito del proyecto, desde Chacaneque – Villa de San Gabán hacia la localidad de Corani. En general son granitos con gradación a monzogranitos de colores blancos a grises, grano de cristales de medio a fino, constituidos de cuarzo, ortosa, biotita, muscovita y plagioclasas. Se presenta en condiciones duras, alterado en rangos bajos y con fisuraciones en

rangos moderados mayormente; en general se caracterizan por sus taludes empinados y condiciones un tanto estables, *Luque C. (2013)*

Este Complejo de San Gabán intruye al Paleozoico, desarrollando una amplia zona de metamorfismo de contacto, con aparición de gruesos cristales de andalucita hasta de 40 cm de longitud, asociadas con gruesas biotitas.

El complejo de San Gabán es el único con el que se relaciona al Paleozoico inferior con las esquistosidades eohercinianas, así como también las facies de asimilación encontradas con las rocas cuarcíticas de la Formación Sandía y las pizarras esquistosas de la Formación Ananea, *Laubacher (1978)*.

### **Edad de Emplazamiento**

Dataciones radiométricas hechas en muestras de biotita por K/Ar, intrusivos monzograníticos en Coasa, departamento de Puno, indican edades de: 207.7 y 210.9 Ma. con errores de +/- 4.1 y +/- 4.3 Ma. *Kontak et al. (1990)*.

### **B. Sienita Nefelinica (Jm-si)**

Esta roca sienítica aflora a lo largo del río Macusani, entre Macusani y Ollachea, o en el fondo de los valles glaciares del macizo de Allincapacc, mientras que en las cimas afloran las vulcanitas del Grupo Mitu parcialmente metamorfizadas por las sienitas.

La roca intrusiva se presenta en forma amplia en el cañón que forma el río Macusani y el Corani, con afloramientos de taludes casi verticales, y de elevada altura.

Esta roca intrusiva aflora a un km ladera arriba al SW y a 10 km con dirección NW de Ollachea, presenta una coloración gris clara, textura gruesa porfírica,

acompañada por una foliación, corta a la Formación Ananea, tal como se observa en los alrededores del puente San Francisco.

Presenta una textura porfirítica de color gris claro, holocristalino. Su mineralogía está constituida por gruesos cristales de feldespato ortosa y en forma escasa por plagioclasas, augitas-egirinas, anfíboles alterado a cloritas, apatitos, epidotas, calcita y opacos.

“Los minerales máficos están representados por augitas-egirinas, anfíboles; la biotita está como inclusión en algunos ferromagnesianos, pero en general están en gruesos cristales asociados con los piroxenos sódicos, escasamente se distinguen microcristales de apatitos y opacos” *Boletín N° 90, serie A (INGEMMET)*.

### **Edad de Emplazamiento**

Tres estudios radiométricos indicarían una edad de la Sienita nefelítica. Las muestras fueron tomadas: una de ellas a 1.9 km al suroeste del Distrito de Ollachea, tomada por Kontak et al. (1990), analizada por K/Ar, que lanza una edad de 155.7 Ma. +/- 4.3 Ma., la otra muestra fue tomada a 4.15 Km al suroeste del pueblo de Ollachea, tomada por Miskovic et al. (2009), analizada por U/Pb, que nos da un dato de 184.1 Ma. +/- 3.7 Ma. y la última muestra fue tomada también por Miskovic et al. (2009), a 4.4 Km al suroeste de Ollachea que fue analizada por U/Pb, que dio un valor de 199.1 Ma. +/- 7.4 Ma.

<b>TABLA N° 5</b> <b>LITOESTRATIGRAFÍA REGIONAL</b>						
<b>CRONOESTRATIGRAFÍA</b>			<b>LITOESTRATIGRAFÍA</b>			
<b>Era</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad estratigráfica</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rocas intrusivas</b>
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos aluviales	Qh-al	Gravas mal clasificadas, sub redondeadas y redondeadas	Complejo de San Gabán Sienita de Macusani 
			Depósitos glaciofluviales	Qh-gf	Conglomerados sub redondeados, litológicamente heterogéneo	
			Depósitos morrénicos	Qh-m	Depósitos de gravas angulosos a sub angulosos, litológicamente heterogéneo	
Mesozoico	Triásico	Superior	Grupo Mitu	PT-mi	Areniscas rojas con gran extensión, con dos litofacies principalmente: clástica y volcánica constituida por lavas andesíticas de textura porfirítica.	
Paleozoico	Pérmico		Formación Ananea	SD-an	Secuencia gruesa de pizarras, foliadas y microplegadas, de color gris azulada.	
	Devónico					
Paleozoico	Silúrico	Caradociano	Formación Sandia	Os-s	Secuencia clástica de areniscas cuarzosas finas de color gris, y pizarras, hacia niveles superiores presencia de cuarcitas.	
	Ordovícico					

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio abarca un segmento de la Cordillera Oriental, compuesto por terrenos en mayor proporción del Paleozoico inferior, en menor proporción del Paleozoico superior. *Boletín N° 90, serie A (INGEMMET).*

La cordillera Oriental de los Andes se ha formado por levantamientos tectónicos sucesivos desde el Paleozoico hasta el presente, por lo que presenta una serie de fallas y pliegues longitudinales y transversales que forman la estructura

interna del macizo cordillerano. Laubacher, G. (1970). El sistema tectónico más conspicuo está formado por la falla inversa Ollachea, que cruzan con rumbo E-W, por la localidad de Ollachea.

Los terrenos del Paleozoico inferior, con una litología mayormente pelítica a excepción de la Formación Sandia, compuesta por areniscas, cuarcitas, pero que también contiene intercalaciones arcillosas, muestran una deformación de tipo plástico.

El Paleozoico superior se presenta incompleto, y conformando mayormente monoclinales fallados.

Dos sistemas de fallas principales afectan los diferentes terrenos que conforman el área de estudio (Falla Ollachea y Falla Paquillusi), (*Ver Mapa N°: 03 (Mapa Estructural)*). Estas características permiten diferenciar tres dominios estructurales:

#### **2.3.3.3.1 Dominio estructural de Ayapata**

Es el dominio más extenso, está situado al Norte de la falla Ollachea. Está compuesto por terrenos de la Formación Sandia y Grupo San José; estas unidades están afectadas por una deformación plástica, que produce una serie de anticlinales y sinclinales más o menos abiertos (Vilca, 2010).

Al Este de Ayapata los ejes de los pliegues tienen una dirección preferencial N 160° E y hacia el NW de Ayapata los ejes de los pliegues tienen una dirección N 110° - 120° E.

En este dominio estructural se han emplazado la mayor parte de cuerpos intrusivos, como los plutones de Coasa, San Gabán, Pumachanca, Marcapata los cuales en su mayoría cortan a la Formación Sandia.

### **2.3.3.3.2 Dominio estructural de Huacune**

Se encuentra limitado al SW por la falla Paquillusi-Corani y al NE por la falla Ollachea. Entre estas dos fallas se encuentran las pizarras de la Formación Ananea, afectadas por un plegamiento plástico abierto, el cual forma un sinclinal y un anticlinal; además una equistosidad de fractura, subparalela a la estratificación, acompaña a esta deformación.

### **2.3.3.3.3 Dominio estructural de Tantamaco**

Este dominio se encuentra limitado al Norte por la falla Corani-Paquillusi. Este dominio está compuesto en su mayor parte por terrenos del Grupo Mitu, que son mayormente de composición volcánica (Luque, 2013).

Completa la estructura de este dominio una sucesión de flujos ignimbríticos tabulares en discordancia angular con el Grupo Mitu. Estas ignimbritas están afectadas por un fallamiento y fracturamiento de dirección NE en el que se ha emplazado mineralización de uranio.

Se ha logrado identificar fallas longitudinales. Estas fallas tienen una orientación NW-SE, y son las fallas Paquillusi, Corani, Ollachea, y otras fallas menores.

#### **A. Falla Paquillusi**

Ubicada en el extremo central Oeste del cuadrángulo de Ayapata es una falla inversa de alto ángulo (Buz. 50°- 60° al NW, NE y E) que pone en contacto rocas siluro-devonianas de la Formación Ananea al Noreste, con las Permo-Triásicas del Grupo Mitu al Suroeste, así como a intrusivos del Jurásico inferior-medio (sienita nefelínica), su orientación preferencial es de 045°/60°NW y 130°/45°NE, con una inflexión al Suroeste, se prolonga al cuadrángulo de Corani hasta

Quisayoc donde es truncada por una falla transversal de orientación N 15° W. Posiblemente sea la prolongación de la falla Corani.

### **B. Falla Ollachea**

Se trata de una falla inversa de alto ángulo, ubicada en el extremo central occidental del cuadrángulo de Ayapata, que pone en contacto a rocas metamórficas de la Formación Sandia al Norte, Noreste con la Formación Ananea, presenta una orientación 075° /60°NW. En el cuadrángulo de Corani se extiende de extremo a extremo poniendo en contacto rocas metamórficas ordovícicas de la Formación Sandia hacia el Noreste con rocas siluro-devonianas de la Formación Ananea y del Permo-Triásico del Grupo Mitu.

#### **2.3.4 HIDROGRAFÍA**

El agua sin duda es uno de los elementos de mayor importancia para la vida, e incluso para el desarrollo de diversas actividades económicas, entre ellas para la generación de energía a partir de la combinación de la disponibilidad de agua y de las condiciones topográficas del medio, para uso recreacional.

Hidrográficamente el área de estudio se ubica dentro de la cuenca del río Inambari que forman parte de las cuencas de la vertiente del Atlántico.

##### **2.3.4.1 Río Macusani**

En las partes altas presenta un conjunto de nevados cuyas altitudes superan los 5,000 msnm; como La Huaña (Coila Punca), Olla Quenamari, Lloccesa, Toldoqueri, Vilajota, Chichiccapi, Allin Ccapac y Vela Cunca.

Las principales lagunas son: Condorquina, Saytajota, Parinajota, Nequejota; otras lagunas han sido reguladas para afianzar la disponibilidad de agua para la

generación de energía hidroeléctrica, entre ellas se tiene a: Pichuza, Patacotuyoc, Tiocacocha, Iscocha y Chaupicota.

Los afluentes del río Macusani, en su mayoría con quebradas pequeñas, estas aportan por ambas márgenes, entre los que se destacan son las siguientes: por la margen derecha: Chulluchullutacosa, Querachuco, Churquinuyo, Jaluyo, Machacoyo, Jancchoy, Huañitira, Sora Ccota, Japu Uma, Huayllapata y Chacuan. Por la margen izquierda se tiene los siguientes afluentes: Calalacaya, Ninahuisa, Huaranchani, Chilcuno, Huchuy Chilcuno, Canisani, Isivilla y río Corani, a partir del cual cambia de nombre a río Ollachea.

#### **2.3.4.2 Río Corani**

Es el tributario más importante del río Ollachea – San Gabán; en las partes altas presenta una extensión considerable de nevados, a altitudes superiores a los 5,000 msnm, los principales nevados son: Jatur Quemari, Cuncunani, Jejarani, Pajo Ananta, Escotepetane, Jurcay Cichilo, San Braulio Quisquipina y Suyuparina.

Las principales lagunas, son menos significativas comparada con la cuenca del río Macusani; estas lagunas son: Jayumuna, Tenecho, Suytocochoa y Quillomani. Algunas de las cuencas ya han sido reguladas con el fin de afianzar la disponibilidad requerida para el uso hidroeléctrico.

Los tributarios, afluentes al río Corani se presentan por ambas márgenes, entre los que se destacan los ríos y/o quebradas de: Queranimayo, Jalpata, Challapampa, Toma Parque, Jarapampa y Pascamayu por la margen derecha; y las quebradas Coscochuco, Janara, Cajamayo, Huancuya, Ccacheria y Ucundaya por la margen izquierda.

### 2.3.4.3 Río Ollachea

El río Ollachea se forma a partir de la unión de los ríos Macusani y Corani aguas arriba de pueblo de Ollachea aproximadamente a 2 Km.

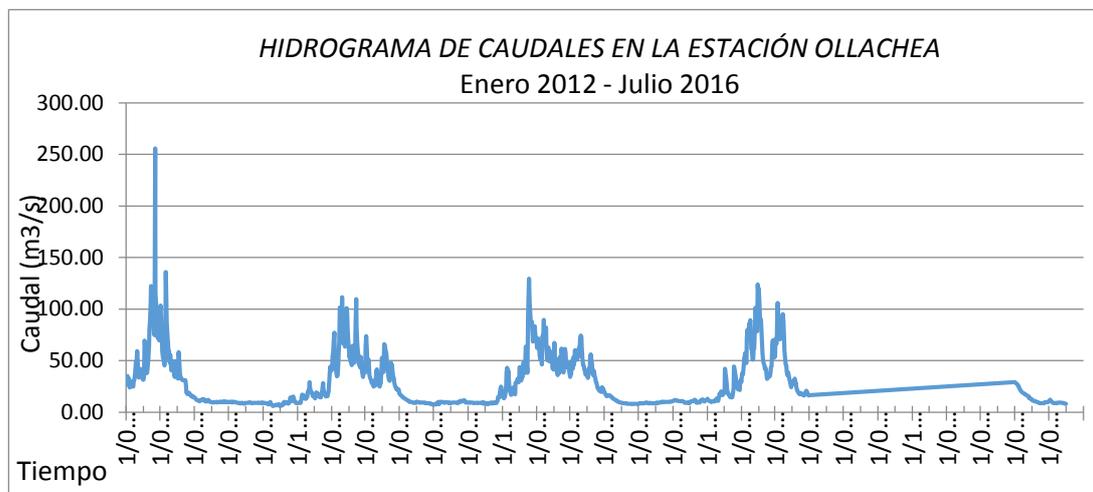
Los afluentes del río, aguas abajo de la formación del río Ollachea por la margen derecha son: Chahuana, Calachaca, Soropata, Casu, Tabina Pampa, Tapuri y Llocnamayo, Tapuri y Tiuni mayo; por la margen izquierda: Oscoccachi, Cuncurchaca, Sayapiamayo, Chintuni, Chuani y el río Chiamayo, este último da lugar al cambio de nombre de río, a partir del cual se denomina río San Gabán.

**Figura N° 5** Curso del río Ollachea, foto tomada en dirección NW. Fotografiada de las coordenadas 8479107 N, 390963 E.

**Figura N° 6** Río Ollachea



**FUENTE:** Elaboración Propia.

**Figura N° 7** Hidrograma de caudales en la estación Ollachea

**Fuente:** Elaboración propia a base de la información de la Hidroeléctrica San Gabán II

#### 2.3.4.4 Río Oscococachi

Estas aguas son cristalinas y presentan una dirección que va de Oeste a Este, encontrándose aguas arriba lugares donde se cría ganado vacuno y aguas abajo el pueblo de Ollachea.

Las aguas de la presente quebrada desembocan sobre el río Ollachea; en todo el cauce del río se han identificado caudales que varían de acuerdo a las estaciones del año. Estas aguas son utilizadas para la ganadería, agricultura, minería artesanal y consumo humano.

A 2 Km aguas arriba del pueblo Ollachea se encuentran afloramientos de importantes manantiales de agua subterránea, no se tiene presencia de fuentes de agua subterránea que pudieran ser más importantes que ésta.

#### 2.3.4.5 Río Calachaca

Sus aguas nacen desde las alturas del cerro Qoscohorco, tiene dos ríos tributarios que son: río Tambillo y Quinsa mayo.

Este río baja en dirección SE-NW, sus caudales son muy variable según la estación.

Aguas arriba se encuentra un importante afloramiento de fuente termal (denominado, fuente termal Quinsa mayo).

## **2.4    NORMATIVIDAD LEGAL VIGENTE**

### **2.4.1   NORMATIVIDAD SOBRE AGUAS RECREACIONALES Y MEDIO AMBIENTE**

La preocupación por el cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales en especial el agua y las áreas recreacionales, tiene como punto de partida los inicios de la sociedad peruana, y se considera que ha cumplido un importante rol en su evolución y desarrollo, reflejándose en los instrumentos legales que dan sustento a las políticas nacionales en el tema ambiental:

#### **a)     Constitución Política del Perú, Año 1993, dispone que:**

- En el numeral 22 del artículo 2° “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un medio ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida “
- Art. 66 “los recursos naturales, renovables, son patrimonio de la nación, el Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a Dicha norma legal”.

#### **b)     Ley N° 28611, Ley General del Ambiente:**

- Según el artículo I del Título Preliminar dice, 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 el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

- Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente;

**c) Ley N° 29338, Ley general de recursos hídricos:**

Aprobada por Decreto Ley N° 17752, la misma que ha sufrido una serie de modificaciones, al respecto a través del Decreto Ley N° 18735 que modifica el Artículo 135°, el Decreto Ley N° 19503 que adiciona el inciso d) de; Artículo 49° y el Decreto Legislativo N° 106 que modifica artículos del D. L. N° 17752; establece que las aguas sin excepción alguna son de propiedad del Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible.

No hay propiedad privada de las aguas, ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo puede ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país. El Estado formula la política que rige su utilización y preservación. Los usos de las aguas son aleatorios y se encuentran condicionados a las disponibilidades del recurso y a las necesidades reales del objeto al que se destinen y deberán ejercerse en función del interés social y el desarrollo del país.

**d) Decreto Legislativo 613: Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales**

En su artículo segundo dispone que:

Es objetivo el promover y regular el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables, estableciendo un marco adecuado para el fomento de la inversión, procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los recursos naturales y del ambiente, y el desarrollo integral de la persona humana.

Entre los recursos que son considerados susceptibles de ser aprovechados por el ser humano, se tienen a:

1. Las aguas superficiales y subterráneas,
2. El suelo, subsuelo y las tierras, por su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales y de protección.
3. La diversidad biológica, entre otros.

**e) Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN y su modificatoria 015-2015-MINAM:**

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprobaron los **Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua** y, mediante Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprobaron las disposiciones para la implementación de dichos estándares.

Que, las referencias nacionales e internacionales de toxicidad consideradas en la aprobación los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua han sido modificadas, tal como lo acreditan los estudios de investigación y guías internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(FAO), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, de la Comunidad Europea, entre otros;

Que, asimismo, el Ministerio del Ambiente ha recibido diversas propuestas de instituciones públicas y privadas, con la finalidad de que se revisen las subcategorías, valores y parámetros de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua vigentes, por lo que, resulta necesario modificar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y precisar determinadas disposiciones contenidas en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM.

Por otro lado, según las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, precisa las categorías:

**Categoría 1:** Poblacional y recreacional, sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación.

**B1. Contacto Primario:** Aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de la Salud, incluyen actividades como natación, esquí acuático, buceo libre, surf, canotaje, navegación en tabla a vela, moto acuática, pesca submarina o similares.

**B2. Contacto Secundario:** Aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, como deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales

- I. **Vegetales de tallo bajo.** Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo, que usualmente tiene un sistema radicular difuso o fibroso y poco

profundo. Ejemplo: ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares.

- II. **Vegetales de tallo alto.** Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, de porte arbustivo o arbóreo, que tienen una mayor longitud de tallo, ejemplo: arboles forestales, árboles frutales, entre otros.
- III. **Bebida de animales.** Entiéndase como aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélidos y para animales menores como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

<b>TABLA N° 6</b>						
<b>ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUAS</b>						
<b>CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL</b>						
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</b>			<b>Aguas superficiales destinadas para recreación</b>	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm	1500	1600	**	**	**
D.B.O.	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergente (SAAM)	mg/L	0.5	0.5	Na	0.5	ausencia de espuma persistente
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0.1	0.15	0.15	**	**
<b>Olor</b>		Aceptable	**	**	aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=6	>=5	>=4	>=5	>=4
p H	Unidad de p H	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	6-9 (2.5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0.05	**	**	0.05	**
Turbiedad	UNT	5	100	**	100	**
<b>INORGANICOS</b>						
Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	**
Antimonio	mg/L	0.006	0.006	0.006	0.006	**
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.01	**
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	0.7	**
Berilio	mg/L	0.004	0.04	0.04	0.04	**
Boro	mg/L	0.5	0.5	0.75	0.5	**
Cadmio	mg/L	0.003	0.003	0.01	0.01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	**
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	**
Hierro	mg/L	0.3	1	1	0.3	**
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.5	0.1	**

Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.001	**
Níquel	mg/L	0.02	0.025	0.025	0.02	**
Plata	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	0.05
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	**
Selenio	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.01	**
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Vanadio	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**

**UNT.** Unidad Nefelométrica Turbiedad  
**NMP/100mL.** Número más probable en 100mL.  
 \* Contaminantes orgánicos persistentes (COP).

\*\* Se entenderá que para esta sub categoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la autoridad competente determine.

**Fuente:** D.S\_015\_2015\_ECA\_AGUA

**f) Decreto Legislativo 1055, LMP: límites máximos permisibles.**

El Límite Máximo Permissible – LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

**2.4.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PUNO**

**2.4.2.1 Ubicación, extensión y capital de la región**

Puno es un departamento del Perú situado en el Sureste del país. Ocupa 67 mil km² de territorio conformado por la mitad occidental de la Meseta del Collao, al Oeste del lago Titicaca, y las yungas amazónicas al Norte. Limita al Este con territorio boliviano, al Suroeste con los departamentos de Tacna, Moquegua y Arequipa, al Oeste con el del Cuzco y al Norte con Madre de Dios, la región de

Puno tiene un total de Habitantes 1, 389,684 hab. (Estimada 2013) con una densidad 20,19 hab/km<sup>2</sup>.

#### **2.4.2.2 Breve reseña histórica de Ollachea**

El Distrito Peruano de Ollachea es uno de los 10 distritos que conforman la Provincia de Carabaya, ubicada en el Departamento de Puno, perteneciente a la Región Puno, en el Sureste de Perú.

##### **2.4.2.2.1 Significado del nombre**

El origen del nombre no está determinado, pero si hay tres hipótesis diferentes: “OLLACHIA, OLAYCHEA y URAYCHIA”.

OLLACHIA, antiguamente los comuneros lo llamaban así por el medio geográfico. La palabra OLLACHIA proviene de dos palabras “OLLA”, significa que el pueblo está dentro de cuatro cerros inmensos llamados: Qoscohorco, Sacampata, Ccoropiña e Iringaya, estos cerros forman la figura de una olla, CHIA lo pusieron porque una de las comunidades se denomina así.

Con el transcurso del tiempo los comuneros se dieron cuenta que la palabra OLLACHIA estaba en quechua y más adelante cambiaron por el nombre de OLLACHEA.

OLAYCHEA, muchos años atrás el señor Olaychea era propietario de estas tierras (finca de Olaychea), y en memoria de le pusieron OLLACHEA.

URAYCHIA, esta hipótesis consiste que antiguamente no había población en el lugar actual de Ollachea, las personas vivían en SAYAPIA y en las alturas denominada AZAROMA, donde a Sayapia era llamado URAYCHIA y a Azaroma lo llamaban JANAK'CHIA.

Con el pasar del tiempo los comuneros de Uraychia migraron así el valle actualmente llamado Ollachea. Fuente: Sr. Calvo M. (2008)

### **2.4.3 AGUAS TERMALES Y MINERALES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**

El INGENMET ha realizado el estudio sobre las aguas termales y minerales en Norte, Centro y Sur del Perú y pone en evidencia que estas aguas termales y minerales se ubican en la región Puno, y que geopolíticamente abarca las Provincias de Melgar, Putina, Azángaro, Sandia y Carabaya.

La finalidad del Estudio ha sido efectuar el inventario de las fuentes termales y minerales, analizar su composición físico-química y evaluar las posibilidades de su utilización considerando su calidad, temperatura y ubicación.

### **2.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE AGUAS TERMALES Y SU ORIGEN**

En el área de estudio se identificaron tres zonas de mayor interés: Quinsa Mayo, Piscina Municipal y Ccollpapampa, entre Ccollpapampa y la Piscina Municipal se han identificado más de 5 manifestaciones de aguas termales. Las surgencias de las fuentes están controladas por zonas permeables, fracturas y fallas con rumbo NW - SE y NE -SW.

Al margen izquierdo del río Ollachea las fuentes termales tienen mucha presencia de sólidos totales en suspensión, temperaturas superiores a 80°C (se encuentran dentro de la clasificación de hipertermales 50 – 100°C), alta conductividad eléctrica y las fuentes al margen derecho mirando al este son, muy transparentes, conductividad eléctrica con valores muy bajos a las fuentes del

margen izquierdo, temperaturas entre 50 – 80°C (agua hipertermal). Estas fuentes están asociadas a controles estructurales, y litológicas.

**Figura N° 8** Afloramiento de fuente hidrotermal Quinsa Mayo, fotografiada en mes de Julio del 2016, mirando al S.

**Figura N° 9** Afloramiento de la fuente hidrotermal Ccollpapampa, tomada el mes de Octubre del 2015, capturada en dirección NW, de las coordenadas 8472363 N, 342037 E y 8473751 N, 340540 E respectivamente



**FUENTE:** Elaboración propia.

#### 2.4.5 DESARROLLO Y USO DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES

A continuación, se analiza el desarrollo y uso de las fuentes termales en el área de estudio:

##### 2.4.5.1 Aprovechamiento como uso turístico

En el aspecto turístico, gran parte del área de estudio se halla dentro de lugares muy visitados por turistas ya que cuentan con centros arqueológicos muy reconocidos. Además, muestran impresionantes paisajes naturales, montañas, nevados, lagunas y ríos; los cuales son atractivos para deportes de caminatas (*trekking*), montañismo. Barrionuevo, I. Y. (2004)

Si a esto agregamos la existencia de fuentes termales con excelentes temperaturas, caudales y ubicación cercana a lugares estratégicos para el descanso y refortalecimiento de la salud, entonces, es recomendable la

explotación de estos recursos como centros balnearios termales turísticos; siendo necesario para ello dotarlos de infraestructura apropiada y mejorar las vías de acceso.

Tomando en cuenta factores como Accesibilidad, temperatura y caudal podemos Clasificar como se muestra en el cuadro siguiente.

<b>TABLA N° 7</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES TERMALES SEGÚN SU FACTOR</b>			
<b>Factor</b>	<b>Fuente Termal</b>		
	Quinsa Mayo	Piscina Municipal	Ccollpapampa
Buena Accesibilidad	Camino Herradura	Asfaltado	Asfaltado
Buena Temperatura	T° > 50°C	T° > 50°C	T° > 50°C
Buen Caudal	>5 L/min	>5 L/min	>5 L/min

*Fuente y elaboración propia*

Sin embargo, para desarrollo como baño termal también hay que considerar la composición química de las aguas.

#### **2.4.5.2 Como uso de bebidas**

En lo que respecta a la producción de bebidas, en el sector de estudio existen pocas fuentes con agua apta para ser embotellada y comercializada como tal. Tomando en cuenta los valores límites para bebidas, establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y un caudal suficiente.

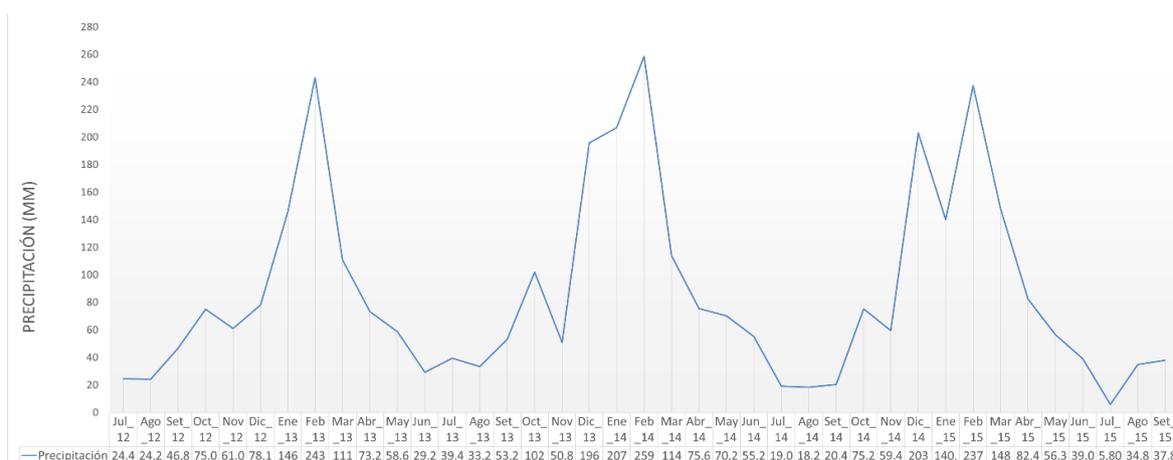
Según PARKER Y KODMAN (1990), el agua mineral natural debe contener al menos **1000 mg/l de sales disueltas**. Las normas establecidas por la OMS en 1969, para el agua mineral natural, consigna que “deben considerarse como tales, aquellas bacteriológicamente incontaminadas, procedentes de una fuente subterránea, con un mínimo de un gramo de mineralización por litro ó 250 mg de anhídrido carbónico por litro, y con propiedades favorables para la salud, según criterios admitidos por el Comité Organizador de la FAO/OMS” (ARMIJO, 1992).

## 2.5 FISIOGRAFÍA Y CLIMA

La fisiografía de la zona del distrito de Ollachea es variada, se encuentra en la zona sur de los Andes peruanos, por lo que se caracteriza por una superficie montañosa con pendientes muy variadas en diferentes tramos del distrito. El área de estudio se encuentra dentro del valle Ollachea, está constituido principalmente por una gran formación montañosa, con pendientes que se encuentran en un rango de 50% a 90%. Controladas por las diferentes intrusiones y fallamientos que existen en el lugar, estas unidades geomorfológicas constituyen divisorias de agua y no presentan formación de suelo ni vegetación relevante, es decir se encuentra la roca expuesta a los diversos procesos de meteorización favorecidos por la humedad y temperatura de la zona.

Ollachea está ubicado dentro de un régimen climático subalpino (Luque C. 2013, pág. 65). La precipitación promedio anuales aproximadamente es 94.05 mm por año (Senamhi estación Ollachea). La precipitación anual dominante es recibida entre los meses noviembre a abril en forma de lluvia, donde el año 2012 la precipitación total mensual llegó a su tope de 257 mm, la nieve y granizo son acontecimientos extraños dentro del rango en la elevación a la que se encuentra el lugar de estudio.

**Figura N° 10** Precipitación total mensual (mm)



**Fuente:** *Elaboración propia en base a la información de Senamhi estación Ollachea,*

La temperatura media mensual máxima en Ollachea está en un rango de 14.6 °C a 14.2 °C registradas entre los meses de diciembre y marzo, y la temperatura mínima entre 10.6 °C a 11.0 °C en los meses de junio agosto.

La estación meteorológica de Ollachea en los años 2008 al 2016, indican la dirección del viento es muy variable durante todo el año, predominando la dirección Noreste con ciertas desviaciones al Noroeste, registrando una velocidad media mínima en el mes de diciembre (3.6 m/s) y una velocidad media máxima entre los meses de agosto y septiembre con valores de 6.3 y 6.9 m/s.

*Fuente: Senamhi estación Ollachea.*

## 2.6 FAUNA Y FLORA

### 2.6.1 FAUNA

#### 2.6.1.1 AVES

En estudios de línea base en el área de estudio registraron 11 especies de aves distribuidas en 10 familias de aves. Ver tabla siguiente.

TABLA N° 8			
ESPECIES DE AVES IDENTIFICADAS EN EL PROYECTO OLLACHEA.			
N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE LOCAL
1	Accipitridae	ktinia plumbea	quilincha
2	Apodidae	Streptoprocne zonaris	sillu yenque, califa
3	Cathartidae	Vultur griphus	cóndor
4	Columbidae	Metriopelia avmara	urpi ,cocotolla
5	Emberizidae	Zonotrichia capensis	pichitanca
6	Emberizidae	Phrygilus unicolor	jilguero , cheiña
7	Falconidae	Phalcoboenus megalopterus	ancca
8	Psittacidae	Bolborhynchus orbyngnesius	Callaloro
9	Trochilidae	Pterophanes cyanopterus	Luleqqente
10	Turdidae	Turdus chihuanco	chihuanco
11	Tyraniidae	Tyrannus melancholicus	

**Fuente:** Luque Condori, Edgar David (tesis)

### 2.6.1.2 MAMÍFEROS

En los alrededores del proyecto se observaron mamíferos domésticos tales como burros y caballos. Además, se registraron 5 especies de fauna silvestre, como se muestra en la tabla siguiente.

TABLA N° 9			
ESPECIES DE MAMÍFEROS IDENTIFICADOS EN EL PROYECTO OLLACHEA.			
N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR
1	Cervidae	Odocoileus virginianus	venado gris
2	Felidae	Puma concolor	puma
3	Mephitidae	Conepatus chinga	zorrito
4	Mustelidae	Mustela frenata	comadreja
5	Ursidae	Tremarctos ornatus	oso de anteojos

**Fuente:** Luque Condori, Edgar David (tesis)

### 2.6.2 FLORA

Las principales formaciones vegetales, según el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Ollachea elaborado por la consultora Tecnología XXI (2010), encontradas en el distrito de Ollachea son las siguientes:

**Pajonal:** Son áreas altoandinas con presencia de plantas de la familia Poaceae en abundancia, siendo la más representativa el ichu, Jaraba ichu. También, se

pueden encontrar plantas del tipo herbáceas dicotiledóneas de la familia Asteraceae, Melastomataceae y Rosaceae. El continuo de esta vegetación puede ser interrumpido, de vez en cuando, por algunas plantas arbustivas.

***Bofedales:*** Son áreas conformadas por especies vegetales en forma de cojines compactos, se los puede encontrar en humedales altoandinos y la especie más característica en esta zona es *Distichia muscoides*.

***Matorral secundario:*** Pertenece a una formación del tipo leñoso conformado por arbustos y árboles pequeños, en la zona de estudio se encuentran en las periferias de zonas antropizadas, ya que presenta especies que parecen ser un remanente de bosque montano mezclado con especies característica de zonas intervenidas por los humanos, por ejemplo, se encuentran malezas, además de plantas de tipo epífitas y árboles que no superan los 5 metros.

***Bosque montano:*** Son bosques con doseles de hasta 15 metros; se caracteriza por ser muy denso con gran presencia de musgos y epífitas vasculares, se hallan en partes altas de los cerros y en zonas con pendientes muy empinadas.

***Zonas cultivadas:*** Estas áreas son espacios antropizados que sirven como zonas de cultivos para subsistencia de la población, por lo general, compuesto por cultivos de maíz, papa, habas y rocoto. Las zonas cultivadas están disminuyendo con el paso del tiempo ya que las poblaciones abandonan las chacras para dedicarse a la minería, por lo que los cultivos se llenan de plantas de sucesión como malezas (*Tecnología XXI, 2010*).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Para el desarrollo de la investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos, ver la siguiente tabla.

TABLA N° 10 MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR		
NÚMERO	OCUPACIÓN O NOMBRE	TRABAJO A REALIZAR
1	Geólogo	Mapeo geológico
1	Ayudante	Ayuda a realizar mapeos
2	Muestrero hidrogeoquímico y de roca	Realizó muestreos de agua y roca en diferentes puntos de alto interés.
EQUIPOS		
1	Mutiparamétrico modelo HANNA HI 9828 v2.1	Toma de datos fisicoquímicos de las aguas IN SITU.
	ICP-OES	El laboratorio nos dará resultados de análisis de metales pesados.
	UNA-PUNO	Medición de parámetros Fisicoquímicos

*Fuente y elaboración propia*

#### 3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación que se realizó es de tipo descriptiva - experimental, para lo cual se ejecutó en cuatro etapas: Etapa I: Gabinete, Etapa II: Trabajos en campo, Etapa III: Trabajos de laboratorio y Etapa IV: Gabinete II.

##### 3.2.1 ETAPA I: GABINETE

En esta etapa se hizo un trabajo netamente inductivo, se hizo una recopilación, revisión y análisis de la información, como fuente principal para la ejecución de

esta etapa fue el internet (artículos, revistas publicados por INGEMMET u otras instituciones afines, páginas sobre hidrotermalismo en el Perú y el mundo, tesis publicados) y biblioteca especializada de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la UNA-Puno, utilizando las tesis relacionados al tema de estudio. También se prepararán imágenes satelitales del lugar de estudio, mapa de ubicación, mapa base (usando como fuente las cartas nacionales), plano topográfico con la ayuda de softwares como Arcgis 10.2, Global Mapper, Google Earth y AutoCAD 2016.

### **3.2.2 ETAPA II: TRABAJOS EN CAMPO**

En la ejecución se tomó parámetros en campo y en laboratorio.

#### **3.2.2.1 PARÁMETROS EN CAMPO**

Se realizó métodos de cartografiado geológico para la elaboración de mapas y perfiles geológicos, para la descripción se efectúa en base a la información obtenida a partir de mapas regionales a escala 1: 100,000 del INGEMMET, esto ayudó a saber las diferentes estructuras geológicas existentes en el área de influencia directa y dar una opinión sobre el cambio de las características fisicoquímicas de las fuentes hidrotermales.

La información cartográfica se usó bajo el sistema de coordenadas geográficas con Datum WGS84. (*Ver Mapa N°: 06 (Mapa Geológico)*)

En seguida se realizó monitoreo de las aguas in situ, muestreos de agua y roca, para el desarrollo del monitoreo de la calidad de las aguas se tomó en cuenta el protocolo de monitoreo del MINAM y la cadena de custodia del muestro de agua, ver Anexos.

### **3.2.2.1.1 Protocolo para la toma de muestra de agua y análisis en campo**

La toma de muestras debe garantizar la representatividad de las características y concentraciones del efluente o cuerpo de agua analizado. Esto implica una preparación previa en cuanto a la selección de los puntos de muestreo más representativos, material apropiado para su recolección, reactivo y/o medios de preservación, planillas de captura de información en campo, volumen apropiado del material captado, rótulos, y demás insumos que son necesarios para garantizar la trazabilidad del proceso y permitan conducir al laboratorio una muestra lo más representativa posible, que conserve las características originales. Para que la muestra que ingrese al laboratorio cumpla con todos los criterios de validez y representatividad, es muy importante que el protocolo de toma de la muestra este fundamentado en los métodos analíticos utilizados para la toma y preservación de las muestras de vertimientos establecidos de manera general por el ente rector de hidrológica, meteorología y estudios ambientales.

#### **a) Ubicación de puntos de muestreo**

En el presente monitoreo ambiental se consideró la evaluación de las fuentes de agua termal y la fuente de agua superficial cuya calidad de agua puede ser influenciada por la descarga de las aguas termales ubicadas dentro del área de estudio. Para lo cual se consideró, aguas arriba y aguas abajo del punto de entrega de las aguas termales.

El muestreo en agua para el análisis por ICP se hizo en dos fechas diferentes (tiempo de avenida y en estiaje).

Donde a continuación se hacen mención los siguientes puntos de muestreo de agua en época de avenida.

- Primera muestra, en el río Ollachea (100 m más abajo del encuentro río Ollachea y Calachaca).
- Segunda muestra en la fuente hidrotermal Ccollpapampa.
- Tercera muestra en el río Ollachea (100 m más arriba de la fuente hidrotermal Ccollpapampa).

*Puestos de muestreo en agua en tiempo de estiaje.*

- Primera muestra en la fuente hidrotermal Quinsa Mayo.
- Segunda muestra en la piscina municipal de Ollachea.
- Tercera muestra en la fuente hidrotermal Ccollpapampa.
- Cuarta muestra en el río Ollachea (en el encuentro de los ríos Corani y Macusani).
- Quinta muestra en el río Oscococachi (puente Huayrusiña).

*(Ver Mapa N°: 05 (Mapa de ubicación de muestras))*

#### **b) Durante el muestreo de agua**

Durante el muestreo de aguas se empleó los siguientes materiales básicos:

- Cinta pegante o de enmascarar, adhesivos, etc.
- GPS
- Balde plástico de 5 a 10 litros
- Frascos de polietileno esterilizado de 1 L de capacidad
- Cinta métrica
- Guantes de Nitrilo o Neopreno
- Formato de toma de muestras
- Etiquetas
- Tabla portapapeles

- Bolígrafo o marcador de tinta indeleble
- Depósito térmico (cooler)
- Equipo de protección personal (EPP)

### **Instructivo para la toma de muestras**

Es necesario cumplir con los estándares de calidad para sus resultados, por lo tanto, tener en cuenta las siguientes instrucciones.

#### ***Consideraciones técnicas específicas:***

Se requiere un balde para la recolección de la muestra, para asegurar la homogeneidad e identidad única de la muestra para todos los parámetros solicitados y debe contar con tapa (5 o 10L de capacidad), balde y su tapa debe ser debidamente lavado y enjuagado (para que no queden restos de detergente; preferencia debe ser nuevo).

Una vez en el punto de muestreo, el operador responsable, se calza los guantes: de Nitrilo o Neopreno (nuevos) (evitar los guantes de látex descartables, ya que el talco de los mismos pueda contaminar la muestra) y procede a recolectar muestra en cantidad suficiente. Luego, recolectar muestra a contracorriente, si fuera posible a 30 cm por debajo de la superficie y a la mitad del cuerpo del agua, evitando las zonas de turbulencia (llenar el balde si es posible) y evitando remover fondos de lodos o sólidos de las paredes del cuerpo de agua.

La muestra recolectada se homogeniza removiendo sin airear, y se reparte en los frascos que ya están etiquetados para los ensayos específicos en el siguiente orden:

## 1. Toma de muestra para ensayos ICP

Enjuagar dos veces con una porción de la muestra los frascos de plástico de 1/2 litro que están demarcadas como "ICP", luego llenar completamente, evitando que queden burbujas dentro del frasco.

El operador debe asegurarse que se ha recolectado la muestra en todos los frascos, debe revisar la tapa y el frasco que están debidamente rotuladas, asegurarse que las etiquetas están correctamente llenas, de manera que no pueda haber confusión o duda acerca de la identificación correcta del punto de muestreo y sus datos asociados, es decir hora de toma de muestra, nombre del punto, etc.

Por responsabilidad con el medio ambiente se le pide no dejar en el punto de muestreo restos como: guantes descartables usados, frascos vacíos, papel, etc.

**NOTA:** Si las condiciones físicas de acceso al punto de toma de muestra no permiten el uso de un equipo tan grande como un balde, proceder a tomar la muestra en los frascos directamente, siguiendo las recomendaciones antes mencionadas, tener especial cuidado con los parámetros que exigen preservación para estabilidad de la muestra.

Para las muestras de agua los recipientes son generalmente de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Por ejemplo, para la determinación de metales no es conveniente utilizar recipientes de vidrio; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden absorber trazas de metales contenidas en las muestras

### c) Durante el monitoreo de las aguas

Se tomó datos fisicoquímicos del agua in situ en 15 estaciones, utilizando un equipo multiparámetro modelo HANNA HI 9828 v2.1, donde los resultados obtenidos pasaron por un tratamiento estadístico, hidrogeoquímico utilizando software Excel 2015 y AquaChem 2014.2.

Los parámetros que se analizan in situ son los siguientes: DO ppm (oxígeno disuelto),  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (conductividad eléctrica), pH (potencial de hidrogeniones), °C (temperatura), tds ppm (sólidos totales disueltos), atm (presión), sal (salinidad), ORP (capacidad de reducción del oxígeno),  $\Omega$  cm (resistencia eléctrica) (ver tabla N° 16 y 20 resultados de pruebas in situ de calidad de aguas de las fuentes termales y del cuerpo receptor).

### d) Durante el muestreo de rocas

Para la ubicación de muestreo de roca, el cartografiado geológico fue la herramienta indispensable, en el mapa geológico se ubicó primero las zonas de interés para el muestreo, así teniendo que muestrear en 6 puntos de alto interés.

Durante el muestreo de roca el tipo de muestreo que se empleó fue de tipo “*rock sample*”.

Materiales que se utilizaron durante el muestreo de roca:

- Píca geológica
- Mapa base
- Protactor
- Lápiz de dureza
- Bolsa para muestra de roca
- Lupa 30x

- Morral
- Comba
- Cincel

#### e) Cadena de custodia

Es el proceso de control y vigilancia del muestreo, incluyendo los métodos de toma de la muestra, preservación, codificación, transporte y su correspondiente análisis. Esta es esencial para asegurar la representatividad e integridad de la muestra desde su toma hasta el reporte de sus resultados. Con la cadena de custodia se asegura la confiabilidad de la muestra y permitir la trazabilidad de la misma. A continuación, se describen cada uno de los pasos que se deben seguir para el control de las muestras:

**Etiquetas:** Es la identificación de las muestras, debe pegarse a los frascos antes del muestreo y debe contener la siguiente información:

**Código:** Número de Identificación de la muestra.

**Fecha:** Fecha en la cual se realiza la toma de la muestra.

**Hora:** Hora de la toma de la muestra.

**Lugar:** Es la ubicación general del sitio de toma. (Coordenadas UTM).

**Tipo de muestra:** Agua de manantial, termal, de río, de laguna, de piscina, etc.

**Punto de Toma:** Lugar donde se toma la muestra.

**Parámetro medido In Situ:** Temperatura, Conductividad, Caudal y pH.

**Responsable:** Nombre del recolector.

**Solicitante:** Nombre de la Empresa o persona que solita la toma de las muestras.

**Teléfono:** Teléfono del usuario

**Dirección:** Dirección del Usuario.

*Ver anexos (cadena de custodia - agua).*

### **3.2.2.2 PARÁMETROS EN LABORATORIO**

Las muestras de agua se llevaron a los Laboratorios Analíticos del Sur (LAS) y de la UNA-Puno; usando métodos de análisis por ICP-OES y análisis para parámetros fisicoquímicos. Los resultados obtenidos por estos análisis se hicieron un tratamiento hidrogeoquímico y geoquímico con el diagrama de Piper Hill y Schoeller. Ver fig. N° 21 y 22 (tratamiento hidrogeoquímico)

### **3.2.3 ETAPA III: TRABAJOS DE LABORATORIO**

En esta etapa se pasa a realizar el mapa geológico, las secciones y el perfil geológico, indudablemente son muy importantes para saber el origen de los minerales transportados por la fuente hidrotermal y sus parámetros fisicoquímicos.

Las muestras de agua son analizadas por ICP – OES y análisis por determinar parámetros fisicoquímicos (ver tabla N° 17 y 19 resultados de laboratorio UNA-PUNO y LAS)

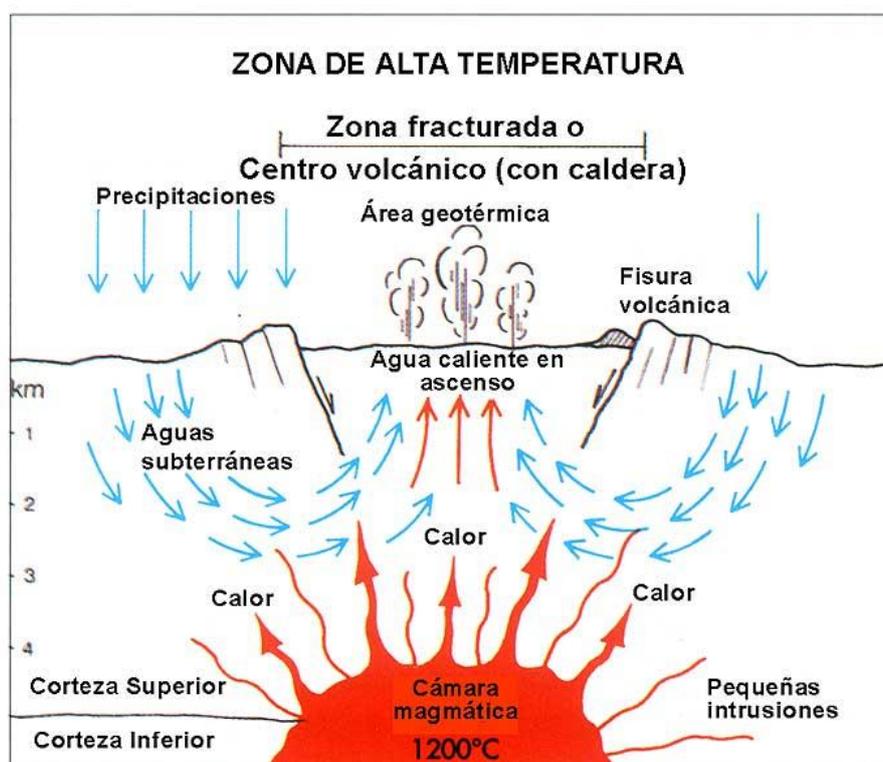
#### **3.2.3.1 Análisis hidrogeológico de las fuentes**

Actualmente los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, como así también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente. El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarca: la

evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, fisuración, su composición química, los rasgos geológicos y geotectónicos.

Las fuentes termales de Ollachea drenan a través de una capa permeable, a quien cae es a la formación Sandía ya que según el mapeo geológico que se hizo no existe rocas permeables. (Ver Mapa N°: 06 (Mapa Geológico))

**Figura N° 11** Representación esquemática de un sistema geotérmico ideal.



**Fuente:** [https://www.geothermal-energy.org/que\\_es\\_la\\_energia\\_geotermica.html](https://www.geothermal-energy.org/que_es_la_energia_geotermica.html)

### 3.2.3.2 ICP-OES

Es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (ng/l – mg/l). Consiste en un equipo dotado de un

monocromador posterior a la muestra y una serie de detectores dedicados a cada elemento en diferentes posiciones del plano focal.

Su principal característica es que posee unos límites de detección para la mayoría de los elementos de unas pocas ppb – ppt que la hace ideal para el análisis de elementos traza. (Wikipedia)

Para el uso de este método se utilizó los Laboratorios Analíticos del Sur (LAS), los resultados se muestran en la tabla N° 19.

### **3.2.4 ETAPA IV: GABINETE II**

#### **3.2.4.1 Análisis geológico de la zona de estudio**

Al terminar el cartografiado geológico, en esta etapa se hizo las interpretaciones correspondientes, a través de perfiles geológicos (ver perfil geológico N° 01), de las cuales se pudo concretizar afirmando que en el área estudia tenemos dos formaciones de rocas metamórficas del Paleozoico las cuales son: Formación Sandia (Os-sa) y Formación Ananea (SD-a), del Mesozoico tenemos al Grupo Mitu (Ps-mi), las Rocas intrusivas que son: el Complejo de San Gabán (PT-mzg/gr) y la Sienita Nefelinica (Jm-si) y del Cuaternario tenemos los Depósitos Coluviales (Q-co) y Depósitos Aluviales (Q-al).

#### **3.2.4.2 Interpretación de parámetros físico químicas**

Los parámetros físico - químicos de las aguas termales y ríos que están dentro del área de estudio fueron tomados, de las cuales en esta etapa se les dio un tratamiento hidrogeoquímico a través del diagrama de Piper Hill y Schoeller Sánchez, S. R. (Ver figura N° 21 y 22).

### 3.2.4.3 Interpretación de los metales pesados

Los resultados de las muestras enviadas al laboratorio han sido comparados con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA's) de Categoría 1: poblacional y recreacional Sub categoría B1: contacto primario, del Decreto Supremo 002-2008 MINAM del 30 de julio de 2008 y su modificatoria Decreto Supremo 015-2015-MINAM del 18 de diciembre del 2015, Dichos resultados se presentan en las tablas 16 y 20 (Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas) y las tablas 17 y 19 (Resultados de Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### CONDICIONES GEOLÓGICAS

##### 4.1 GEOLOGÍA LOCAL

Las actividades de campo comprendieron el reconocimiento y levantamiento geológico regional de todas las concesiones del proyecto Ollachea. Se utilizó como base los trabajos realizados por el INGEMMET en los cuadrángulos de Corani y Ayapata (28u y 28v). El cartografiado fue elaborado a partir de la observación directa en campo, sobre una base topográfica a escala 1:20 000. Se realizaron también trabajos de reconocimiento a lo largo de los ríos, carreteras y caminos, que permitieron conseguir una descripción y clasificación de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio. Para la ubicación de los datos tomados en el campo, se contó con un GPS Garmin, etrex vista Hcx, que resultó de mucha utilidad, principalmente en las áreas de poco relieve topográfico.

##### 4.1.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El lugar de estudio geomorfológicamente se encuentra en la región subandina, ubicada entre la Cordillera Oriental y la Llanura Amazónica, está constituida por una franja de territorio de topografía accidentada, generados por el tectonismo del ciclo orogénico Hercínico (Devónico).

Los caracteres geomorfológicos locales de la zona se deben a procesos exógenos de degradación y agradación o acumulación de depósitos de gravas, cantos, arcillas, etc. A causa de los complejos estructurales, litológicos y mineralógicos que fueron uno de los principales factores.

**Figura N° 12** Geomorfología Local de Ollachea, al fondo la Piscina Municipal.



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.1.1 Agentes y factores de modelamiento geomorfológico

Los agentes y factores del modelamiento geomorfológico de la zona de estudio más importante que han modelado el área en las diversas épocas geológicas son:

##### 4.1.1.1.1 Tectónicos

Luego del surgimiento del sistema montañoso Herciniano (a fines del pérmico medio y comienzos del pérmico superior se produjo el levantamiento y plegamiento del geosinclinal Herciniano, acompañado de procesos de

fallamientos y magmatismo), los agentes epígenos del modelado terrestre empezaron su trabajo de erosión y peneplanización a molasas del Grupo Mitu, dejando relieves abruptos en esta formación.

#### **4.1.1.1.2 Volcánicos**

La configuración morfológica del área se debe también a la efusión volcánica del Permiano – Triásico, que han formado conos y planicies lávicas; antes de la última glaciación. Actualmente existe una calma volcánica, al igual que la tectónica.

#### **4.1.1.1.3 Hidroclimáticos**

Durante la última glaciación y la actual de glaciación se produjeron periodos climáticos de altas precipitaciones que son los principales agentes del desgaste y consiguiente modelado. Actualmente estos agentes son los más relevantes en los procesos morfo dinámicos, las precipitaciones actuales con un promedio anual 94.05 mm; desarrollan los actuales procesos erosivos más importantes de la zona.

#### **4.1.1.1.4 Eólicos**

Estos son de menor importancia en la zona actualmente está íntimamente ligado al factor climático, y los procesos geodinámicos que se dan con mayor énfasis en periodos de avenida, los procesos de crioclastia (gelivación) en periodos invernales.

#### **4.1.1.1.5 Antropomórficos**

Desde años muy remotos la presencia del ser humano en la zona de estudio siempre estuvo presente es por ello, que hay bastante presencia de caminos de

herradura, construcciones de viviendas antiguas (*Chullpas*), construcción de andenes para los cultivos, canales de riego, etc.

Y más ahora la población humana durante estos últimos años creció y a causa de esto también se ha generado un modelamiento en el paisaje y el relieve, construyéndose viviendas, generando movimientos de suelos, construyendo pistas, carreteras afirmadas, abertura nuevos caminos, galerías subterráneas, entre otros.

La crianza del ganado vacuno también juega un rol importante en la transformación del relieve, en las partes altas superando los 3000 m.s.n.m., los ganados vacunos son muy concurrentes y lo cual hace que los suelos sean removidos diariamente.

**Figura N° 13** Actividad antrópica (andenes)



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.1.2 Unidades geomorfológicas

En la zona de estudio, durante los trabajos de campo se ha podido identificar cuatro sistemas (sistema montañoso, sistema glaciar, sistema fluvial y sistema antrópico), las que se presentan en la tabla N° 11.

##### 4.1.1.2.1 Sistema montañoso

###### a) Montañas

Es la unidad o componente de una cadena montañosa de diverso origen, con más de 300 m de desnivel respecto a su nivel de base local, cuya cima puede ser aguda, redondeada o tabular, sus laderas regulares e irregulares a complejas y su pendiente o declive superior al 30% (INGEMMET – Mapas geomorfológicas).

Esta unidad es muy persistente, que está representada por las elevaciones más pronunciadas ubicadas en la zona de estudio con elevaciones desde los 3000 m.s.n.m. a más, de las cuales los cerros: Qoscohorcco, Ccoropiña, entre otras presenta estas características.

###### b) Colinas

Es una elevación natural de terreno con desnivel inferior a 300 m, cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente (INGEMMET – Mapas geomorfológicas).

El desgaste intenso sobre los macizos de rocas paleozoicas, dieron lugar a la formación de colinas, lo cual la presencia de las colinas en la zona estudiada al igual que las montañas es muy persistente, forma parte de todos los cerros que se encuentran alrededores de la zona de estudio con elevaciones menores a los 3000 m.s.n.m.

### c) Lomadas

Elevaciones del terreno de similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8% y 16%.

Este tipo de unidad se puede apreciar dentro del pueblo de Ollachea (*ver Mapa N°: 04 (Mapa Geomorfológico)*), y en algunas partes dentro de las montañas.

#### 4.1.1.2.2 Sistema glaciar

##### a) Valles en “U”

El valle en forma de U es característico de la erosión glaciar. El paso de masas gigantes de una glaciar marca el paisaje con huellas imponentes. Su poder abrasivo desgarró las paredes de bloques de roca. Estos son triturados y llevados corriente abajo. Estas son las morenas.

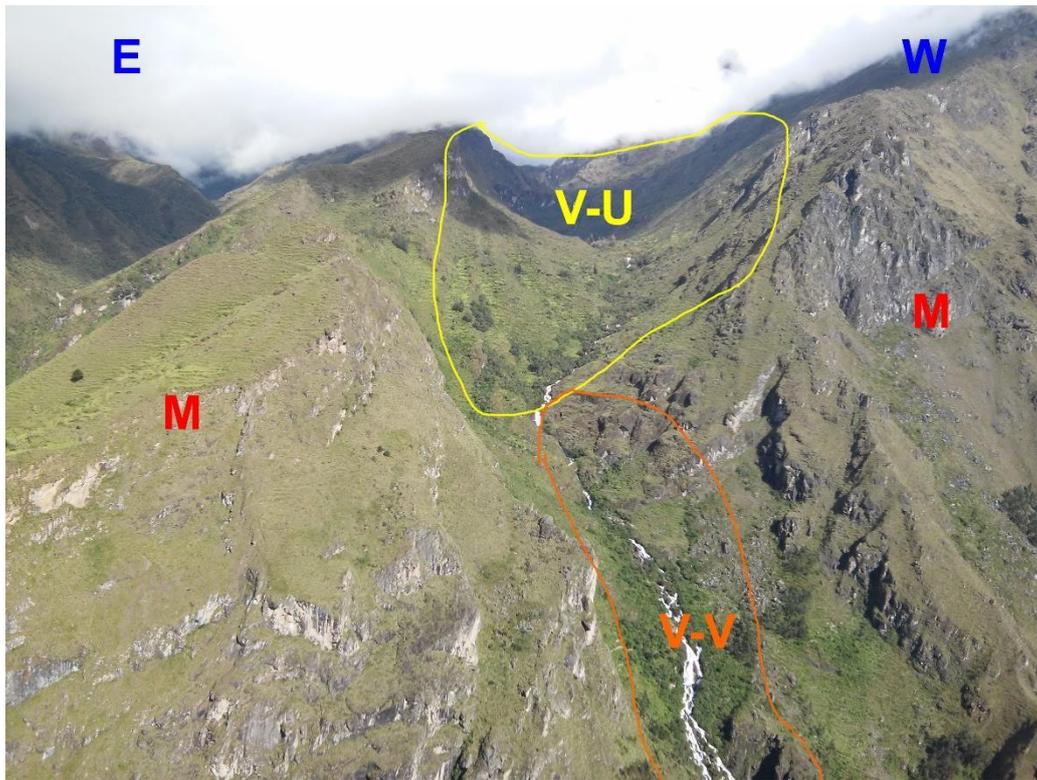
Esta unidad se puede apreciar en la zona de trabajo en la quebrada de Llucupampa, Ucuntaya, entre otras.

**Figura N° 14** Nevado Allín Ccapac.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Figura N° 15** Valle en “U”, ” V”



**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.1.1.2.3 Sistema fluvial**

##### **a) Llanura aluvial**

Una llanura aluvial, llanura de inundación, o valle de inundación, es la parte orográfica que contiene un cauce y que puede ser inundada ante una eventual crecida de las aguas de éste.

La zona de estudio presenta en diferentes zonas, llanuras aluviales, formando conos de deyección.

##### **b) Cauces fluviales**

Un cauce fluvial es una corriente natural de agua que fluye con continuidad.

Los ríos desarrollan varias etapas de erosión conformando los procesos y agentes geomorfológicos externos los que han actuado sobre las rocas

deformadas de la Formación Sandia, Ananea, Grupo Mitu y del complejo de San Gabán, formando valles profundos en forma “V”.

**Figura N° 16** Cauces fluviales ocasionados por el río Macusani



**Fuente:** Elaboración propia.

### c) Valles tipo “V”

Casi en su totalidad dentro de la zona de estudio los valles son de tipo V, valles estrechos y con pendientes superiores a 70%, con masas clásticas aluviónicas de bloques y cantos angulosas.

### d) Bofedales

Bofedal es un humedal de altura y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de vegetales hidrofíticos. Los bofedales se forman en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales,

deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

Caracterizada por los afloramientos de agua subterránea durante todo el año y en ellas habitan plantas acuáticas (vegetales hidrofíticos). Estas se encuentran sobre las zonas de Chahuana (parte sur del área de estudio), Ucumtaya (lado Oeste de la zona de estudio).

#### **e) Terrazas fluviales**

Estas se originaron por los diferentes periodos de mayor y menor actividad erosiva del río Ollachea que hizo y sigue realizando la erosión vertical y relleno la quebrada con sedimentos (guijarros, cantos rodados, arenas, limos y arcillas) y formó pequeñas plataformas sedimentarias escalonadas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce en los lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor.

#### **4.1.1.2.4 Sistema antrópico**

La geodinámica externa e interna en la zona dio el modelado de la superficie terrestre quedando diferentes unidades geomorfológicas las cuales están constituidas por las construcciones y/o modificaciones efectuadas en la superficie o subterráneo tales como:

#### **a) Viviendas**

Indudablemente las construcciones de viviendas contribuyen en la modificación del relieve terrestre. La mayor concentración de viviendas está ubicada en la zona urbana de la localidad Ollachea y dentro del área de trabajo de la Asociación Comunidad Minera Ollachea (campamentos de calamina y casas con muros de roca), dentro del área de estudio se pudo observar pocas viviendas muy aparte de los mencionados.

**Figura N° 17** Viviendas

**Fuente:** *Elaboración propia.*

## b) Minería

Desde la época de los Incas la minería en la localidad de Ollachea existía, generando impactos en el cambio de relieve, hoy en la actualidad los mineros artesanales de la Asociación Comunidad Minera de Ollachea operan en este yacimiento, los desmontes, campamentos, caminos, equipos de beneficio (kimbaletes), entre otras, forman parte del cambio de relieve.

**Figura N° 18** Actividad antrópica A: muestra un kimbalete, B: laboreos de la Comunidad Minera de Ollachea



**c) Vías de acceso**

La presencia de carreteras de tipo asfaltada (carretera interoceánica Perú-Brasil), afirmadas y caminos de herradura, forman importantes geomorfologías, principalmente a causa de la apertura carretera interoceánica.

(Ver Mapa N°: 04 (Mapa Geomorfológico))

TABLA N° 3 SISTEMAS Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS			
SISTEMA	UNIDAD	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
<b>MONTAÑOSO</b>	Montañas	M	Más de 300 m de desnivel respecto a su nivel de base local
	Colinas	C	Desnivel inferior a 300 m
	Lomadas	L	Similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8% y 16%.
<b>GLACIAR</b>	Valles en “U”	V-U	Desarrollada durante la última glaciación
<b>FLUVIAL</b>	Llanura aluvial	Ll-al	Zona de deposición de material transportado por ríos
	Cauces fluviales	C-f	Corriente natural de agua que fluye con continuidad
	Valles en “V”	V-V	valles estrechos y con pendientes fuertes
	Bofedales	Bof	Zona de vegetación, generalmente húmeda y saturada
	Terrazas fluviales	T-f	Plataformas sedimentarias escalonadas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río

<b>ANTRÓPICO</b>	Viviendas	Vi	Construidas por los habitantes de la zona
	Minería	Mi	Movimiento del sub suelo
	Vías de acceso	V-ac	Construcciones con fines de transporte

*Fuente y elaboración propia*

#### **4.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL**

La litoestratigrafía es la ciencia que estudia la secuencia o sucesión de los estratos o pseudoestratos que se han formado a través del tiempo geológico.

##### **4.1.2.1 Paleozoico**

###### **4.1.2.1.1 Formación Sandia (Os-sa)**

Los afloramientos de esta unidad pertenecen a la Era Paleozoica y en el Sistema Ordovícico Superior; se presentan extensos afloramientos que conforman una franja potente con dirección N-S y un pequeño afloramiento con dirección SW-NE; con dirección respecto a la falla Ollachea.

Al norte de la zona de estudio la Formación Sandia suprayace a la Formación Ananea la misma que tiene emplazada por intermedio de una falla inversa de alto ángulo (falla Ollachea).

La constitución de esta Formación es por metareniscas cuarzosas de coloraciones gris oscuras bien definidas, orientación principal 320° /34°NE, presencia de horizontes de siltitas con textura esquistosa pizarrosa, la formación presenta diseminación de pirita mayor al 0.5 por ciento, en un menor y esporádico porcentaje de pirrotita, la presencia de pirrotita es con respecto a la distancia al contacto con las pizarras de la Formación Ananea; generalmente la característica de estas areniscas gris oscuras son el acompañamiento de mineral de metamorfismo de contacto como Andalucitas y Cordieritas.

Al Noreste del área de estudio se distingue el claro metamorfismo de contacto provocado por el Granito de San Gabán, la característica de este metamorfismo cuyo grado de cristalización que sufre las areniscas de esta formación, incremento de dureza del macizo, pérdida de Azimut y Buzamiento, los minerales formados en este metamorfismo son básicamente Cordieritas, Granates y Sillimanita que es muy inusual.

#### **4.1.2.1.2 Formación Ananea (SD-a)**

Esta unidad pertenece a la era Paleozoica, sistema Silúrico-Devoniano, superior e inferior respectivamente. Aflora en Ollachea en una franja E-O que se prolonga hacia el cuadrángulo de Corani; se presenta plegada y afectada por esquistosidad de fractura.

Sus características sedimentarias corresponden a pizarras y filitas de laminación milimétrica, débilmente esquistosa, bituminosa y con diseminación moderada fuerte de pirrotita en formas lenticulares, laminares y granulares con pequeños horizontes de diseminación de pirita, según el grado de metamorfismo y granulometría.

La Formación Ananea localmente está compuesta por una monótona sucesión de pizarras negras bituminosas, en las que se observa una laminación paralela milimétrica; Algunos paquetes de pizarras muestran color café oscuro y otros beige; esta formación está fuertemente afectada por metamorfismo regional, contiene micas de sericita y también cloritas.

Al Norte de la zona de estudio es distinguible un metamorfismo de contacto entre las pizarras de la Formación Ananea y el Granito del complejo San Gabán, los minerales distinguibles son Andalucitas y Cordieritas, cambiando las

características físicas de la pizarra, como: incremento de dureza, textura granular, fractura cóncava y cristales de Andalucita como de Cordierita.

#### **4.1.2.1.3 Grupo Mitu (Ps-mi)**

Esta unidad pertenece a la era Paleozoica del sistema Pérmico superior, ubicados al Sur de la zona de estudio, la base está compuesta de conglomerados polimícticos, de clastos subangulosos, cuarcitas y pizarras. La parte superior del Mitu está compuesta por una sucesión gruesa de derrames lávicos; las coladas varían entre 10-20 m., litología compuesta principalmente por lavas andesíticas, porfíricas, con desarrollo de gruesos cristales de plagioclasa, piroxenos cloritizados y enriquecidos con óxidos de fierro, matriz de vidrio volcánico recrystalizado; también intercalan lavas afaníticas de color oscuro. Al Sur del área en estudio, las volcanitas del Grupo Mitu están intruídas por la sienita nefelínica de Macusani la cual ha sido datada en 180 Ma (Stewart et al., 1974). Este volcanismo es por lo tanto pre-jurásico.

#### **4.1.2.2 Cuaternario**

##### **4.1.2.2.1 Cuaternario Coluvial (Q-co)**

Estos depósitos coluviales se encuentran mayormente en los fondos de las laderas, constituida por clastos angulosos mal clasificados acumulados por erosión mecánica. Estos materiales acumulados son propios de los afloramientos de la zona: Sienita nefelítica, granitos, pizarras negras y cuarcitas de la Formación Sandia. La matriz la conforman limos, arcillas combinadas con materiales orgánicos.

Las características de este depósito son: muy porosos, compresibles, con alta permeabilidad y en superficie está cubierta por una tierra negra compuesta de humus y material orgánico, haciendo posible el buen desarrollo de la vegetación.

#### **4.1.2.3 Rocas intrusivas**

##### **4.1.2.3.1 Complejo de San Gabán (PT-mzg/gr)**

Aflora al Norte y Noroeste del área de estudio, afectado por diques graníticos con dirección promedio N60°E; de facies diorítica de color gris oscuro y granos grueso con tramos de micro diorita; fuertemente metamorfizados, intruye al Sandia desarrollando una amplia zona de metamorfismo de contacto. Se muestra con claridad a lo largo del río Ollachea.

##### **4.1.2.3.2 Sienita nefelinica (Jm-si)**

Es una roca intrusiva, de Era Mesozoica, sistema Jurásico inferior – medio, constituida esencialmente por: Nefelina, albita, ortosa y biotita, como consecuencia de su emplazamiento han cortado la pizarra de la Formación Ananea, desarrollando aureolas de metamorfismo de contacto con presencia de cristales de andalucita y biotita.

Presenta textura porfírica, de color gris claro, holocristalino.

#### **4.1.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

##### **4.1.4.1 Tectónica**

Durante el Paleozoico se dio grandes ciclos orogénicos con dos fases orogénicas, denominado: Eo-Herciniano y Tardi-Herciniano. El primero de ellos se habría producido en el Paleozoico inferior y el segundo durante el Paleozoico superior.

La ausencia de rocas cámbricas en nuestro territorio ha hecho pensar a estudiosos, que el arco de islas pre-cámbricas, a pesar de que estuvo sometido a procesos intensos de denudación, se mantuvo por encima del nivel del mar (ambiente continental), mientras que, en otras zonas como Bolivia y Argentina, que dicho sea el caso no existían todavía, se acumularon potentes sedimentos en un amplio geosinclinal, debajo del mar sudamericano. *Lisson, C. I. (1942)*.

#### **4.1.4.2 Identificación de estructuras**

##### **4.1.4.2.1 Fallas**

Dentro del área de estudio se pudo apreciar las siguientes fallas principales que controlaron el comportamiento estructural. *Ver Mapa 03 (Mapa estructural)*.

##### **A. Falla Ollachea**

Esta falla atraviesa por el Norte el área de estudio en forma transversal, con una dirección Suroeste – Noreste, con  $64^{\circ}/75^{\circ}$ , esta falla es de tipo inversa de alto ángulo.

La falla Ollachea pertenece a una zona de cizalla que a lo largo del plano de falla se diferencia zonas de fracturamiento, brechas de falla y panizo que levemente tiene la apariencia de milonita.

En los efectos de deformación que presentan los contactos de la falla muestran que esta deformación es dúctil y suave, afectando de manera paulatina a la foliación de la pizarra.

##### **B. Falla Paquillusi**

Falla Paquillusi, es una falla inversa de alto ángulo que pone en contacto rocas siluro-devonianas de la formación Ananea al Norte, Noreste con las Permo-

Triásicas del Grupo Mitu. La dirección de esta falla va de NE – SW y con ligera desviación al NW – SE producto del dominio estructural Tantamaco (Vilca E., 2010), esta falla presenta brechamiento o fracturamiento muy fuerte (las rocas cajas se parecen a lutita), diaclasamiento, zonas levemente esquistosas.

### **C. Falla Oscococachi**

Tiene una dirección sub paralela a las fallas Ollachea y Paquillusi, se extiende a lo largo de la quebrada Oscococachi, existen zonas de cizalla y fallamiento fuerte (panizo) desde escasos centímetros a mayores de un metro.

Esta falla es de tipo inversa, es la delimitante de las fallas Ollachea y Paquillusi.

## **4.2 FUENTES TERMALES**

Las fuentes termales dentro de la zona de estudio son muy numerosas, donde las más importantes en cuanto a su caudal son: la fuente termal de Quinsa Mayo, la fuente termal de la Piscina Municipal y la fuente termal de Ccollpapampa. Ver *lámina L-02 (Mapa hidrológico)*

### **4.2.1 Quinsa mayo (Ccollpani)**

Esta fuente termal se ubica al SE de la localidad de Ollachea, aflorando mirando al Sur al margen derecho del río Calachaca (en la unión del río Tambillo con Quinsa Mayo), aflora de la formación Mitu – andesitas porfíricas.

El afloramiento de estas aguas es a través de una de las fallas simples provocadas por la falla inversa de Paquillusi, de acuerdo a su temperatura y composición química estas aguas tienen un origen meteórico, las cuales percolan a profundidades y ascienden de más de dos kilómetros y medio (gradiente geotérmico,  $33^{\circ}\text{C} = 1 \text{ Km}$ ), siendo la temperatura y caudal promedio  $73.75^{\circ}\text{C}$  y 19.5 l/min respectivamente.

#### 4.2.2 Piscina Municipal

La fuente termal de la Piscina Municipal de Ollachea está ubicada al Sur de la localidad de Ollachea, a pie del cerro Jahuico; actualmente estas aguas son utilizadas fines recreacionales por los ciudadanos de esta localidad y los turistas nacionales.

La génesis de estas aguas según su composición química y temperatura, sería de origen meteórico donde la roca Arenisca Cuarzosa de la Formación Sandía, a través de su estructura se comporta como roca permeable transportando aguas meteóricas. Las fallas simples en dirección N-S son las que conducen estas aguas hasta la superficie, los cuales la continuidad de estas sería de profundidades que superan a los dos kilómetros, ya que la temperatura y caudal promedio es 83.5 y 6.625 l/min respectivamente.

#### 4.2.3 Ccollpapampa

Ubicada a 800 metros al SW de la localidad de Ollachea, al margen izquierdo de la carretera Interoceánica (mirando al NE), las aguas afloran de la roca pizarra (Formación Ananea), la surgencia es a través de una falla inversa y muy cercano a este punto pasa la falla Paquillusi en la misma dirección a la falla ya indicada, su temperatura es muy elevada llegando hasta 105 °C, esto nos hace entender que estas aguas emergen desde una profundidad de más de 3 Km, lo cual de su génesis de estas aguas se puede afirmar que existe la posibilidad de que como consecuencia de la cristalización de los magmas se liberen constituyentes volátiles que pueden escaparse en forma de fumarolas, ya que los plutones que se encuentran muy próximas (Sienita Nefelinica), *Ver Mapa N°: 06 (Mapa Geológico)*.

Estas aguas afloran en forma de geiser liberando gran cantidad de agua en estado gaseoso, tienen una temperatura y caudal promedio de 93.64 °C y 6.25 l/min respectivamente.

### 4.3 MUESTREO DE AGUA

#### 4.3.1 UBICACIÓN DE MUESTRAS

La tabla 12 y 13 se indica la ubicación de los puntos de muestreo de las aguas termales, del cuerpo receptor respectivamente y la tabla 14 los puntos de análisis IN SITU (Ver Mapa N°: 05 (Mapa de ubicación de Muestras)).

TABLA N° 4 PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS TERMALES					
FECHA	ESTACIÓN DE MUESTREO	UBICACIÓN			DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORTE	COTA	
Febrero 2015	W-03	340613	8473570	2880	Fuente Termal Ccollpapampa
Julio 2016	MAO-1	342037	8472363	3282	Fuente Termal Quinsa mayo
	MAO-2	340998	8473911	2682	Fuente Piscina Municipal de Ollachea
	MAO-3	340613	8473570	2880	Fuente Termal Ccollpapampa

Elaboración propia

TABLA N° 5 PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR					
FECHA	ESTACIÓN DE MUESTREO	UBICACIÓN			DESCRIPCIÓN
		ESTE	NORTE	COTA	
Febrero 2015	W-01	340646	8473800	2600	Aguas abajo Río Ollachea
	W-02	340552	8473616	2864	Aguas arriba Río Ollachea
Julio 2016	MAO-4	340164	8473247	2692	A 50 m aguas arriba del puente San Francisco
	MAO-5	339918	8474323	2894	Puente de Huayrusiña (Río Oscococachi)

TABLA N° 6 PUNTOS DE ANALISIS IN SITU				
ESTACIÓN DE MONITOREO	UBICACIÓN			DESCRIPCIÓN
	ESTE	NORTE	COTA	
PC-1	340016	8473166	2758	Río Corani a 10 m del encuentro con Macusani
PC-2	340058	8473129	2703	Río Macusani a 20 con el encuentro río Corani

PC-3	342025	8472382	3278	Aguas abajo a 8 m de fuente termal Quinsa mayo
PC-4	342046	8472361	3287	Aguas arriba a 4 m de fuente termal Quinsa mayo
PC-5	340895	8473966	2670	A 150 m aguas arriba del puente piscina
PC-6	341267	8474334	2664	Aguas abajo catarata (río Ollachea)
PC-7	341110	8474061	2642	Aguas abajo Calachaca antes de confluencia con río Ollachea
PC-8	341263	8474199	2695	Catarata
PC-9	340501	8475759	2556	Aguas abajo río Ollachea (Tiraccati)
PC-10	340793	8474670	2718	Aguas abajo del pueblo Ollachea (Chillichaca)
Elaboración propia en base a la información de campo				

#### 4.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES TERMALES

##### 4.4.1 TEMPERATURA Y CAUDAL

Estos parámetros físicos son de mucha importancia dentro de esta investigación, lo cual durante la elaboración de la investigación se estuvo monitoreando en diferentes fechas dando como resultado como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA N° 7 TEMPERATURA Y CAUDAL										
FUENTE TERMAL	24/01/2016		25/09/2016		10/12/2016		19/08/2017		Promedio	
	°C	l/min	°C	l/min	°C	l/min	°C	l/min	°C	l/min
QUINSA MAYO	76	21	75	19	73	20	71	18	73.75	19.5
PISCINA MUNICIPAL	81	7	85	6.5	82	7	86	6	83.5	6.625
CCOLLAPAMPA	97.56	8	95	6	89	6	93	5	93.64	6.25

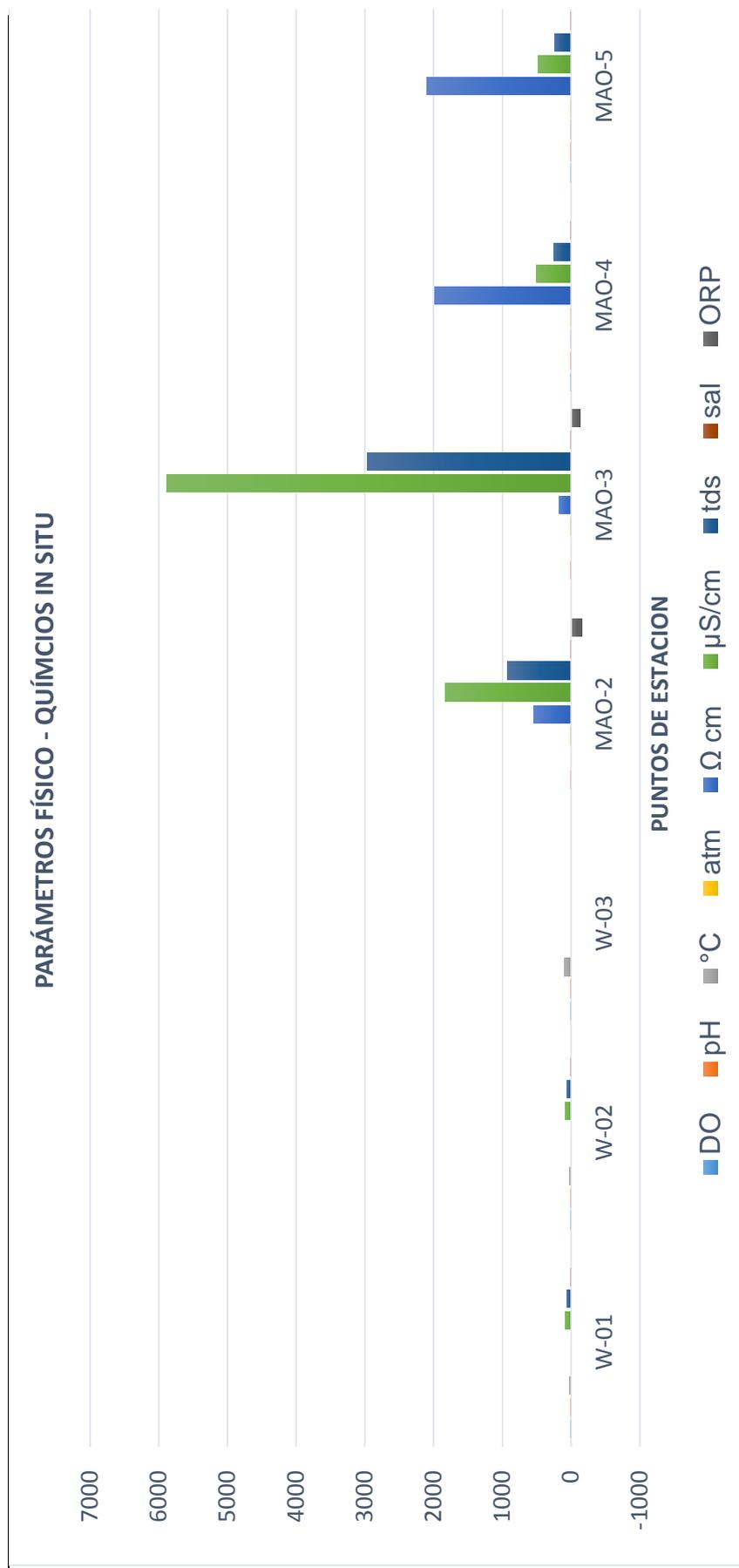
Fuente y elaboración propia

De la tabla, las fuentes termales en estudio se encuentran dentro de la clasificación propuesta de Castany, como Hipertermal (50°-100°C), lo que indica que no altera para mal su parámetro físico de estas fuentes.

##### 4.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

En el siguiente cuadro se muestra las características físico – químicas de los puntos monitoreados IN SITU, para ello se utilizó un multiparámetro modelo HANNA HI 9828 v2.1, siendo monitoreado Julio del 2016.

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE PRUEBAS IN SITU DE CALIDAD DE AGUAS													
PUNTOS DE MONITOREO	FECHA	HORA	PARAMETROS										
			DO ppm	pH	°C	atm	Ωcm	µS/cm	tds ppm	sal	ORP		
<b>ECA CATEGORIA 1</b>			>=5	6-9 (2.5)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
W-01	28/02/2015	11:00 a.m.	5.62	7.68	16				81.4		55	3.1	
W-02	28/02/2015	10:30 a.m.	5.7	7.69	16.5				81.2		55	3.1	
W-03	28/02/2015	10:00 a.m.	5.45	8.56	94								
MAO-2	16/07/2016	03:30 p.m.		9.07		0.7313	545	1836			919	0.92	-155.6
MAO-3	16/07/2016	02:40 p.m.		8.4		0.7287	180	5890			2961	3.17	-129.8
MAO-4	16/07/2016	02:00 p.m.	5.49	8.7	11.07	0.7275	1987	504			252	0.25	-2.9
MAO-5	16/07/2016	08:15 a.m.	4.78	6.87	8.34	0.7128	2100	476			238	0.23	13.7
DO ppm	oxígeno disuelto		µS/cm	conductividad eléctrica									
pH	potencial de hidrogeniones		°C	temperatura									
tds ppm	solidos totales disueltos		atm	presión									
sal	salinidad		ORP	capacidad de reducción del oxígeno									
Ωcm	resistencia eléctrica		**	Se entenderá que para esta sub categoría, el parámetro no es relevante, salvo									
casos específicos que la autoridad competente determine.													
Elaboración propia en base a los resultados IN SITU													
RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS SEGÚN LABORATORIO													
Parámetros Físico - Químicos	Unidades	CORLAP - AREQUIPA			UNA - PUNO			CATEGORIA 1 (B1)		Catg. 3 vegetales	Catg. 3 Bebida Animales		
		W-01	W-02	W-03	MAO-1	MAO-2	MAO-3						
Aspecto				Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido					
Color				Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	incoloro					
Olor				Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro					
Sabor				Insípido	Insípido	Insípido	Insípido	insípido					
pH		7.68	7.69	8.56	6.80	12.80	6.90	6-9 (2.5)		6.5-8.5	6.5-8.5		
Bicarbonatos	mg HCO <sub>3</sub> /L	36.3	36.1							370			



**Figura N° 19** Parámetros físico - químicos de pruebas in situ de calidad de aguas.

De la figura, la conductividad eléctrica se encuentra en mayor concentración en la fuente termal MAO-3 (Ccollpapampa), debido a que los sólidos totales disueltos también están presentes en concentraciones considerables.

<b>Dureza total</b>	mg	224.2	34.2	258.4
	CaCO <sub>3</sub> /L			
<b>Alcalinidad</b>	mg	365.02	298.66	813.01
	CaCO <sub>3</sub> /L			
<b>Cloruros</b>	mg Cl/L	1.05	1.057	764.40
			110.64	173.05

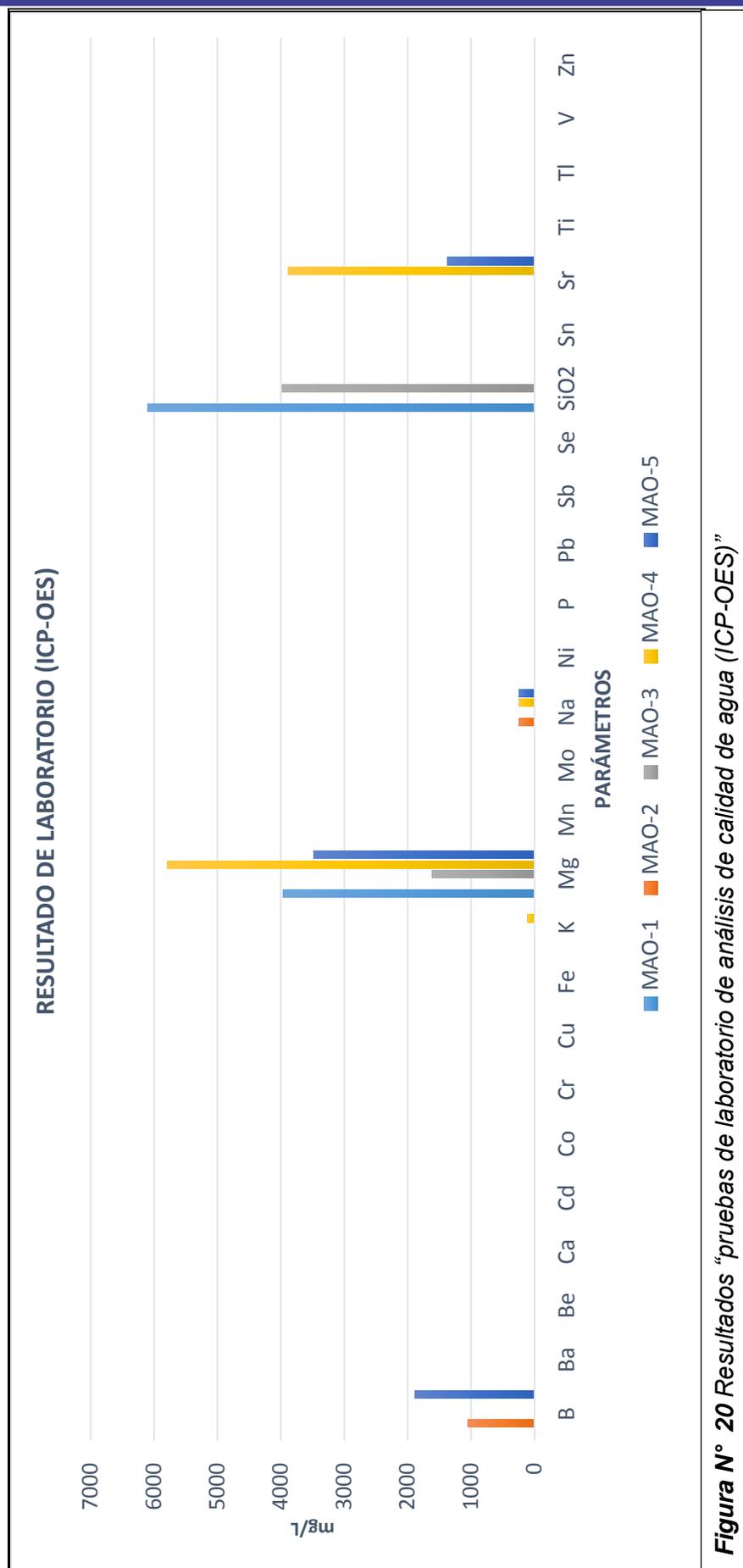


Be	mg/L	<0.00004	<0.00004	<0.00004	10.06	0,000480	0,000230	0,000140	0,004370	0,002280	0.04		0.1
Ca	mg/L	8.55	8.44	10.06	17,8	0,000480	0,758	6,07	30,7	70,2		200	
Cd	mg/L	<0.00003	<0.00003	<0.00003	a<0,00011	a<0,00011	a<0,00011	0,00045	a<0,00011	0,00014	0.01	0.005	0.01
Co	mg/L	<0.00004	<0.00065	<0.00004	a<0,000094	a<0,000094	a<0,000094	0,010310	a<0,000094	a<0,000094		0.05	1
Cr	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	a<0,000039	a<0,000039	a<0,000039	a<0,000039	a<0,000039	a<0,000039	0.05		
Cu	mg/L	0.0019	0.0028	<0.0003	a<0,0002	a<0,0002	a<0,0002	a<0,0002	a<0,0002	a<0,0002	2	0.2	0.5
Fe	mg/L	0.931	0.914	0.166	0,141	0,141	a<0,016	1,75	0,044	0,144	0.3	1	1
K	mg/L	1.255	1.228	77.71	2,37	2,37	8,77	0,854	111	25,5			
Li	mg/L	0.106	0.09	2.632	0,33760	0,33760	0,47410	0,02590	19,480	25,810		2.5	2.5
Mg	mg/L	2.255	2.228	5.898	3,967	3,967	0,0113	1,617	5,791	3,486		150	150
Mn	mg/L	0.0424	0.0428	0.009	0,01215	0,01215	0,00108	0,18808	0,00174	0,59165	0.1	0.2	0.2
Mo	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,00671	0,00671	0,10997	0,00151	0,00394	0,01432			
Na	mg/L	4.55	4.28	1192.00	15,4	15,4	>250	2,64	>250	>250		200	
Ni	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	a<0,00051	a<0,00051	a<0,00051	0,03432	a<0,00051	a<0,00051	0.02	0.2	0.2
P	mg/L	0.087	0.093	0.033	0,0348	0,0348	0,0091	a<0,0054	a<0,0054	a<0,0054			
Pb	mg/L	0.0076	0.0075	<0.0001	a<0,0026	a<0,0026	0,0104	a<0,0026	0,0051	0,0166	0.01	0.05	0.005
Sb	mg/L	<0.0001	<0.0001	0.1951	0,00204	0,00204	0,00708	a<0,00049	0,21327	a<0,00049	0.006		
Se	mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005	a<0,0002	a<0,0002	0,0061	a<0,0002	a<0,0002	a<0,0002	0.01	0.05	0.05
SiO2	mg/L				6,100	6,100	17,09	3,981	73,17	39,90			
Sn	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0,00165	0,00165	0,00260	<0,00085	0,00358	0,00214			
Sr	mg/L	0.1185	0.1182	0.6002	0,3181	0,3181	0,1527	0,0621	3,885	1,376			
Ti	mg/L	0.028	0.026	<0.001	0,00517	0,00517	a<0,00068	0,00075	0,00217	0,00321			
Tl	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	a<0,0013	a<0,0013	a<0,0013	a<0,0013	a<0,0013	a<0,0013			
V	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	a<0,00014	a<0,00014	a<0,00014	a<0,00014	a<0,00014	a<0,00014	0.1		
Zn	mg/L	0.033	0.033	0.011	0,0159	0,0159	a<0,0031	0,0507	0,0062	a<0,0031	3	2	24

ECA: Categoría 1: poblacional y recreacional Sub categoría B1: contacto primario

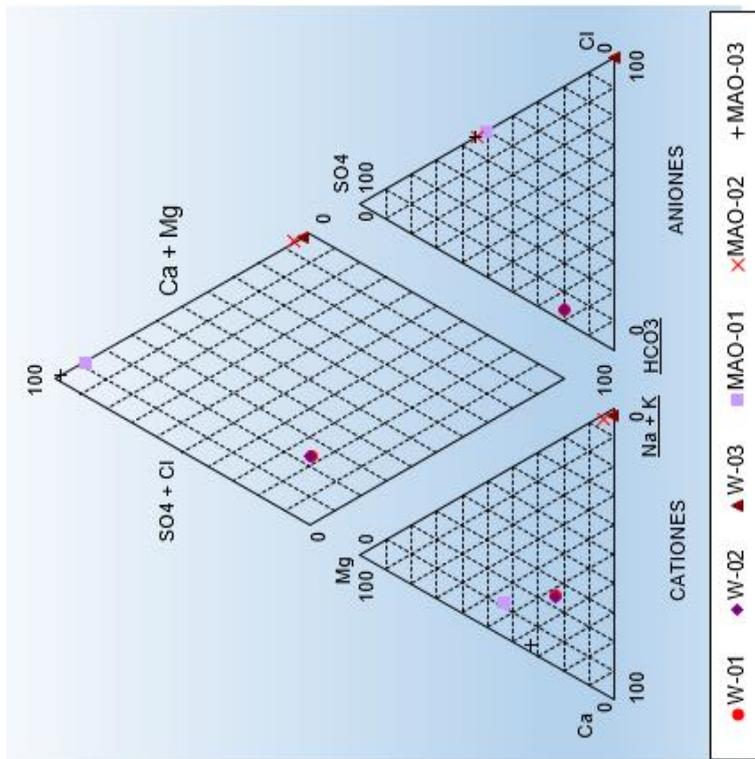
ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y Bebida de animales

Supera los límites permisibles ECA



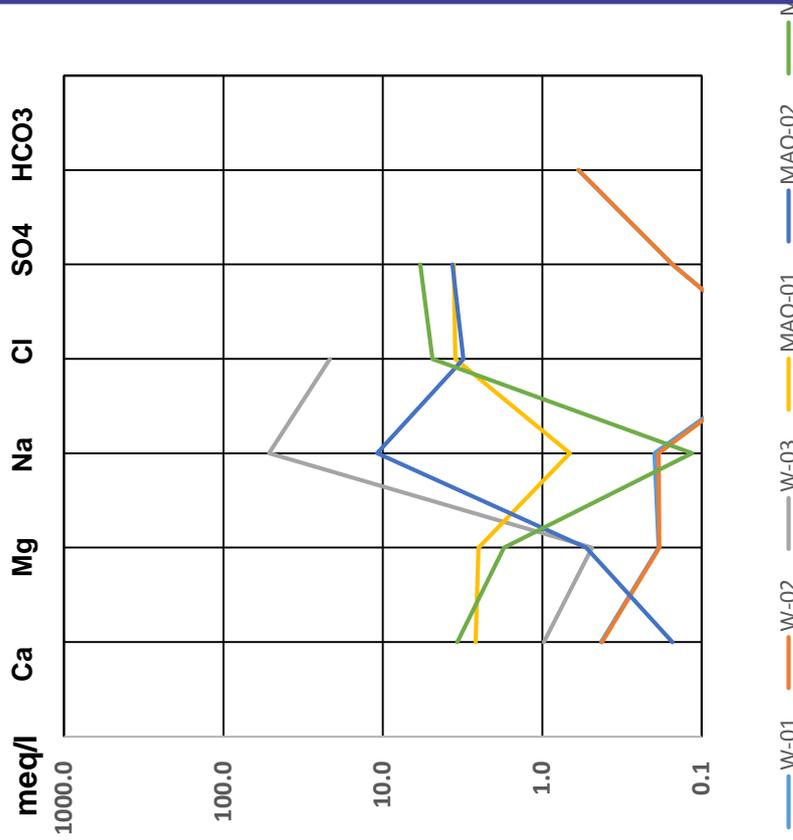
**Figura N° 20** Resultados “pruebas de laboratorio de análisis de calidad de agua (ICP-OES)”

DIAGRAMA DE PIPER



**Figura N° 21** Diagrama de Piper para fuentes termales

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF



**Figura N° 22** Diagrama de Schoeller para fuentes termales

Según el diagrama de Piper (Figura 21), las aguas en estudio se ubican dentro de cuadrantes en el siguiente orden: las fuentes termales MAO-01, MAO-03 son aguas de tipo Clorurada y/o Sulfatada, Cálcica y/o Magnésica y las fuentes termales W-03 (MAO-03), MAO-02 son de tipo Clorurada y/o Sulfatada Sódica (notar que las fuentes pueden variar en su composición físico químico según a la estación que se monitorea), y las fuentes W-01, W-02 (cuerpo receptor) son aguas de tipo Bicarbonatada Cálcica y/o Magnésica.

Siguiendo con el diagrama de Schoeller (Figura 20), muestra que las fuentes W-02 y MAO-03, dentro de su composición química baja concentración de sodio (Na) y calcio (Ca), en cambio las fuentes termales MAO-02 y W-03 en su composición química contienen concentraciones elevadas en sodio (Na), la MAO-03 (W-03) contiene alta concentración química de cloro (Cl), a diferencia de las fuentes W-01, W-02, MAO-01 y MAO-02, por su alto contenido de Cl se estaría hablando de una fuente termal Ccollpapampa provienen de reservorios geotérmicos (Nicholson, 1993), teniendo en conocimiento que el intrusivo de la sienita está muy próximo al Oeste y al Sur de este punto de estación.

Para el procesado de datos físico químico, se utilizó un Excel programado para el diagrama triangular y diagrama de columna.

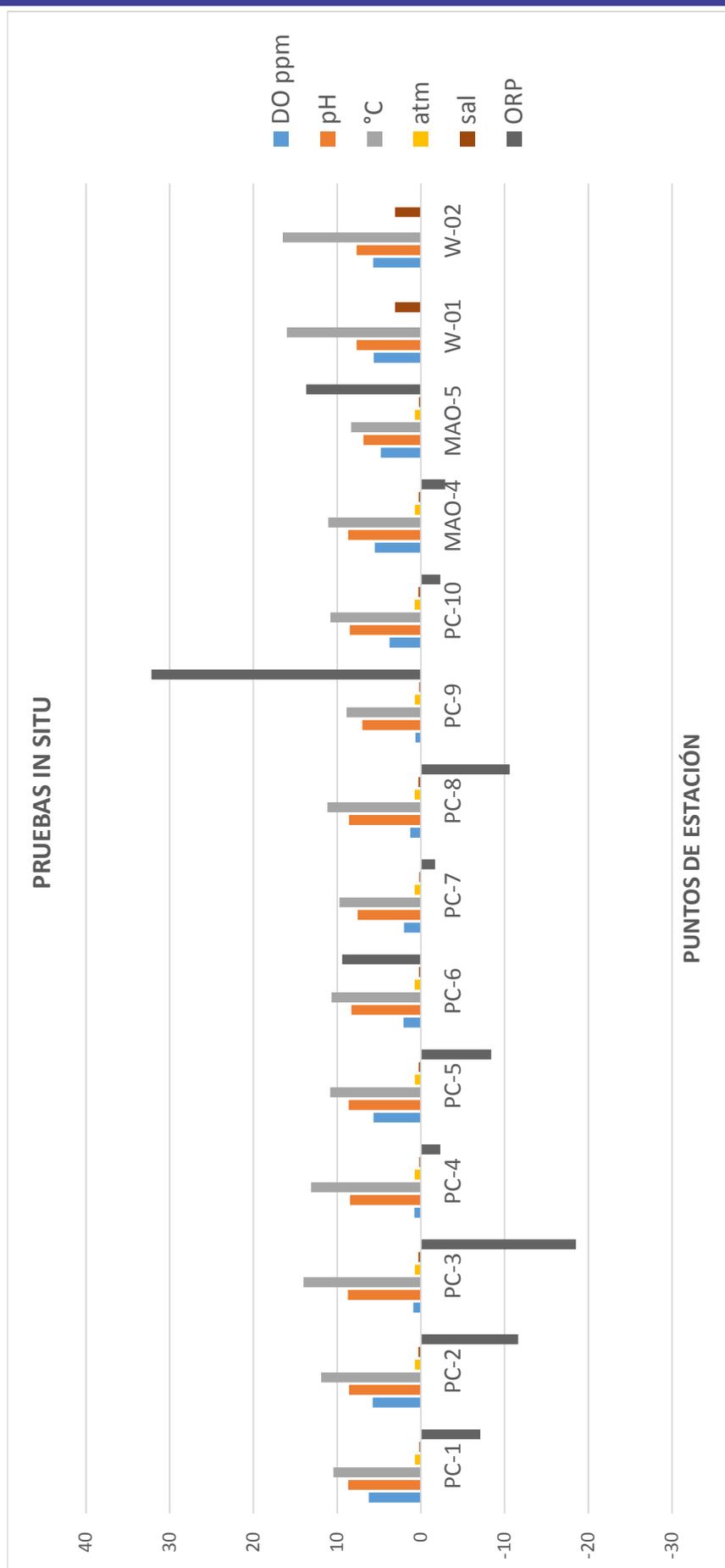
#### **4.5 CALIDAD DEL AGUA DEL CUERPO RECEPTOR (RÍO OLLACHEA)**

##### **4.5.1 PARAMETROS FÍSICO – QUÍMICOS**

**TABLA N° 12**  
**RESULTADOS DE PRUEBAS IN SITU DE CALIDAD DE AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR**

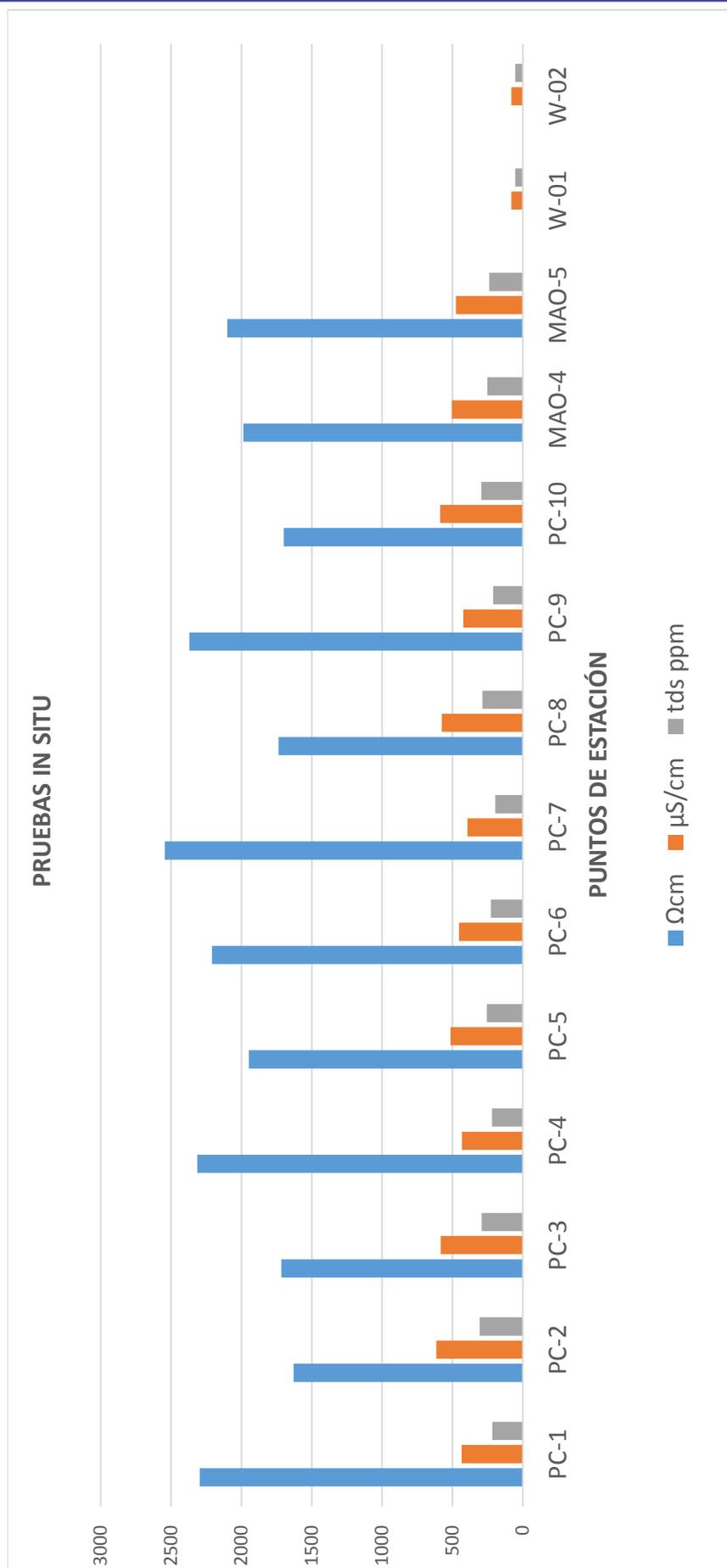
PUNTOS DE ESTACIÓN	FECHA	HORA	PARAMETROS											
			DO ppm	pH	°C	atm	Ωcm	µS/cm	tds ppm	sal	ORP			
<b>ECA CATEGORIA 1</b>			>=5	6-9 (2.5)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
PC-1	16/07/2016	02:00 p.m.	6.22	8.69	10.46	0.7267	2297	435	218	0.21	-7.1			
PC-2	16/07/2016	10:07 a.m.	5.75	8.59	11.9	0.7275	1630	614	307	0.3	-11.6			
PC-3	16/07/2016	11:45 a.m.	0.92	8.73	14.04	0.7333	1717	584	292	0.29	-18.5			
PC-4	16/07/2016	11:50 a.m.	0.79	8.46	13.12	0.7341	2315	433	219	0.21	-2.3			
PC-5	16/07/2016	11:30 a.m.	5.68	8.63	10.84	0.7331	1947	514	257	0.25	-8.4			
PC-6	16/07/2016	10:30 a.m.	2.07	8.3	10.68	0.7343	2210	453	226	0.22	9.4			
PC-7	16/07/2016	10:55 a.m.	2.03	7.54	9.74	0.7367	2545	393	196	0.19	-1.7			
PC-8	16/07/2016	10:05 a.m.	1.27	8.6	11.16	0.7380	1737	576	288	0.28	-10.6			
PC-9	16/07/2016	09:15 a.m.	0.64	7.01	8.87	0.7286	2371	422	211	0.2	32.2			
PC-10	16/07/2016	08:50 a.m.	3.75	8.51	10.81	0.7438	1700	588	294	0.29	-2.3			
MAO-4	16/07/2016	02:00 p.m.	5.49	8.7	11.07	0.7275	1987	504	252	0.25	-2.9			
MAO-5	16/07/2016	08:15 a.m.	4.78	6.87	8.34	0.7128	2100	476	238	0.23	13.7			
W-01	28/02/2015	11:00 a.m.	5.62	7.68	16			81.4	55	3.1				
W-02	28/02/2015	10:30 a.m.	5.7	7.69	16.5			81.2	55	3.1				
DO ppm	oxígeno disuelto		µS/cm	conductividad eléctrica										
pH	potencial de hidrogeniones		°C	temperatura										
tds ppm	solidos totales disueltos		atm	presión										
sal	salinidad		ORP	capacidad de reducción del oxígeno										
Ωcm	resistencia eléctrica		**	Se entenderá que para esta sub categoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la autoridad competente determine.										
Elaboración propia en base al informe del laboratorio														

**Figura N° 23** Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas del cuerpo receptor.



En la figura el pH se encuentra dentro de los estándares, el DO (oxígeno disuelto) se encuentra en su mayoría por debajo de lo establecido por los ECA's, en la temperatura notar que hay un ligero diferencia entre el punto de control PC-3 y PC-4 ya que este primero es aguas abajo de la fuente termal MAO-1, que este altera ligeramente al río Calachaca.

**Figura N° 24** Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas del cuerpo receptor.



De la figura, los sólidos totales disueltos en el cuerpo receptor son elevados y por ello la resistencia eléctrica y la conductividad eléctrica se encuentran en elevadas.

## CONCLUSIONES

- Dentro del área de estudio se identificaron cinco unidades lito estratigráficas las cuales son controladas por fallas regionales y locales, las más persistentes la falla Ollachea y Paquillusí (falla inversa de alto ángulo), estructuras direccionadas al NE-SW y NW-SE respectivamente,
  - Se estudió tres fuentes termales, la fuente termal Quinsa mayo (MAO-01), Piscina Municipal (MAO-02) y Ccollpapampa (MAO-03) de estos la calidad de las aguas termales se caracterizó en base a análisis in situ y en laboratorio (parámetros físico-químicos y ICP-OES), el parámetro arsénico (As), registra según el resultado del laboratorio 0,0162, 0,0271 y 1,888 en los puntos muestreados MAO-1, MAO-2 y MAO-4 respectivamente, para el antimonio (Sb): 0,00708 y 0,21327 en los puntos MAO-2 y MAO-4 respectivamente, los valores registrados superan los límites establecido por el ECA para agua, Categoría 1: poblacional y recreacional Sub categoría B1: contacto primario (As: 0,01 mg/l y Sb: 0,006 mg/l). Por lo tanto, debe ser usada estas aguas para recreación no muy frecuentes.
- Entre fuentes termales y cuerpo receptor según el análisis por ICP-OES se determina que en W-01 los elementos Al y Fe, en W-02 los elementos Al, Fe y Pb, en W-03 los elementos As, B, Li, Na y Sb, en MAO-1 que los elementos Al y As, en MAO-2 los elementos Al, As, B, Pb y Sb, en MAO-3 los elementos Al, Fe, Mn y Ni, en MAO-4 los elementos As, B y Sb, y en MAO-5 los elementos B, Mn y B registran valores superiores a los estándares de calidad ambiental para agua (ECA).
- Del estudio hidroquímico se puede concluir que según el diagrama de Schoeller las fuentes W-01 y W-02 (cuerpo receptor), sus propiedades

químicas son muy similares a diferencia del Ca, río abajo la concentración del Ca es suavemente superior al punto muestreado río arriba, la explicación es porque las fuentes W-03 y MAO-02 contienen elevadas cantidades de calcio. Según el diagrama de Piper, las fuentes termales MAO-01, MAO-03 son aguas de tipo Clorurada y/o Sulfatada, Cálcica y/o Magnésica y las fuentes termales W-03 (MAO-03), MAO-02 son de tipo Clorurada y/o Sulfatada Sódica y las fuentes W-01, W-02 (Cuerpo receptor) son aguas de tipo Bicarbonatada Cálcica y/o Magnésica.

- Las condiciones geológicas del área de estudio indudablemente juegan un papel importante para el afloramiento de las fuentes termales y sobre todo en el contenido mineralógico que estas aguas tienen, ya que la roca de la formación Ananea en esta zona se encuentra mineralizada, con bastante presencia de sulfuros portadores de metales pesados.
- La descarga de las fuentes termales Quinsa mayo, Piscina municipal y Ccollpapampa, sobre el río Ollachea, no altera las características del cuerpo receptor (Río Ollachea) ya que el caudal del río Ollachea es muy superior al caudal de las fuentes termales.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar estudios hidroquímicos más amplios y frecuentes para confirmar los contenidos de estos elementos, ya que sus características fisicoquímicas y químicos varían según la estación a la que se encuentra, aunque sus consecuencias no sean inmediatas, a largo plazo son elementos dañinos para la salud, sobre todo en el caso de ser ingeridos.
- Realizar estudios Geofísicos, con el fin de determinar la génesis de estas fuentes termales.
- Analizar y estudiar la hidrogeología para determinar zonas de alta permeabilidad con el objeto de identificar y describir zonas de recarga en las fuentes termales de estudios.
- Se recomienda realizar un estudio de análisis microbiológico de las fuentes termales de Ollachea.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Armijo, V. (1968). Compendio de Hidrología Médica. Editorial Médica, Barcelona-España.
- Apaza C., R. F. y Calcina B., M. E. (2014). *“contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno”*
- Barrionuevo, I. Y. (2004). La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos. (Tesis Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- Buil, B. Garcia, S. Lago, M. y Arranz, E. (2001). Geoquímica de sistemas geotermales en macizos graníticos. Libro de Actas del 2º simposio ibérico sobre geología, termalismo y sociedad. Salardú (Val D´Aran).
- Carlos, P. (2009). Contaminación por metales pesados, Volumen 12, No 1.
- Casas, J. (2002). Contaminación por metales pesados. Universidad Politécnica de Cataluña. Manresa.
- Castany, G., (1971). "Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas". Ed. Omega, Barcelona.
- Castany, G., (1971). en (Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. (1994). Aguas minerales. Conceptos generales. Ed. Computense, Madrid, 11-16.
- Catalan Lafuente, J. (1979). Química del Agua. Madrid - España
- Chávez, A.; Salas, G.; Gutiérrez, E. y Cuadros, J. (1997). Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, hojas: 28-u y 28-v. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 90, 128 p.

- Constitución Política del Perú, (1993). Lima – Perú.
- Consultora Tecnología XXI (2010), Lima-Perú.
- Cruz V. y Matsuda K.. (2007), “*Caracterización geoquímica de las fuentes termales en el campo geotermal de calientes, Tacna*”
- Davila Burga, J. (2006). Diccionario Geológico. Bilingüe español – inglés Lima. 696 P.
- Decreto Supremo N° 002. (2008). Estándares de calidad ambiental para agua (ECA). Categoría 1. Lima: MINAN.
- Diaz, E. y Isaacson, P.E. (1994). Late Devonian glacially influenced marine sedimentation in western Gondwana: the Cumad Formation, Altiplano, Bolivia.
- Gonzales, F. (1972). Introducción a la Geoquímica. 141 P.
- Heinrich, E. (1970). Petrología Microscópica. Editorial Omega. 2da. Edición. España. 457 P.
- Huamaní, H. A. (2001). Aguas termales y minerales en el Suroriente del Perú. Boletín n° 24, serie D. Lima: INGEMMET
- Huamaní, H. A. y Valenzuela, O. G. (2003). Aguas termales en el oriente central del Perú. Boletín n° 25, serie D. Lima: INGEMMET
- Huang, W. (1991). Petrología. Editorial UTEHA. México. 1ra. Edición en español. 567 P.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (1995). Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 55.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2001). Boletín, Serie D: Estudios Regionales; N° 24.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Intersur Concesiones (2015). Programa de monitoreo ambiental - Primer informe de monitoreo ambiental exploración Km. 232. Ollachea.

Jean Rodier (2011). Análisis del agua. Ed. 9. España.

Kemmer y Mc Callion, (1989) Manual del Agua. Tomo I. Nalco Chemical Company, Mc Graw Hill, México

Laubacher G. (1974). "Le Paleozoique inferieur de la Cordillere Orientale du Sud-Est du Peróu". En: Cah. ORSTOM, Serv. Geol. Vol. VI - N° 1, pp. 29-40.

Laubacher G. (1978). Estudio geológico de la región norte del lago Titicaca.

Laubacher, G. (1970). La tectonica tardi-hercinica en la Cordillera Oriental de los Andes del Sur del Perú. 1er Congreso. Latinoamericano Geológico.

Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Ley N° 29338, Ley general de recursos hídricos

Lisson, C. I. (1942). Edad de los fósiles peruanos y distribución de sus depósitos en la República. 4e éd., Lima, 320p.

Loayza, F. (1975). Panorama Hidrotermal del Perú. Ministerio de Salud, Lima – Perú.

Luque, C., E. (2013). Geología económica del proyecto Ollachea, distrito Ollachea – Carabaya – Puno, (tesis) Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.

Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p.

- Morell Evangelista, I. (1995). Origen del Termalismo Geotermómetros en Algunas peculiaridades hidrogeoquímicas de las Aguas Termales. Memorias de las 3ras Jornadas sobre Termalismo. Grupo Nacional de Termalismo. Santa Clara, Cuba.
- Nicholson, K. (1993). Geothermal fluids, chemistry and exploration techniques. Springer-verlag edition, Germany.
- Peña, F; Sima, Jiri y Baratoux, L. (2006), "*hidrogeología de las fuentes termales de Cajamarca y Churín para el desarrollo de las aguas termales y minerales*"
- Prazak, L. (1949). Crenología Peruana. Ed. Corporación Nacional de Turismo, Lima – Perú.
- Raymondi, A. (1965-1966). El Perú - Aguas Minerales, Editorial Técnicos Asociados, Lima - Perú
- Restrepo M, C. (2004), "*las fuentes hidrotermales y los metales pesados*"
- Rivera, C. Liliana A. Peñuela A. (2013). Definition of groundwater recharge and discharge zones through surface indicators: Centre–South of the Mesa Central, Mexico
- Rojas, D. y Paredes, J. (2008) Compendio de geología general.
- Sánchez, S. R. Diagrama de Piper Hill, diagrama de Stiff, Dpto. Geología Universidad Salamanca (España).
- Sempere. T. (1995). Phanerozoic evolution of Bolivia.
- Steinmüller, K. y Núñez, J. S. (1998). Hidrotermalismo en el Sur del Perú (Sector Cailloma - Puquio). Boletín D 19. Lima: INGEMMET.

- Steinmüller, K. y Zavala, C. B. (1997). Hidrotermalismo en el sur del Perú. Boletín D 18. Lima: INGEMMET.
- Urbani, F. (1991). Fuentes de Aguas Termales de Venezuela, Geotermia, 2: 2-3.
- Vilca, E. A. (2010). Evaluación estructural del proyecto Ollachea, (tesis) Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú.
- Yorio, A. A. Y Muzio, R. N., (2013), “Contaminación de las fuentes de agua y sus efectos en el sistema nervioso y la conducta”
- Yupanqui, T. E. (2006). Análisis Fisicoquímico de Fuentes de Aguas Termominerales del Callejón de Huaylas. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Zapata, R. (1971). Aguas minerales del Perú. Primera parte, ministerio de energía y minas, Lima – Perú.
- Zapata, V. R. (1973). Aguas minerales del Perú. Boletín D 1. Lima: INGEMMET.

**PAGINAS WEB CONSULTADAS**

[http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Hidro\\_MOD5/Tutorial%20AQUACHEM.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Hidro_MOD5/Tutorial%20AQUACHEM.pdf)

<http://www.CambioClimaticoGlobal.com>

<http://www.libroos.es/libros-de-ciencia/geografia/geologia/>

[http://www.mincetur.gob.pe/TURISMO/Producto\\_turistico/FUENTES\\_AGUAS\\_MINERO\\_MEDICINALES\\_Analisis.pdf](http://www.mincetur.gob.pe/TURISMO/Producto_turistico/FUENTES_AGUAS_MINERO_MEDICINALES_Analisis.pdf)

<http://www.monografias.com/trabajos5/espale/espale.shtml#ixzz4gb0xKcxP>

<http://www.senamhi.gob.pe/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Piper\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Piper_diagram)

<https://www.rockware.com/product/overview.php?id=150>

[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf)

[www.balneariosenmadrid.com](http://www.balneariosenmadrid.com)

[www.termas.cl](http://www.termas.cl)

[http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas\\_utm.html](http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html)

# ANEXOS

# MAPAS