

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN GEOENERGÉTICA DE FUENTES  
TERMALES: PASANACCOLLO, ACORA, OLLACHEA,  
CUYO CUYO, LORIPONGO, Y PUENTE BELLO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**EDITH JHOVANA TAPIA HUACOTO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**  
**“CARACTERIZACIÓN GEOENERGÉTICA DE FUENTES**  
**TERMALES: PASANACCOLLO, ACORA, OLLACHEA, CUYO**  
**CUYO, LORIPONGO, Y PUENTE BELLO”**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. EDITH JHOVANA TAPIA HUACOTO

Para optar el Título de:


**INGENIERO GEOLOGO**

APROBADO POR EL JURADO DICTAMINADOR:

PRESIDENTE

  
.....  
M.Sc. Flavio Rosado Lipares

PRIMER JURADO

  
.....  
Ing. Luis V. Ortiz Gallegos

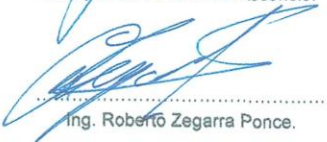
SEGUNDO JURADO

  
.....  
Ing. Julio Escobedo Arizaca.

DIRECTOR DE TESIS

  
.....  
M.Sc. Leonel Palomino Ascencio.

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Ing. Roberto Zegarra Ponce.

Área: Prospección y Evaluación de otras fuentes de energía.  
Tema: Geotermia.

*A mi padre Don Víctor Hugo Tapia  
Velásquez y a mi madre Doña Juana Dina  
Huacoto de Tapia, por darme su amor,  
incentivarme a ser una buena estudiante,  
por su incondicional apoyo y comprensión,*

*A mis hermanos Carlos Hugo Zenón  
y Erick Romario, por estar siempre  
presentes acompañándome y darme el  
aliento para seguir estudiando.*

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a mi asesor Prof. Ing. Roberto Zegarra Ponce, por el conocimiento, apoyo y orientación para la culminación de este trabajo; a mi director M. Sc. Leonel Palomino Ascencio, por sus aportes a la investigación.

De igual manera, deseo expresar mi gratitud a todos los señores catedráticos de la Carrera Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano por sus enseñanzas y formación profesional.

Al Ing. Walter Paredes Pareja, por su conocimiento en el área de producción de energía geotérmica.

A todas las personas, amigos, compañeros; que directa o indirectamente contribuyeron de alguna manera para que este trabajo pudiera ser realizado.

# CONTENIDO

**DEDICATORIA**  
**AGRADECIMIENTO**  
**RESUMEN**

<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.2.    PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO.....	2
1.2.1.    ANTECEDENTES. ....	2
1.2.2.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.2.2.1.    PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN. ....	8
1.3.    JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3.1.    JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA: .....	8
1.3.2.    JUSTIFICACIÓN TEÓRICA. ....	9
1.4.    HIPÓTESIS.....	9
1.5.    OBJETIVOS.....	10
1.6.    METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.6.1.    FASE DE RECOPIACIÓN DE DATOS. ....	10
1.6.2.    FASE DE CAMPO. ....	10
1.6.3.    FASE DE GABINETE .....	11
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>12</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1.    TEMPERATURA .....	12
2.2.    GEOTERMAL.....	12
2.3.    ENTALPIA: .....	13
2.4.    VULCANISMO:.....	13
2.5.    GEOQUÍMICA.....	14
2.5.1.    CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DE FLUIDOS GEOTERMALES .....	14
2.5.1.1.    Fluidos primarios.....	14
2.6.    ESTRATIGRAFÍA.....	17
2.6.1.1.    FORMACIÓN ANANEA (SD-a) .....	17
2.6.1.2.    GRUPO COPACABANA (Pi-c).....	17
2.6.2.1.    FORMACIÓN HUANCANE (Ki-hu):.....	18
2.6.3.1.    FORMACIÓN MAURE (TMa):.....	18

2.6.3.2. CUATERNARIO (Q-n): .....	18
2.7. MINERALOGÍA ASOCIADA A FUENTES TERMALES. ....	19
2.8. RECARGA.....	21
2.9. FUENTES DE ENERGÍA .....	21
2.9.1. NO RENOVABLES .....	21
2.9.1.1 Energía fósil .....	21
2.9.2. RENOVABLES O VERDES .....	22
2.9.2.1. Energía hidráulica .....	22
2.10. TIPOS DE AGUAS TERMALES .....	25
2.11. ACUÍFERO:.....	26
2.11.1. SEGÚN SU TEXTURA. ....	26
2.11.3. SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO.....	27
2.11.3.1. Acuífero subestimado o libre.....	27
2.12. AGUA SUBTERRÁNEA: .....	28
2.13. NIVEL FREÁTICO.....	28
2.14. PERFORACIONES.....	29
2.15. CENTRALES DE CICLO BINARIO .....	30
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>35</b>
<b>CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>35</b>
3.1. ANÁLISIS DE LAS FUENTES TERMALES.....	35
3.2. FUENTES TERMALES.....	36
3.2.1. FUENTE TERMAL PASANACCOLLO.....	36
3.2.2. FUENTE TERMAL DE ACORA. ....	39
3.2.3. FUENTE TERMAL OLLACHEA. ....	42
3.2.4. FUENTE TERMAL CUYO CUYO.....	46
3.2.5. FUENTE TERMAL LORIPONGO. ....	49
3.2.6. FUENTE TERMAL PUENTE BELLO.....	52
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>57</b>
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1. CARACTERÍSTICAS GEOTERMALES.....	57
4.1.1. TEMPERATURA. ....	57
4.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.....	61
4.1.2.1. Clasificación Geoquímica de Fluidos Geotermales. ....	61
4.1.3. RESULTADOS DE LABORATORIO .....	63
4.1.3.2. Resultados de las Características Físico – Químicos: .....	65
a) Agua Termal Pasanacollo. ....	65

b) Agua Termal Loripongo .....	66
4.2. SÍLICE VS ENTALPIA: .....	68
4.2.1. GEOTERMÓMETRO DE SÍLICE: .....	68
4.3. EXPLOTACIÓN DEL RECURSO GEOENERGÉTICO: .....	71
4.3.1. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD:.....	73
4.3.2. PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN:.....	74
<b>CONCLUSIONES: .....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES:.....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA:.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## FIGURAS:

FIGURA 1. MAPA DEL POTENCIAL DE ENERGÍA GEOTÉRMICA. (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS) .....	6
FIGURA 2 ESQUEMA DE PLATAFORMA DE PERFORACIÓN. (SITE GEOTHERME-PERSPECTIVES DE I ADEME ET DU BRGM.).....	29
FIGURA 3 ESQUEMA BÁSICO DE LA TECNOLOGÍA DE CICLO BINARIO. (GEOTHERMAL EDUCATION OFFICE).....	31
FIGURA 4 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE CICLO BINARIO.( GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION). .....	32
FIGURA 5 ESQUEMA DEL CICLO ORGÁNICO RANKINE ( <a href="http://thefraserdomain.typepad.com/energy/geothermal/">HTTP://THEFRASERDOMAIN.TYPEPAD.COM/ENERGY/GEOTHERMAL/</a> ) .....	33
FIGURA 6. VISTA N-W, FUENTE TERMAL DE PASANACCOLLO.....	36
FIGURA 7. FLORA Y FAUNA.....	37
FIGURA 8. AGUAS TERMALES ACORA .....	39
FIGURA 9. VISTA A NE, BOFEDAL Y PASTIZALES. ....	40
FIGURA 10. . A, DESMONTE Y SACOS CON MINERAL DE ESTIBINA; B, ESTIBINA CRISTALIZADA, EMPLAZADA EN CALIZA SILICIFICADA.....	41
FIGURA 11. A, DOMOS VOLCÁNICOS DACITICOS; B, RELAVES MINEROS. ....	41
FIGURA 12, FUENTE TERMAL OLLACHEA.....	42
FIGURA 13. VISTA DE IMAGEN SATELITAL DE OLLACHEA. ....	44
FIGURA 14, GEISER DE OLLACHEA. ....	44
FIGURA 15. FUENTE TERMAL DE CUYO CUYO.....	46
FIGURA 16, QUEBRADA DE CUYO CUYO.....	47
FIGURA 17, FUENTE TERMAL DE LORIPONGO. ....	49
FIGURA 18, FUENTE TERMAL PUENTE BELLO. ....	52
FIGURA 19, VISTA AL S-E, DE PUENTE BELLO. ....	53
FIGURA 20, GEISERITA CON NÓDULOS DE MALAQUITA.....	54
FIGURA 21, PRECIPITACIÓN ENERO 2016.( SENAMHI DIRECCIÓN REGIONAL PUNO). ....	55
FIGURA 22. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DIARIAS PARA ENERO 2016.( SENAMHI DIRECCIÓN REGIONAL PUNO.).....	56
FIGURA 23. TEMPERATURAS RELACIONADAS A LAS COTAS.....	58
FIGURA 24, TOMA DE TEMPERATURA UN SITU. ....	58
FIGURA 25. VARIACIÓN SEGÚN LA CANTIDAD DE ELEMENTOS EXISTENTES EN LOS FLUIDOS TERMALES. ....	64
FIGURA 26, VISTA AL NE, EMANACIÓN DE AGUAS TERMALES.....	65
FIGURA 27, TOMA DE MUESTRA DE AGUA, LORIPONGO.....	66
FIGURA 28, TOMA DE MUESTRA DE AGUA, PUENTE BELLO. ....	67
FIGURA 29. GRAFICO SIO <sub>2</sub> VS ENTALPIA. (CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL SISTEMA GEOTERMAL TERMAS DE PUYEHUE – AGUAS CALIENTES, REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE RICARDO ANDRÉS CELIS ABARZÚA). ....	69
FIGURA 30. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE SÍLICE. ....	71



## CUADROS:

CUADRO 1. COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE PASANACCOLLO .....	36
CUADRO 2, DATOS DE ACCESIBILIDAD PASANACCOLLO. ....	37
CUADRO 3. RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L, FUENTE TERMAL PASANACCOLLO.....	38
CUADRO 4. COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE ACORA. ....	39
CUADRO 5. DATOS DE ACCESIBILIDAD ACORA.....	39
CUADRO 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L, FUENTE TERMAL ACORA.....	41
CUADRO 7. COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE OLLACHEA.....	43
CUADRO 8. DATOS DE ACCESIBILIDAD OLLACHEA-.....	43
CUADRO 9, RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L, FUENTE TERMAL OLLACHEA.....	45
CUADRO 10. COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE CUYO CUYO.....	46
CUADRO 11, RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L, FUENTE TERMAL CUYOCUYO.....	48
CUADRO 12, RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L, FUENTE TERMAL LORIPONGO.....	50
CUADRO 13, COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE PUENTE BELLO.....	52
CUADRO 14, DATOS DE ACCESIBILIDAD PUENTE BELLO.....	52
CUADRO 15, RESULTADOS DE ANÁLISIS POR ICP EXPRESADOS EN MG/L FUENTE TERMAL PUENTE BELLO.....	54
CUADRO 16, CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS GEOTERMALES.....	62
CUADRO 17, RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ICP.....	63
CUADRO 18, RESULTADOS DE LAS ECUACIONES DE ACUERDO AL CONTENIDO DE SÍLICE.....	71
CUADRO 19, CLASIFICACIÓN DE USO DE LAS FUENTES TERMALES.....	73
CUADRO 20, PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN.....	74

## TABLAS:

TABLA 1. AUTORIZACIONES OTORGADAS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL PERÚ. (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS-DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD).....	4
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE RECURSOS TÉRMICOS.....	13
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE YACIMIENTO POR ENTALPIA.....	25
TABLA 5. DATOS DE ACCESIBILIDAD CUYO CUYO- FUENTE PROPIA.....	47
TABLA 6. COORDENADAS DE LA FUENTE TERMAL DE LORIPONGO.....	49
TABLA 7- DATOS DE ACCESIBILIDAD LORIPONGO.....	49
TABLA 8. PARAMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE LA FIQIM-UNA PUNO.....	65
TABLA 9, PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE LA FIQIM UNA PUNO.....	66
TABLA 10, PARAMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE LA FIQIM UNA PUNO.....	67
TABLA 11. PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE LA FIQIM UNA PUNO.....	68
TABLA 12. VARIACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO DE LAS FUENTES TERMALES DE ESTUDIO.....	68
TABLA 13, PRODUCCIÓN Y POTENCIA INSTALADA DE CENTRALES GEOTÉRMICAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.( BERTANI, R. GEOTHERMAL POWER GENERATION IN THE WORLD. 2005–2010 UPDATE REPORT PROCEEDINGS WORLD GEOTHERMAL CONGRESS 2010 (BALI, INDONESIA)).....	73



## RESUMEN

El proyecto de estudio, está ubicado en la Región de Puno, en seis diferentes zonas donde emergen aguas termales. El propósito de este trabajo es contribuir con la investigación de nuevas alternativas de generación energética, siendo amigable y sostenible con el medio ambiente; a partir de la caracterización geoenergética de fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, escogidas por las altas temperaturas que presentaron.

Con la interpretación de los datos tomados in situ y los resultados de laboratorio, y conocimiento general sobre geotermia tal como su temperatura, pH, composición y clasificación; se realizó la interpretación de que yacimiento termal es el más adecuado para la generación de energía geotérmica, y cuáles son los otros usos dados a los demás que no alcanzaron una entalpia media a alta, en caso de que se requiera su aprovechamiento de un yacimiento de baja entalpia se plantea la opción de la generación de electricidad mediante un sistema híbrido como es el caso de las fuentes termales de Pasanacollo, Acora, Loripongo, y Puente Bello

De las seis fuentes termales, la fuente termal de Ollachea y Cuyo Cuyo son más propicias por las altas temperaturas que presentan de 99.26 °C y 63.74 °C respectivamente, la mayor cantidad de sílice disuelta en el agua con 99.19 mg/L y 55.14 mg/L respectivamente, es factible realizar el aprovechamiento de sus recursos geoenergéticos, por alcanzar altas temperaturas a profundidades de 800 metros y que están albergadas en rocas en pizarras y esquistos del Paleozoico. La investigación nos da como resultado que se puede utilizar para generar energía renovable cuidando el medio ambiente.

Se propone una ecuación teórica como un geotermómetro, aplicable a la variación de temperatura a cierta profundidad, en caso de ser una fuente termal y con contenido de sílice mayor a 0.45mg/l, dando el resultado en metros, para saber la longitud de perforación.

Palabras clave: aguas termales, energía renovable, entalpia, geotermia.

## *ABSTRACT*

The study project is located in the Puno Region in six different areas where hot springs emerge. The purpose of this work is to contribute with the investigation of new alternatives of energy generation, being friendly and sustainable with the environment; from the geoenergetic characterization of thermal springs: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, and Puente Bello, chosen for their high temperatures.

With interpretation of data taken in situ and laboratory results, and general knowledge about geothermal energy such as temperature, pH, composition and classification; The interpretation of which thermal deposit is the most suitable for the generation of geothermal energy, and which are the other uses given to the others that did not reach a medium to high enthalpy, in case it is necessary to use a deposit of Low enthalpy presents the option of generating electricity through a hybrid system such as the thermal sources of Pasanacollo, Acora, Loripongo, and Puente Bello

Of the six thermal springs, the thermal source of Ollachea and Cuyo Cuyo are more propitious for the high temperatures that present of 99.26 ° C and 63.74 ° C respectively, the greater amount of silica dissolved in the water with 99.19 mg / L and 55.14 mg / L respectively, it is feasible to realize the use of its geoenergetic resources, to reach high temperatures to depths of 800 meters and that are lodged in rocks in slates and shales of Paleozoico. Research gives us as a result that can be used to generate renewable energy while caring for the environment.

We propose a theoretical equation as a geothermometer, applicable to the temperature variation at a certain depth, in case of being a thermal source and with a silica content greater than 0.45mg / l, giving the result in meters, to know the length of perforation.

Keywords: hot springs, renewable energy, enthalpy, geothermal energy

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1. GENERALIDADES**

El presente estudio tiene como objetivo conocer el tipo de yacimiento geotérmico de cada fuente termal, como su temperatura, pH, clasificación, composición y para poder comparar con yacimientos similares como Italia, Islandia, Estados Unidos, Indonesia, etc. y las diferentes tecnologías que utilizan para su generación de energía eléctrica, con ello poder hacer la caracterización Geoenergética, para la generación de electricidad, utilizando métodos de geotermómetros y análisis geoquímico de laboratorio de cada fuente termal, determinando la entalpia a la que se encuentran, con el fin de generar energías limpias.

El 4 de julio de 1904, se da inicio a la generación de energía eléctrica en Larderello (Italia), años después esta es convertida en una gran central geotérmica de 843 Mw, en la actualidad varios países cuentan con esta forma de generar electricidad.

Con el uso de la generación de energía geotérmica, se encuentra considerada como energías limpias, en las fuentes termales de Ollachea y Cuyo Cuyo se propone el uso del ciclo binario para la producción de energía eléctrica, ya que su producción no provoca la emisión de gases de efecto invernadero ni contribuye al cambio climático y al calentamiento global.

## **1.2. PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO**

### **1.2.1. ANTECEDENTES.**

A partir de la década de 1970, hasta la actualidad, la generación de energía eléctrica fue en aumento con el pasar de los años. Se buscaron nuevas fuentes de energía eléctrica, como la energía solar, energía eólica, entre otros.

En el Perú existe leyes que concesionan y autorizan el aprovechamiento de la energía geotérmica, a continuación se detallan:

- Constitución Política del Perú, Art. 66 “Artículo 66.- Los recursos naturales, renovables y no 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.”
- DS N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas.
- Ley N° 26848 –Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos;
- DS N° 019-2010-EM – Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos.

En el sur peruano existe un buen potencial geoenergético que puede ser aprovechable con la finalidad de obtención de energía eléctrica; se hicieron estudios para determinar las zonas potenciales de este recurso dirigidos por el INGEMMET; en el que la región de Puno no está considerado como potencial geotérmico.

Se han realizado los siguientes avances hasta la fecha:

- En 1975, la empresa estatal MINERO PERU efectuó estudios de exploración preliminar de las manifestaciones geotermales de Calacoa y Salinas en Moquegua.
- En 1976, Geothermal Energy Research del Japón, efectuó trabajos de exploraciones preliminares en la cuenca del Vilcanota en Cusco.
- En 1977, el INIE efectuó el primer censo de manifestaciones geotermales.

- En 1978, el INGEMMET elaboró un inventario y agrupación geográfica de afloramientos geotermales, se identificaron las siguientes regiones geotérmicas (Figura 1):
  - I) Cajamarca
  - II) Huaraz
  - III) Churín
  - IV) Central (centro del Perú)
  - V) Cadena de conos volcánicos
  - VI) Puno – Cusco
  
- En 1986, se elaboró una investigación geoquímica entre los departamentos de Tacna y Moquegua con la asistencia técnica de el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Naciones Unidas.
- En 1994, se hizo un estudio geovulcanológico e inventario de manifestaciones geotermales en el volcán Tutupaca.
- En el 2012, el Ministerio de Energía y Minas elabora un Plan Maestro para el Desarrollo de Energía Geotérmica en el Perú con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), según el avance, existe un potencial cercano los 3000 MW. En el cual elaboran una tabla de prioridades para el desarrollo de los 61 campos geotérmicos del Perú, de acuerdo a las regiones geotérmicas.

En la región VI Cusco-Puno, se encuentra la fuente termal de Pasanacollo, Ollachea y Cuyo Cuyo, en el cual según el Plan Maestro Geotérmico lo clasifican como prioridad D-1, que tienen como descripción que el potencial del recurso esta por ser confirmado. (Sin embargo en base a la información disponible se espera un alto potencial.)

Tabla 1. Autorizaciones otorgadas de energía geotérmica en el Perú.  
(Ministerio de Energía y Minas-Dirección General de Electricidad).

N°	Titular / Empresa	Proyecto	Ubicación	Resolución Directoral	Culm Est Fase I (2 años)	Culm Est (DS N°015-2013-EM)	Pot Inst (MWe)
1	<b>ANDES POWER PERÚ S.A.C.</b>	TUTUPACA	Tacna	010-2011-EM/DGE	<b>19-mar-2013</b>	<b>12-jul-2015</b>	<b>75</b>
2	<b>ECO ENERGY S.A.C.</b>	GERONTA II	Ayacucho	027-2011-EM/DGE	<b>20-may-2013</b>		
3		UMACUSIRI I	Ayacucho	028-2011-EM/DGE	<b>20-may-2013</b>		
4		UMACUSIRI II	Ayacucho	029-2011-EM/DGE	<b>20-may-2013</b>		
5		GERONTA I	Ayacucho	030-2011-EM/DGE	<b>20-may-2013</b>		
6		PINAYA I	Puno	002-2011-EM/DGE	<b>5-feb-2013</b>		
7		PINAYA II	Puno	003-2011-EM/DGE	<b>5-feb-2013</b>		
8		PINAYA III	Puno	036-2011-EM/DGE	<b>20-may-2013</b>		
9		PINAYA IV	Puno	239-2012-EM/DGE	<b>13-dic-2014</b>		
10		PINAYA V	Puno	240-2012-EM/DGE	<b>13-dic-2014</b>		
11		PINAYA VI	Puno	249-2012-EM/DGE	<b>19-dic-2014</b>		
12		<b>EDC Energía Verde Perú SA (antes HOT ROCK PERÚ S.A.)</b>	RUPHA	Ancash	006-2011-EM/DGE	<b>13-feb-2013</b>	<b>1-mar-2015</b>
13	CHOCOPATA		Puno	012-2011-EM/DGE	<b>19-mar-2013</b>	<b>1-mar-2015</b>	<b>Renuncia</b>
14	TURU		Arequipa Cusco	099-2011-EM/DGE	<b>6-dic-2013</b>	<b>5-jul-2015</b>	
15	ACHUMANI		Arequipa	217-2012-EM/DGE	<b>28-oct-2014</b>	<b>22-feb-2016</b>	<b>50</b>
16	HUISCO		Ayacucho	010-2013-EM-DGE	<b>16-feb-2015</b>		
17	<b>GEOTERMICA QUELLAAPACHETA PERU S.A.C.</b>	QUELLAAPACHETA	Moquegua	031-2011-EM/DGE	<b>7-abr-2013</b>	1-mar-2015	100
18	<b>MAGMA ENERGÍA GEOTÉRMICA PERÚ S.A.</b>	LORISCOTA	Arequipa Puno	022-2011-EM/DGE	<b>14-abr-2013</b>	1-feb-2015	
19		CRUCERO	Moquegua Puno	025-2011-EM/DGE	<b>14-abr-2013</b>	1-feb-2015	
20		PASTO	Tacna Moquegua	034-2011-EM/DGE	<b>16-jul-2013</b>	28-dic-2015	



21		SARA SARA	Ayacucho	055-2011-EM/DGE	15-sep-2013		
22		PANEJO	Moquegua	060-2011-EM/DGE	15-sep-2013	11 -dic-2015	
23		ATARANI	Tacna Moquegua	076-2011-EM/DGE	23-sep-2013	24-dic-2015	
24		SUCHE	Tacna	092-2011-EM/DGE	1 -dic-2013		
25		TUTUPACA NORTE	Tacna Moquegua	091-2011-EM/DGE	1 -dic-2013		
26		PINCHOLLO LIBRE	Arequipa	278-2013-EM/DGE	8-jul-2015		
27	ENEL GREEN POWER PERU S.A.	CARMEN	Ayacucho	009-2013-EM/DGE	8-feb-2015		
28		CHILATA	Moquegua	067-2013-EM/DGE	20-abr-2015		50
29	EMX GEOTHERMAL PERU S.A.C.	TAMBOCHACA	Pasco	074-2013-EM/DGE	27-abr-2015		
30		PUMAHUIRI	Ayacucho	075-2013-EM/DGE	27-abr-2015		
31		SENGATA	Ayacucho	076-2013-EM/DGE	27-abr-2015		
32		COROPUNA	Arequipa	146-2013-EM/DGE	27-may-2015		

Está considerada como la región más importante de todas, tiene una extensión aproximada de 104 498 km<sup>2</sup>, comprende parte de los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Cusco y, principalmente, los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Aquí se tienen inventariadas alrededor de 300 manifestaciones geotermales, entre fuentes termales, géiseres, fumarolas, entre otras.

En la extensión del eje volcánico se tiene registrada la presencia de más de 300 centros volcánicos, dentro de los cuales destacan por su actividad reciente, los volcanes Misti, Ubinas, Ticsani, Sabancaya, Huaynaputina, Tutupaca y Yucamane. Todos estos volcanes tienen un control estructural regional NW-SE y NE-SW, y la presencia de aguas termales en esta región están asociadas a ellos. Los fenómenos volcánicos y estructurales han originado que las rocas volcánicas y el basamento estén fuertemente fracturados, factor que controla la recarga, circulación y descarga de los fluidos. (Boletín N° 58 Serie C – INGEMMET).

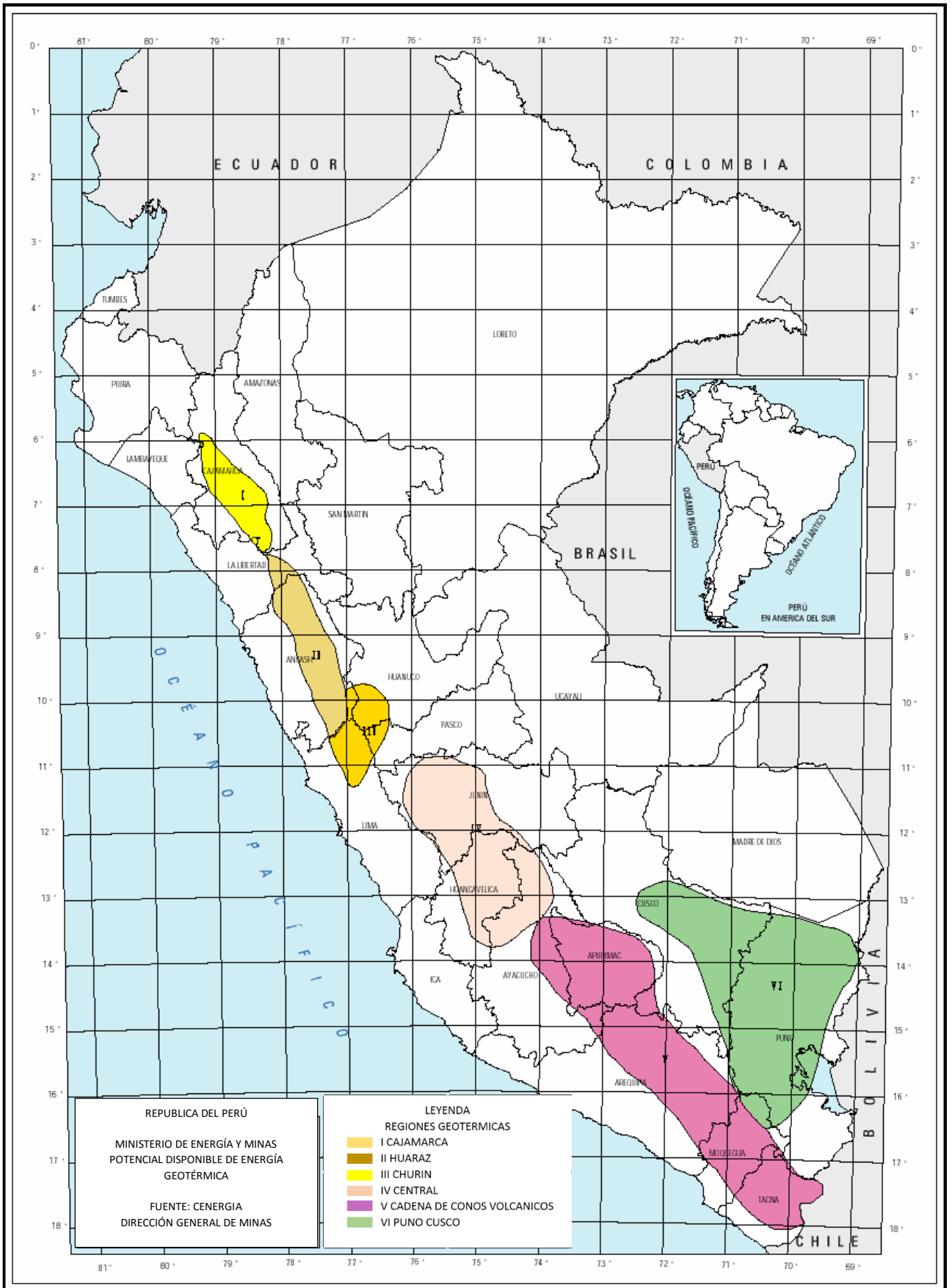


Figura 1. Mapa del potencial de Energía Geotérmica. (Ministerio de Energía y Minas)

El Ministerio de Energía y Minas y el apoyo de la Cooperación Técnica Italiana (CTI) en la década de 1980 se contrató a la empresa consultora CENERGIA para estudios preliminares de los recursos geotérmicos en nuestro país Tabla N° 2

PROYECTOS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA A NIVEL DE ESTUDIO DE FACTIBILIDAD					
N°	LOTE GEOTERMICO	UBICACIÓN	TEMPERATURAS		BENEFICIO PROYECTO
1	TUTUPACA	Dpto. de Tacna y parte del Dpto. de Moquegua	SiO <sub>2</sub> Na/K SiO <sub>2</sub>	180°C 240°C 110-160°C	- Cubrir la demanda de Cujajone, Quellaveco y el Dpto. de Moquegua
2	CALACOA	Sierra de Moquegua	Na/K	180-190°C	- Podría cubrir parcialmente los requerimientos del Sistema Eléctrico Tacna-Moquegua - Complejo minero Toquepala ampliación de Cujajone - Ampliación de Quellaveco - Programa de desarrollo industrial de las futuras inversiones en la región
	CHALLAPALCA	Altiplanicie de los departamentos de Tacna y parte de Puno	SiO <sub>2</sub> Na/K Na/K/Ca Na/K/Ca/Mg Na/Li K/Mg	192°C 182-232°C 184-212°C 184-240°C 204-240°C 87-183°C	
3	AREQUIPA	Departamento de Arequipa Laguna salina-Chachani Laguna Chivay laguna Cailloma	SiO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>	170°C 190°C	- Instalación de una planta geotérmica mediana (50MW) - Potenciamiento del turismo en el Valle del Colca

Figura 1. Lotes geotérmicos identificados para la explotación de la energía geotérmica.

### 1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En los últimos años el ser humano se ha concentrado en grandes ciudades, estas ciudades necesitan un gran consumo de energía para las industrias y mantenimiento. La explotación irracional de recursos energéticos en las últimas décadas ha producido el efecto invernadero.

Como toda actividad, la generación de electricidad conlleva una serie de contaminantes que dependen de la fuente de energía primaria utilizada, de la tecnología elegida y del entorno del emplazamiento de la instalación.

Los estudios hechos sobre la producción de energía geotérmica en el Peru son escasos en nuestro país, en el departamento de Puno son aún más, esto debido a que no existen proyectos de consumo masivo de energía y no hubo la interconexión entre las hidroeléctricas del sur del Perú, la hidroeléctrica de San Gabán que se inicia en el año 2002, su inconexión con Machupicchu-Cusco y Montalvo-Moquegua, nos permitieron entrar en el sistema interconectado eléctrico nacional a partir el año 2003. La demanda

energética de Puno hasta antes del año 2000 era tan solo de 12Mw en horas punta, razón por la cual y al no estar interconectado no hubo el interés para la generación de energía eléctrica geotérmica.

#### **1.2.2.1. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.**

¿Las características geotermales de las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, permitirá caracterizar la geoenergía?

¿Se podrá utilizar como energías limpias las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, como generador de energía geotérmica?

#### **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

Teniendo en cuenta la importancia de la generación de energías limpias, que existe en la Región de Puno los cuales, son Potenciales Geotérmicos; es importante conocer los comportamientos y condiciones geológicas de la zona de estudio lo cual ayudaría a la interpretación y ubicación de nuevas zonas, para así poder incrementar las fuentes de energías limpias y resolver el problema de la producción energética que viene contaminando en los últimos años el medio ambiente.

Desde otro punto de vista, las aguas termales; no solo son generadores de energías limpias, sino a su vez también se presentan como zonas geoturísticas, y que su aprovechamiento sería en el ámbito turístico y medicinal.

##### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA:**

En la elaboración de un proyecto de investigación se considera la justificación práctica, cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema real, o por lo menos

propone estrategias que de aplicarlas contribuirán a resolverlo, con conocimientos teóricos y prácticos adquiridos.

Los estudios geológico, mineralógico, estructural, petrográfico y geoquímico, en la generación de energías limpias mediante fuentes geotermales que se presentan en las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, como Potenciales Geotérmicos, nos permitirán en el futuro obtener mejores resultados en el campo de energías limpias, ayudando así a la conservación del medio ambiente.

### **1.3.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.**

En una investigación existe una justificación teórica cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o cuando en una investigación se busca exhibir las soluciones a un problema científico por lo que se hace las siguientes preguntas: Se podrá utilizar como energías limpias las fuentes termales de: Pasanacollo, Agua Termal Acora, Aguas Termales Ollachea, Agua Termal Cuyo Cuyo, Loripomgo, y Puente Bello como generador de energías geotermales?. A esta pregunta se puede argumentar manifestando lo siguiente: las herramientas empleadas para el proceso del estudio e interpretación geológica permitirá optimizar en la elaboración de nuevos proyectos que contribuirán en el desarrollo energético, económico y medio ambiental sostenible.

### **1.4. HIPÓTESIS.**

Los parámetros geotermales nos permitirán caracterizar la geoenergía de las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, que podrían ser fuentes generadoras de energía.

## **1.5. OBJETIVOS.**

Caracterizar la geoenergía, lo cual, nos permitirá conocer que las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello son potenciales geoenergéticos.

- ✓ Caracterización geotermal de la zona de estudio desde el punto de vista geoquímico.
- ✓ Las aguas termales de las áreas propuestas nos dará a conocer el potencial geoenergético.

## **1.6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.**

### **1.6.1. FASE DE RECOPIACIÓN DE DATOS.**

Se inicia con el procesamiento y recolección de toda la información bibliográfica que se refiere a la zona de estudio, se empleó informes internos y externos, elaboración de planos geológicos, consideración de estudios regionales cercanos a la zona.

### **1.6.2. FASE DE CAMPO.**

El trabajo de campo realizado desde enero a julio del 2016, consistió en el reconocimiento del área de estudio de las fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo Cuyo, Loripongo, y Puente Bello, haciendo de cada una de ellas los mapeos geológicos superficiales, identificación y registro de fuentes termales de estudio, Se tomó muestras de agua para su respectivo análisis por ICP en Laboratorios Analíticos del Sur, laboratorio de ensayo acreditado por la dirección de acreditación del INACAL con registro N° LE-050. Para el análisis físico- químico se hizo en la Universidad Nacional del Altiplano, por la Facultad de Ingeniería Química. Las muestras fueron recolectadas de las seis zonas que enmarca el estudio, en botellas esterilizadas de polietileno, con doble tapa (tapa y contratapa), para el

análisis por ICP las botellas eran de 500 mL de capacidad, y para el análisis Físico – Químico Fueron de 1L.; toma de temperatura, medida del PH de cada fuente.

Las muestras de agua en trabajo de campo se registraron y codificaron para el envío hacia el laboratorio, empleando todos los procedimientos y estándares que se tiene implementado en el área de geología para su respectivo análisis químico por los contenidos mineralógicos de cada una de las muestras y para consumo humano. También se tomó muestras de rocas para su identificación.

### **1.6.3. FASE DE GABINETE**

El trabajo de gabinete es la etapa en la que se procesa la información recibida del campo, tales como la digitalización de mapeos, elaboración de base de datos de los muestreos, actualización, interpretación y evaluación de los resultados de muestras de agua obtenidas del laboratorio y las muestras de roca obtenidas de campo.

#### **1.6.3.1. Base de datos.**

Los datos de coordenadas de las fuentes termales, temperatura, pH, resultados de laboratorio por ICP y análisis de agua, son almacenados en la base de datos del software Microsoft Excel.

#### **1.6.3.2. Análisis de datos.**

Los datos de laboratorio son puestos a prueba de geotermómetro de sílice vs entalpia, para la determinación del tipo de yacimiento geotérmico a la cual pertenecen.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. TEMPERATURA**

Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una 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. 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.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>

#### **2.2. GEOTERMAL**

El término «geotérmico» viene del griego *geo* («Tierra»), y *thermos* («calor»); literalmente «calor de la tierra». 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, 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.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_geot%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_geot%C3%A9rmica)

### 2.3. 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.

Según como se iba avanzando en los estudios sobre la energía geotérmica, varios autores proponen la clasificación de los recursos geotérmicos:

*Tabla 2. Clasificación de recursos térmicos.*

	a	b	c	d	E	Expresados en °C
Recursos de baja entalpia	< 90	< 125	< 100	≤150	≤190	
Recursos de entalpia intermedia	90-150	125-225	100-200	-	-	
Recursos de alta entalpia	>150	>225	>200	>150	>190	

- Ref: (a) *Muffler and Cataldi (1978).*  
 (b) *Hochstein (1990).*  
 (c) *Benderitter and Cormy (1990).*  
 (d) *Nicholson (1993).*  
 (e) *Axelsson and Gunnlaugsson (2000)*

### 2.4. VULCANISMO:

Se produce cuando el material fundido en el interior de la tierra sale a la superficie a través de grietas, fisuras u orificios. A este material que sale se le denomina lava. Se caracteriza porque se enfría rápidamente y libera sus gases disueltos.

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, a consecuencia tenemos la presencia de grandes yacimientos de minerales como geotermales.

## **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.*

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

### **2.5.1. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DE FLUIDOS GEOTERMALES**

#### **2.5.1.1. Fluidos primarios**

La composición química de los fluidos geotermales primarios está determinada por la composición de la fuente de fluidos y aquellas reacciones que involucren tanto la disolución de minerales primarios, como la precipitación de minerales secundarios junto con los procesos de adsorción y desorción. Generalmente la fuente de fluidos es agua meteórica o marina, siendo posible además identificar componentes de fluidos magmáticos, metamórficos y connatos.

##### **a) Aguas Cloruradas**

Este tipo de agua es muy común en los sistemas geotermales. Un alto porcentaje de las sales en disolución en las aguas termales cloruradas corresponde a Na-Cl. La concentración de cloruro típicamente va desde cientos hasta algunos miles de ppm. El contenido de cloruros depende de la disponibilidad de sales, las cuales pueden ser lixiviadas de las rocas del reservorio, o formarse de las reacción entre HCl magmático y los minerales formadores de roca. La concentración de la mayor parte de los componentes en aguas Na-Cl se determina por el equilibrio local con minerales secundarios si la temperatura

supera los 100 –150 °C (e.g. Giggenbach, 1991). Puente Bello presenta altos contenidos de cloruros.

#### **b) Aguas Sulfato-ácidas.**

Este tipo de fluidos es frecuente en sistemas geotermales volcánicos, generalmente asociado a volcanes andesíticos (e.g. Truesdell, 1991). La acidez es causada por HCl y/o HSO<sub>4</sub>, generando que el pH de estos fluidos en la cabeza de los pozos pueda ser muy baja (pH~2 a 25°C). Sin embargo, a altas temperaturas estas aguas son casi neutras, ya que la acidez está dada por el HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> que se disocia bajo esas condiciones. Así, la mayor diferencia entre aguas cloruradas y sulfato-ácidas reside en que el buffer de pH para las aguas cloruradas es CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, mientras que para las aguas de tipo sulfato-ácidas es HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Arnórsson, et al., 2007).

#### **c) Salmueras**

Estas aguas son el resultado de procesos que concentran sales hasta dar origen a salmueras geotermales. Uno de estos es la disolución de evaporitas por aguas meteóricas y su reacción con minerales primarios de rocas volcánicas y HCl magmático. Además, aguas termales connatas salinas han sido encontradas en cuencas sedimentarias. La separación de fases es otro de los procesos que produce un aumento en la concentración de sales, este proceso de diferenciación origina por tanto, un fluido secundario.

### **2.5.1.2. Fluidos secundarios**

#### **a) Aguas sulfato-ácidas vapor calentadas**

La absorción y condensación de vapor y gases por parte de aguas subterráneas, acuíferos colgados, agua meteórica de infiltración somera, o lagos volcánicos, genera aguas termales “vapor-calentadas”. Esta denominación describe el hecho de que la condensación del vapor es un proceso exotérmico conducente al calentamiento de las aguas en contacto con la pluma ascendente de vapor y gas. Se caracterizan por un contenido bajo de Cl y relativamente alto de sulfato. Las aguas ácidas disuelven fácilmente los minerales primarios de las rocas

volcánicas comunes (alcanzan valores de pH <1), dejando un residuo de sílice oquerosa, anatasa, azufre nativo, sulfuros, esmectita y caolinita. Esta clase de agua no se tiene en las áreas de estudio.

### **b) Aguas carbonatadas**

Este tipo de aguas es común, tanto en los sistemas geotermales en áreas con actividad volcánica y en zonas sísmicamente activas sin volcanismo (Arnórsson, et al., 2007). Cuando el CO<sub>2</sub> es el principal gas contenido en el vapor, como ocurre generalmente con los gases de naturaleza geotérmica, las aguas así como Puente Bello y Loripongo vapor-calentadas asociadas serán del tipo carbonatadas. Si además se tienen concentraciones importantes de gases de H<sub>2</sub>S, las composiciones resultantes pueden ser sulfatadas-carbonatadas aunque en este caso el pH es relativamente ácido. Por último, las aguas carbonatadas pueden ser el resultado de una mezcla de fluidos primarios a alta temperatura con aguas subterráneas frías ricas en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Arnórsson, et al., 2007). La fuente termal de Pasanacollo presenta altos contenidos de carbonatos, llegando a 1852.80mg/L.

### **c) Aguas Mezcladas**

La mezcla de fluidos termales con aguas superficiales en las zonas más someras del sistema es uno de los procesos que más comúnmente afecta a los fluidos geotermales durante el ascenso (Fournier, 1977). Estas aguas pueden exhibir razones de mezcla variables y pueden ser reconocidas por una correlación inversa de la temperatura y el caudal de las manifestaciones, así como también por una correlación positiva entre componentes conservativos e isotópicos. Debido a que la mezcla de aguas altera el equilibrio agua-mineral, se producen cambios en las concentraciones iniciales de componentes reactivos (Arnórsson, et al., 2007). En caso que las aguas superficiales sean razonablemente puras, como normalmente es el caso, este proceso puede ser simplificado como dilución simple del fluido del reservorio geotermal, para algunos componentes (Reed y Spycher, 1984; Pang y Reed, 1998). Dentro de las modificaciones producidas, éstas típicamente incluyen un aumento en las concentraciones de Ca y Mg y una disminución en la razón de Na/K. De esta forma, la mezcla con aguas meteóricas tiene un efecto considerable en los geotermómetros y

diagramas de equilibrio multimineral y por tanto debe considerarse en el análisis e interpretación de los resultados.

## **2.6. ESTRATIGRAFÍA**

En las diferentes áreas de estudio afloran rocas que van desde el Paleozoico medio Formación Ananea y superior Grupo Copacabana, en el Mesozoico como Formación Huancané; Cenozoico con el Grupo Tacaza y la Formación Maure, y material reciente del cuaternario.

El medio fracturado influye sustancialmente en la dinámica subterránea, de la circulación de las aguas meteóricas y subterráneas.

### **2.6.1. PALEOZOICO.**

#### **2.6.1.1. FORMACIÓN ANANEA (SD-a):**

Laubacher G., op cit 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. Consiste en pizarras, esquistos gris oscuros afectados por una esquistosidad de flujo que en muchos casos impide observar la estratificación, estando plegada fuertemente en varios sectores de edad Silurico-Devonico.

#### **2.6.1.2. GRUPO COPACABANA (Pi-c):**

Edad del Permico Inferior, está bien desarrollado entre los 12° y 15° de Latitud Sur; sus mejores exposiciones se encuentran en el departamento de Puno. Está constituido por calizas micríticas intercaladas por calizas grises bioclásticas fosilíferas y espáticas bien estratificadas y en menor proporción por lutitas oscuras. Conformando así la fuente termal de Acora.

## **2.6.2. MESOZOICO:**

### **2.6.2.1. FORMACIÓN HUANCANE (Ki-hu):**

Edad Cretáceo Inferior, esta información se describe por primera vez en el boletín N°42 del Estudio Integrado del Sur. Aflora en los cuadrángulos de Lagunillas, Juliaca, Acora y Puno, donde yace sobre las calizas de la Formación Sipín.

Está constituida de areniscas cuarzosas de grano medio, de textura sacaroidea, intercaladas con estratos de areniscas feldespáticas y presentando en el techo conglomerados con clastos de roca caliza, con algunas intercalaciones de limoarcillitas rojas, aflorando en la fuente termal de Pasanacollo las areniscas cuarzosas rojizas.

## **2.6.3. CENOZOICO:**

### **2.6.3.1. FORMACIÓN MAURE (TMa):**

(Rojas & Paredes, 2008) El término Formación Maure fue introducido por primera vez por WILSON y GARCIA (1962), para una secuencia de sedimentos y piroclásticos post-Grupo Barroso, en el área de Palca en el Sur del Perú.

El grupo Maure se presentan en discordancias sobre lavas del grupo Tacaza. En la fuente termal de Puente Bello y Loripongo, se presenta en calizas con inclusiones de carbonato de cobre, microconglomerados, areniscas limos y capas de sílice, son comunes dentro de la secuencia lacustre, esto posiblemente de la actividad volcánica félsica.

### **2.6.3.2. CUATERNARIO (Q-n):**

En las zonas se observaron actividad geodinámica de las glaciaciones, estos periodos gélidos, permitieron la soliflucción de los suelos por el congelamiento, dando lugar a depósitos aluviales - Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa.

- Depósitos morrenicos: bloques angulosos a subredondeados de rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas con matriz areno arcillosa.

- Depósitos glaciofluviales: gravas de diámetro variable a subredondeada con matriz arenosa y arenolimsa.
- Depósitos aluviales: gravas y arenas heterogéneas con matriz arenolimsa.

## **2.7. MINERALOGÍA ASOCIADA A FUENTES TERMALES.**

En la fuente hidrotermal de Acora se presenci6 una mina antigua de Antimonio, que era extraída artesanalmente, por los lugareños, en el año 2008, un derrumbe ocasiono la muerte de los trabajadores, sepultándolos y bloqueando la entrada al socav6n, a inicios del 2014 se empaquetaron en sacos el mineral, dejándolos abandonados.

### **2.7.1. Estibina ( $Sb_2S_3$ ):**

Tambi6n llamada antimonita o estibina, es un mineral del grupo II (sulfuros), seg6n la clasificaci6n de Strunz. Es la mena principal del antimonio, metal relativamente raro (0,2 por mill6n en la corteza terrestre) y elemento t6xico utilizado para endurecer las aleaciones de metal para soportes, terminales de baterías y semiconductores. Existen cristales radiales alargados de estibina, o formas macizas, que pueden confundirse con la galena, pero la forma de cristal de la estibina es distintiva, como su punto de fusi6n bajo. Se asocia con otros sulfuros en las venas hidrotermales, dep6sitos de agua termales y dentro de la caliza. La mayor parte de su producci6n anual proviene de China.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Estibina\\_\(mineral\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Estibina_(mineral))

### **2.7.2. Geiserita:**

Dep6sito mineral con una textura porosa o vesicular (que posee pequeñas cavidades). La geiserita silícea es un dep6sito de opalina o sílice amorfa que aparece como una incrustaci6n alrededor de fuentes termales y géiseres, y a veces forma montículos c6nicos (conos de géiser) o terrazas. La geiserita calcárea, a veces llamada toba o toba calcárea, es un dep6sito de carbonato de calcio. En la fuente hidrotermal de Puente Bello, el

mineral predominante fue la geiserita, presentada en grandes cantidades, en los poros del mineral se evidencian inclusiones de Malaquita.

#### **2.7.3. Elbaíta ( $\text{Na}(\text{Al}, \text{Li})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH}, \text{F})_4$ ):**

Son bastante frecuentes en asociación con otros minerales y es una variedad de la turmalina, se identifican con facilidad por la característica sección transversal (triángulo esférico), las frecuentes estrías y alta dureza. Se distingue de las piroxenas y los anfíboles, así como la epidota por la ausencia de clivaje y alta dureza. Se electriza al calentarse, frotarse o comprimirse, con la particularidad de que en un extremo tiene carga positiva y en el otro carga negativa. Son frecuentes en yacimientos de menas de origen hidrotermal.

#### **2.7.4. Limonita ( $\text{HFeO}_2$ ):**

Las concentraciones de óxidos de hierro son. Por lo común, mezclas de goethita con limonita y asimismo con hidróxidos de sílice, sustancias arcillosas, etc. estas mezclas suelen denominarse limonita. Se forman a consecuencia de la hidrólisis de las sales constituyentes en el proceso de oxidación y descomposición de los minerales ferruginosos; sulfuros, carbonatos, silicatos y otros que contengan hierro bivalente. Este mineral fue frecuente en las fuentes termales de Loripongo y Pisanacollo.

#### **2.7.5. Malaquita ( $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ):**

Se forma exclusivamente en las zonas de oxidación de los yacimientos de sulfuros de cobre, es uno de los minerales de cobre más propagados en las menas oxidadas de cobre. Se desarrolla por vía de sustitución de los carbonatos como llenando las cavidades y creando en ellas típicas formas coliformes, como encontradas en la fuente termal de Puente Bello, incrustadas en las geiseritas.

#### **2.7.6. Jarosita ( $\text{KFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ):**

Es un mineral bastante común, formado en zonas de oxidación de los yacimientos de sulfuro de hierro, se precipita en las aguas sulfatadas en contacto libre con el oxígeno del aire y ricas en hierro trivalente. Se hace presente en la fuente termal de Loripongo y alrededores a ella.



### **2.7.7. Plagioclasas ( $n \text{Na}(\text{Al SiO}_3\text{O}_8)$ , $n \text{Ca}(\text{Al SiO}_2\text{O}_8)$ ):**

Los minerales de este grupo constituyen una serie binaria bien estudiada, cuyos miembros terminales se denominan albita y anortita, según los datos referente a los compuestos naturales y artificiales. Son más comunes del grupo de los feldespatos, se presentan en la mayoría en rocas eruptivas, en los procesos de meteorización de las rocas se someten con el tiempo a la descomposición bajo el efecto de las aguas infiltradas, en dicho proceso se eliminan el álcalis y las tierras alcalinas. (Betejtin A. (1977), Curso de Mineralogía. Moscú.)

## **2.8. RECARGA**

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. El tiempo de residencia (el periodo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación está interrumpida por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores (acuitardos), o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez.

## **2.9. FUENTES DE ENERGÍA**

### **2.9.1. NO RENOVABLES**

#### **2.9.1.1 Energía fósil**

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar.

#### **2.9.1.2. Energía nuclear**

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad

mediante turbinas de vapor de agua. Se obtiene "rompiendo" (fisionando) átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear.

## **2.9.2. RENOVABLES O VERDES**

### **2.9.2.1. Energía hidráulica**

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. En el Perú la potencia instalada total del país es 10 900 MW, de los cuales cerca del 32% es de origen hidráulico. La producción total de energía es 43 400 GWh, de los cuales el 55% es energía hidroeléctrica.

### **2.9.2.2. Energía solar térmica**

Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios o fábricas. También, se podrá conseguir refrigeración durante las épocas cálidas.

### **2.9.2.3. Biomasa**

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos.

### **2.9.2.4. Energía solar**

Los paneles fotovoltaicos convierten directamente la energía lumínica en energía eléctrica. La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada

la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

#### **2.9.2.5. Energía eólica**

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

#### **2.9.2.6. Energía marina**

La energía marina o energía de los mares (también denominada a veces energía de los océanos o energía oceánica) se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria. Los principales tipos son:

- Energía de las olas, olamotriz o undimotriz.
- Energía de las mareas o energía mareomotriz.
- Energía de las corrientes: consiste en el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. Maremotérmica: se fundamenta en el aprovechamiento de la energía térmica del mar basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar y las aguas profundas.
- Energía osmótica: es la energía de los gradientes de salinidad.

#### **2.9.2.7. Energía geotérmica:**

Es una energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

El término «geotérmico» viene del griego *geo* («Tierra»), y *thermos* («calor»); literalmente «calor de la Tierra». 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, 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- «Alta temperatura» Instituto Geológico y Minero de España (consultado el 7 de marzo de 2012).

#### **a) Clasificación según la temperatura del agua.**

- **Energía geotérmica de alta temperatura.** La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Esta temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad.
- **Energía geotérmica de temperaturas medias.** La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70 y 150 °C.
- **Energía geotérmica de baja temperatura.** La energía geotérmica de temperaturas bajas es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 50 a 70 °C.
- **Energía geotérmica de muy baja temperatura.** La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 20 y 50 °C. Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas, como la climatización geotérmica (bomba de calor geotérmica).

Esta definición incluye el calor que se encuentra en las rocas, suelos y aguas termales, cualquiera sea su temperatura, profundidad o procedencia. En la actualidad, está considerada como una fuente de energía renovable abundante y de explotación viable. Por su temperatura o “entalpía” (magnitud termodinámica simbolizada con la letra H mayúscula) se presentan de la siguiente manera:

Tabla 3. Clasificación de yacimiento por entalpía.

Clasificación por Entalpía			
Tipo Yacimiento	Tipo de Terreno	Rango de Temperatura	Uso Principal
Muy Baja Entalpía	Subsuelo con o sin agua	5°C<T<25°C	Climatización
	Aguas Subterráneas	10°C<T<22°C	
Baja Entalpía	Aguas Termales	22°C<T<50°C	Balnearios
	Zonas Volcánicas	T<100°C	Calor de Distrito
	Sedimentos Profundos		
Media Entalpía		100°C<T<150°C	Electricidad, Ciclos Binarios
Alta Entalpía		T>150°C	Electricidad

(<http://www.energias.bienes.comunes.org/wp-content/uploads/2012/06/cuadro-entalpia.>)

La energía calórica contenida bajo la tierra es alta. Por ejemplo, los volcanes son pequeños orificios por donde el magma encuentra salida a la superficie; el calor del interior de la tierra derrite con facilidad la roca y forma la lava que se derrama por las laderas de estos volcanes.

## 2.10. TIPOS DE AGUAS TERMALES

Existen dos tipos de aguas termales dependiendo de su origen geológico, las magmáticas y las telúricas. El tipo de terreno del que aparecen es una de las principales diferencias entre ambas las aguas magmáticas nacen de filones metálicos o eruptivos, mientras que las telúricas pueden aparecer en cualquier lugar.

La temperatura de las aguas magmáticas es más elevada que la de la telúrica. La primera tiene por lo general temperaturas mayores a los 50° C, mientras que las de origen telúrico pocas veces lo hacen. Por otro lado, gracias a que las aguas telúricas son filtradas, poseen menor cantidad de mineralización que las magmáticas. Los elementos más comúnmente encontrados en las aguas magmáticas son arsénico, boro, bromo, cobre, fósforo y nitrógeno. Las aguas termales telúricas tienen por lo general bicarbonatos, cloruros, sales de cal y

otros. Las fuentes de agua termal del estudio, son de tipo magmática, ya que ninguna se encuentra menor a 50° c de temperatura.

### **2.11. ACUÍFERO:**

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. El nivel superior del agua subterránea se denomina nivel freático, y en el caso de un acuífero libre, corresponde:

#### **2.11.1. 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 <> 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.

#### **2.11.2. SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO.**

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

#### **2.11.2.1. Acuíferos**

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

#### **2.11.2.2. Acuitados**

Buenos almacenes pero malos transmisores de agua subterránea (cantidad pero lentos) (p.ej.- limos).

#### **2.11.2.3. Acuicludos**

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

#### **2.11.2.4. Acuífugos**

Son nulos tanto como almacenes como transmisores. (p.ej.- granitos o cuarcitas no fisuradas).

### **2.11.3. SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO.**

#### **2.11.3.1. 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.

#### **2.11.3.2. 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.

#### **2.11.3.3. 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.

#### **2.11.3.4. 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.

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

### **2.12. AGUA SUBTERRÁNEA:**

Representa una gran fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra. El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de kilómetros cuadrados.

### **2.13. 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* (del francés *nappe*=mantel), *tabla de agua* (traducción del inglés, "water table") o simplemente freático.

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. [https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel\\_fre%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_fre%C3%A1tico).



## 2.14. PERFORACIONES.

Es la abertura que se hace desde la superficie hacia la profundidades para extraer información del comportamiento del subsuelo, como también utilizados para la colocación de tuberías que transporten el fluido termal hacia la superficie. Los tipos y diámetros de los tubos de perforación dependerán de la utilización que se requiera, en cada cierta etapa.

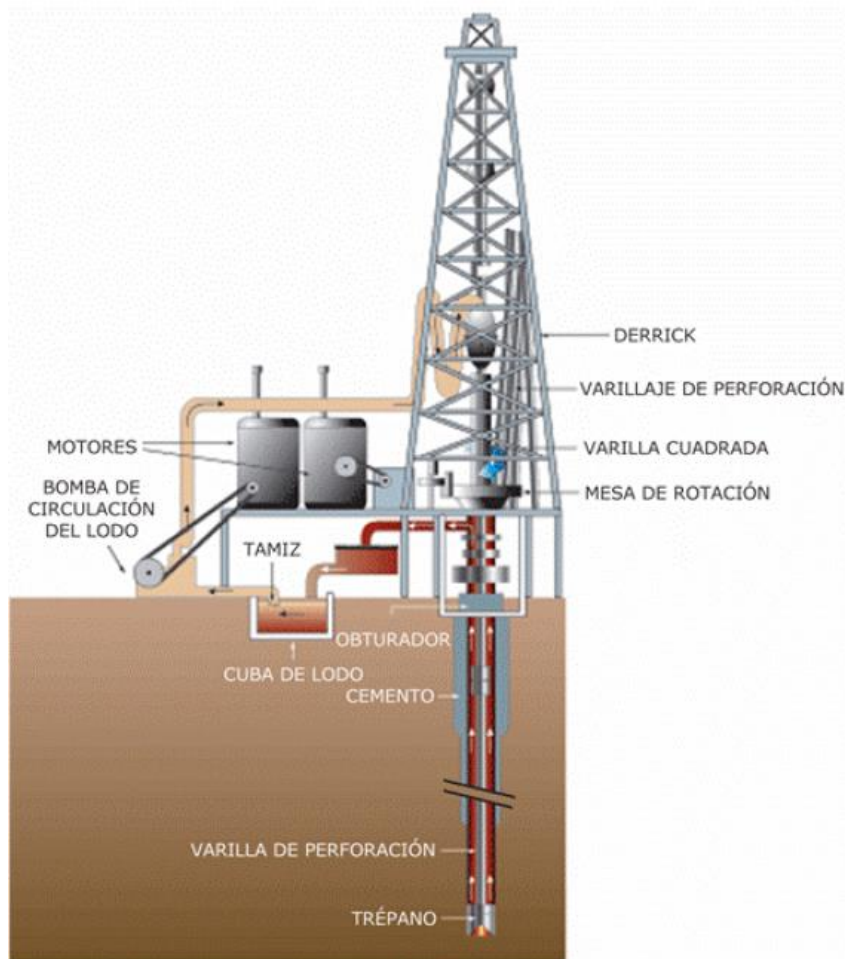


Figura 2 Esquema de plataforma de perforación. (Site Geotherme-Perspectives de l'ADEME et du BRGM.)

En las últimas décadas las perforaciones de diamon-drill en exploraciones de minería, petróleo, geotecnia, se han sumado las fuentes geotermales por la información inmediata que brinda de las características geológicas del subsuelo y las características geoquímicas, temperatura y presión que emanan de ellas, utilizándose diferentes diámetros de brocas, usadas para estas investigaciones en el mercado internacional, así tenemos:

#### **2.14.1. TUBERÍAS:**

Los pozos productores estarán expuestos a grandes presiones, esfuerzos térmicos por lo que su anclaje deberá ser muy bien diseñado.

#### **2.14.2. MATERIALES:**

- Lodos de perforación (bentonita y otros) cemento para cementar cada una de las tuberías.
- Petróleo Diésel para operar los equipos de perforación.

**2.14.3. ELEMENTOS QUÍMICOS.** Para usar como aditivos para el cemento y para los lodos de perforación

**2.14.4. REGISTROS (LOG).** Al perforar se corren muchos registros para conocer, mediante una sonda, la permeabilidad de la roca, las cavernas que se forman, la calidad de la cementación efectuada. También cortes de núcleos para su posterior análisis.

#### **2.14.5. POZOS PRODUCTORES**

El diseño de los pozos productores dependerá de la profundidad a la que se encuentre el yacimiento y del tipo de roca a perforar. El diámetro de la tubería de producción o ademe del pozo, generalmente se estandariza a 9 5/8 pulgadas. Las tuberías de anclaje y amarre son similares a las que se usaron en los pozos exploratorios.

#### **2.14.6. POZOS RE-INYECTORES**

Un pozo inyector diseñado ex profeso para este fin generalmente lleva un anclaje mucho más ligero que el de uno productor que estará sometido a grandes esfuerzos térmicos y mecánicos. La tubería equivalente a la que es de producción de 9 5/8 [in] en un pozo productor, no requerirá ir cementada, ni se requerirá colgar un liner ranurado.

### **2.15. CENTRALES DE CICLO BINARIO**

Las centrales de ciclo binario se emplean en la explotación de yacimientos de media entalpía – temperaturas entre 100 y 150 °C– y elevada salinidad, de forma más eficiente que las plantas flash y con un menor impacto ambiental, al no emitir gases a la atmósfera. Este tipo de planta utiliza la temperatura del agua geotérmica para calentar, en el seno de un intercambiador, otro fluido de bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a elevadas temperaturas, como el isobutano o el isopentano (figura 3).

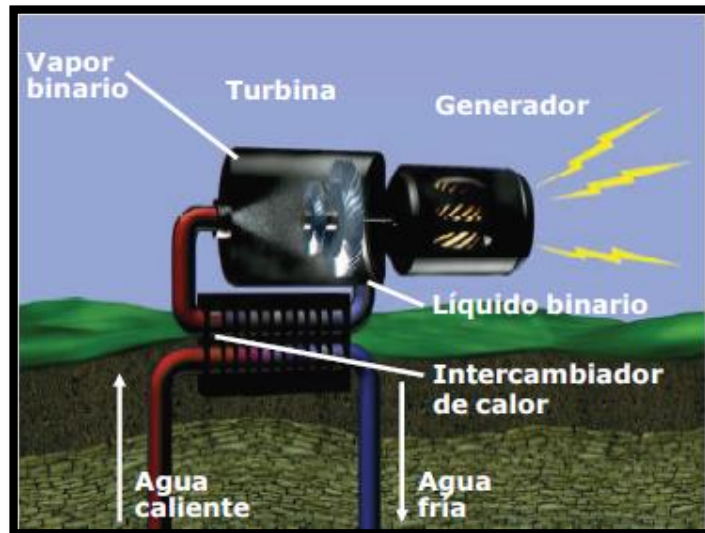


Figura 3 Esquema básico de la tecnología de ciclo binario. (Geothermal Education Office)

El fluido secundario se convierte entonces en vapor, que será el responsable del accionamiento de la turbina. Tras esta etapa pasa a un condensador, donde recupera nuevamente al estado líquido, para ser posteriormente reenviado al intercambiador, mientras que el agua es reinyectada en el subsuelo, cerrándose así el ciclo (ver figura 4). Puesto que en este sistema el fluido geotérmico se comporta como un mero agente portador del calor, no son necesarios dispositivos de limpieza ni se produce emisión alguna a la atmósfera.

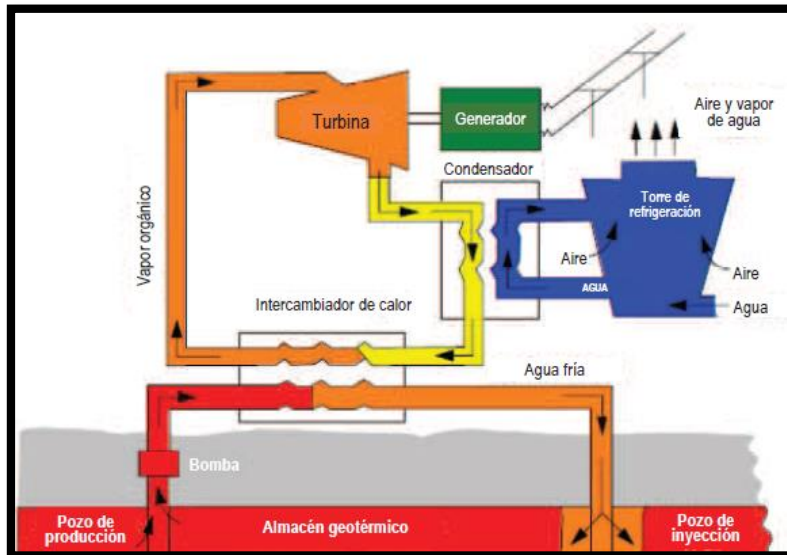


Figura 4 Esquema de funcionamiento de una planta de ciclo binario. ( Geothermal Energy Association).

Los desarrollos tecnológicos de la dos últimas décadas han supuesto notables avances en la producción de energía eléctrica a partir de los recursos geotérmicos de temperaturas más bajas, de modo que, en la actualidad, las plantas de ciclo binario pueden utilizar recursos de temperaturas hasta del orden de los 75 °C. En efecto, las dificultades de costes y rendimientos que presentaban hace años las plantas binarias han sido superadas merced al desarrollo de ciclo binarios comerciales, como los denominados ciclo Rankine (ORC: Organic Rankine Cycle) y ciclo Kalina, los cuales permiten la conversión en electricidad del calor procedente de recursos geotérmicos de media entalpía en condiciones económica y técnicamente viables.

### 2.15.1. CICLO RANKINE.-

Se trata de un sistema de ciclo binario avanzado, completamente cerrado, basado en un simple proceso de evaporación, que emplea como fluido secundario uno de naturaleza orgánica (normalmente un hidrocarburo, como propano, butano o isopentano), cuya selección depende, fundamentalmente, de la temperatura de la salmuera geotérmica. El ciclo Rankine cuenta con cuatro dispositivos principales: evaporador, turbina, torre de refrigeración y bomba de alimentación (ver figura 5).

Las plantas eléctricas de ciclo binario que operan con este ciclo tienen un extenso campo de aplicación con recursos de temperaturas superiores a 120 °C. También pueden utilizarse en ellas recursos de temperaturas más bajas –como sucede en la central geotérmica ORC de Simbach-Braunau (Austria), que usa salmueras a 80 °C para producir energía eléctrica–, pero con costes más altos y eficacias más bajas en la conversión de calor a electricidad. De hecho, la eficiencia en la conversión de energía bruta de una central eléctrica de ciclo Rankine aumenta desde un 5,5% para una salmuera a 80 °C, hasta un 12% a una temperatura de 180 °C.

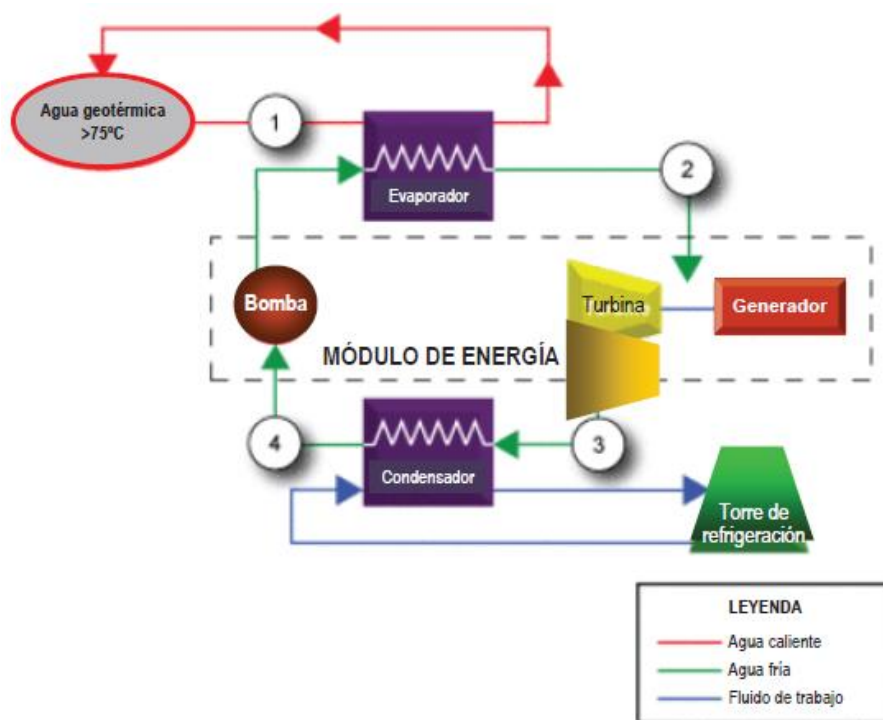


Figura 5 Esquema del ciclo Orgánico Rankine (<http://thefraserdomain.typepad.com/energy/geothermal/>)

### 2.15.2. CICLO KALINA.-

Utiliza un fluido secundario con, al menos, dos componentes químicos, normalmente amoníaco y agua. Sus proporciones pueden variar para permitir el cambio de fase a unas determinadas condiciones de presión y temperatura, lo que proporciona una mayor adaptabilidad a variaciones de temperatura de la salmuera geotérmica.

Cuando el fluido secundario se calienta, los diferentes puntos de ebullición de los citados componentes generan un vapor rico en amoníaco y un agua pobre en este compuesto.

La eficiencia en la conversión de energía bruta de una central eléctrica de ciclo Kalina depende, igualmente, de la temperatura inicial de la salmuera geotérmica, aumentando desde el 8,5% a 80 °C hasta el 12% a 160 °C, superando, de este modo, la eficiencia de las plantas de ciclo Rankine, especialmente a bajas temperaturas. Entre las centrales eléctricas que emplean esta tecnología se encuentran las de Husavik, en Islandia, y Unterhaching, en Alemania. (MARCO DEL PROYECTO PROMOEENER; Anexo1. Tecnologías del aprovechamiento de recursos geotérmicos.)

El tamaño de la Central será depende a la potencia que se requiera generar esto va desde una turbina geotérmica es de 27 [MW] para flujo sencillo, 60 [MW] para doble flujo y de 120 [MW] para dos turbinas con un solo generador. Como las centrales geotérmicas consumen alrededor del 10% de su potencia generada en sus propios auxiliares, podemos decir que la potencia neta estándar de las plantas geotérmicas a condensación son de: 20[MW]; 55 [MW] y 110 [MW].

Es indispensable consultar esto con los fabricantes de turbinas más experimentados y no permitir potencias unitarias muy superiores a estas cifras ya que para ello deben utilizar álabes muy altos en la última rueda de la turbina con los consiguientes riesgos de roturas por esfuerzo-corrosión.

## **CAPITULO III**

### **CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

Las fuentes de termales de estudio están ubicadas cada una de ella en distintas zonas de la región de Puno.

#### **3.1. ANÁLISIS DE LAS FUENTES TERMALES**

Para caracterizar la fuente termal del área de estudio se contó con el termómetro, pH metro, GPS, muestreo de agua las fuentes termales y su respectivo análisis en la Universidad Nacional del Altiplano en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química y Laboratorios del Sur en la ciudad de Arequipa; datos que se obtuvo de cada fuente termal, para las temperaturas se tomaron en diferentes meses para ver la variación y cambios que podrían producirse.

## 3.2. FUENTES TERMALES

### 3.2.1. FUENTE TERMAL PASANACCOLLO.

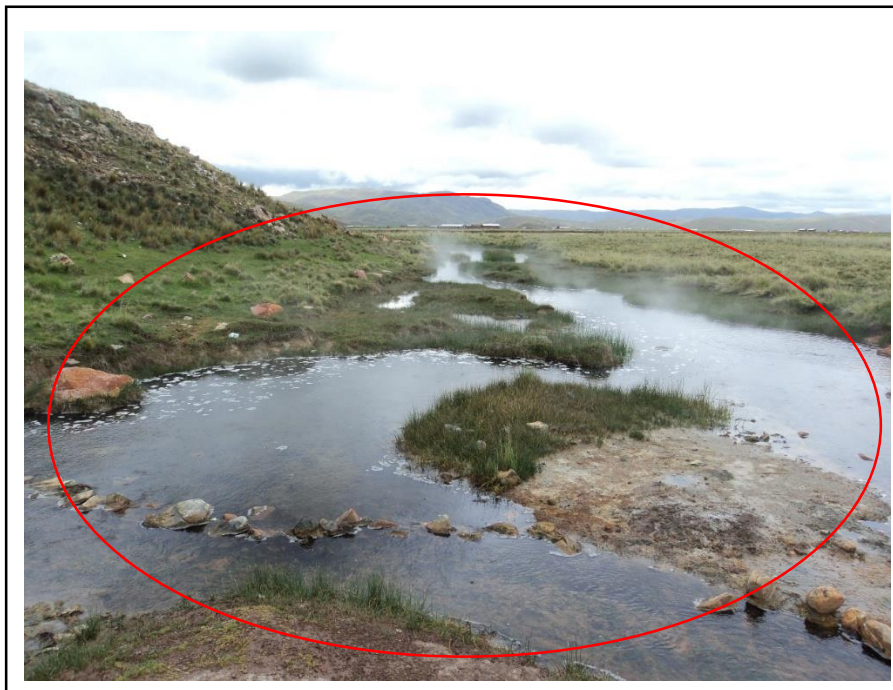


Figura 6. Vista N-W, fuente termal de Pasanacollo

#### 3.2.1.1. Ubicación Geográfica.

Se encuentra en la comunidad campesina de Pasanacollo, en el Distrito de Nuñoa, Provincia de Melgar, Departamento de Puno. El brote de la fuente termal, emerge en el recorrido del río Jorahuiña (ver Anexo L-1)

Cuadro 1. Coordenadas de la fuente termal de Pasanacollo

Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>WGS-84</b>	3939
8388671.68609	336465.7080		



### 3.2.1.2. Accesibilidad.

Cuadro 2, Datos de accesibilidad Pasanacollo.

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)
Puno - Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Juliaca – Ayaviri	95	1.15 Hrs.	Carretera asfaltada
Ayaviri-Nuñoa	41	0.47 Hrs.	Carretera asfaltada
Nuñoa - Pasanacollo	15	0.20 Hrs.	Carretera afirmada

### 3.2.1.3. Clima, Flora y Fauna.

Cerca de Pasanacollo el clima es típico de la región Suni, la temperatura ambiental es de promedio 10 °C en los meses de diciembre a marzo, y con temperaturas 2°C y en las noches bajo 0°C en los meses de mayo a julio.

Presenta en las cercanías de las lagunas Venavista y Ututo el crecimiento de totora, sembríos de quinua, y variedades de oca.

En la fauna se observó ganado lanar, equino, ovino, aves de corral y aves silvestres.

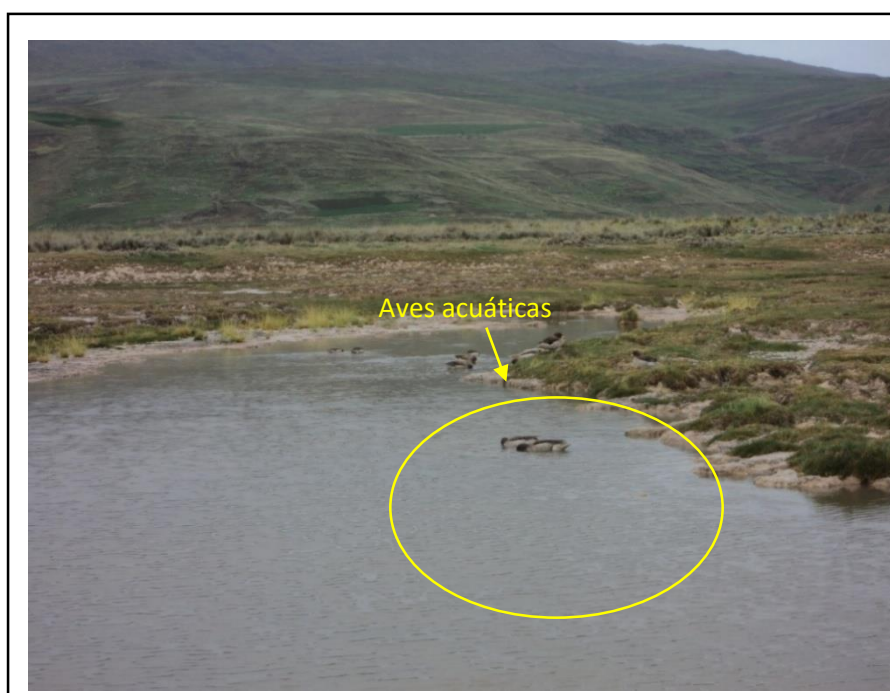


Figura 7. Flora y fauna.

### 3.2.1.4. Descripción Geológica.

Aflora en la formación Huancané, entre el recorrido del río Jorahuiña, aumentando su caudal aguas abajo hacia el río de nombre Río Grande y la ladera de cerro Venavista; con una estratificación de calizas de color blanco grisáceo adyacentes a las emanaciones de aguas termales y más al s-e está compuesto de areniscas cuarzosas blanquecinas intercaladas de limoarcillitas rojas, las cuales dan una coloración de areniscas rosadas en la zona, con un rumbo de N46°W y buzamiento de 25°NE. Aledaña a la fuente, al S-W aflora un intrusivo dacítico del Paleógeno, entre la Formación Viluyo y Vilquechico (ver Anexo G-1).

### 3.2.1.5. Características Termales.

*Cuadro 3. Resultados de análisis por ICP expresados en mg/L, fuente Termal Pasanacollo.*

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0,0024	<0,029	0,8852	22,87	0,02681	0,000838	174	<0,00011
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0,0000094	<0,00039	<0,002	1,18	<0,00041	79,5	4,6829	27,28
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.
0,09135	0,01570	>250	<0,00051	0,0430	0,0190	0,01786	0,0329
SiO <sub>2</sub>	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
44,85	0,00903	4.913	0,00376	<0,0013	<0,00014	<0,0031	

- El pH de la fuente termal es 7.13, lo cual se considera básico.
- La temperatura promedio es de 66.64 C° en la superficie.
- EL contenido de 174 ppm de Ca (calcio) en Pasanacollo, se debe a la presencia de rocas calizas de la Formación Huancané que afloran en la parte adyacente E-SE de las emanaciones de las aguas termales de Pasanacollo.
- Los valores de 79.5 ppm de K (potasio), es producto de la disolución de las areniscas arcósicas de la Formación Vilquechico, que afloran al SE de la fuente termal.

- La presencia de Na (sodio) mayores a 250 ppm, se debe a la alteración de la plagioclasa sódica, quien aporta dicho elemento químico, del afloramiento del intrusivo dacítico, que está al SW.

### 3.2.2. FUENTE TERMAL DE ACORA.

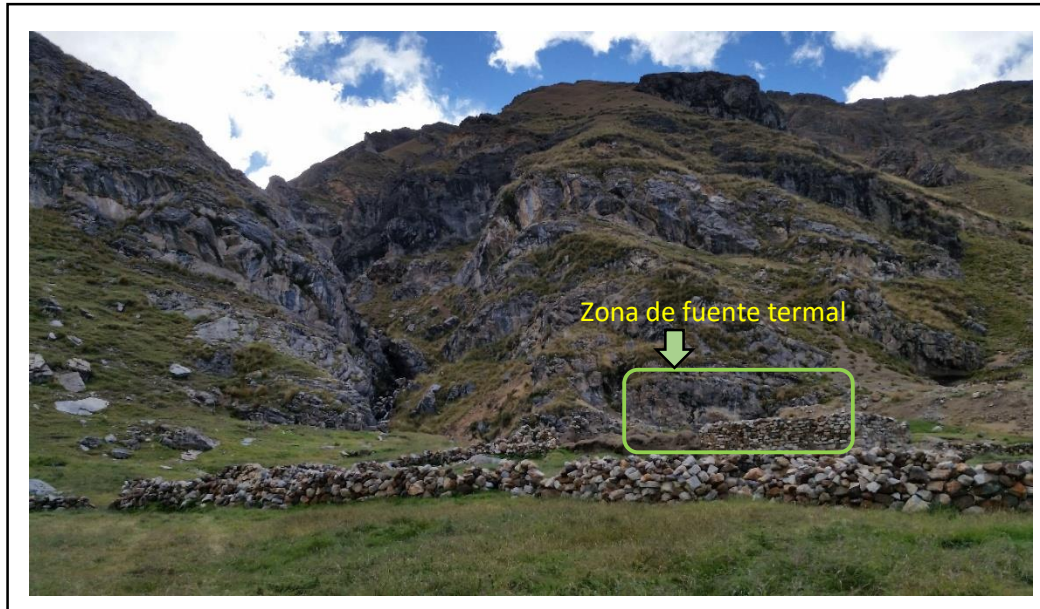


Figura 8. Aguas termales Acora

#### 3.2.2.1. Ubicación Geográfica.

Se encuentra en la comunidad campesina de Huaylluma, sector de Acora Ccomercocha, en el Distrito Macusani, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno. Se extiende en un área 32 m<sup>2</sup> aproximadamente. Presenta tres fuentes de agua. Al margen izquierdo de río Niñahuisa, aguas abajo (ver Anexo L-2).

Cuadro 4. Coordenadas de la fuente termal de Acora.

Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
Norte	Este	WGS-84	4666
8441622.43891	325006.480232		

#### 3.2.2.2. Accesibilidad.

Cuadro 5. Datos de accesibilidad Acora.

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)
Puno - Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Juliaca – Macusani	256	3.15 Hrs.	Carretera asfaltada
Macusani - Acora	51	1.05 Hrs.	Trocha carrozable

### 3.2.2.3. Clima, Flora y Fauna.

El clima es frígido y seco por encontrarse en la cordillera de Carabaya, la presencia de lluvias es poco frecuente, lo que predomina son los granizos con viento fríos en los meses de diciembre a mayo, las temperaturas están debajo los 0°C de junio a noviembre, el frío es intenso, por las noches llegan hasta los -10°C.

La vegetación está determinada por el ichu, en los bofedales se encuentra la chillihua.

La fauna típica lo constituyen los auquénidos como la llama y alpaca, cuyo recurso es importante la crianza de estos animales, para el sustento económico y alimenticio de las familias.

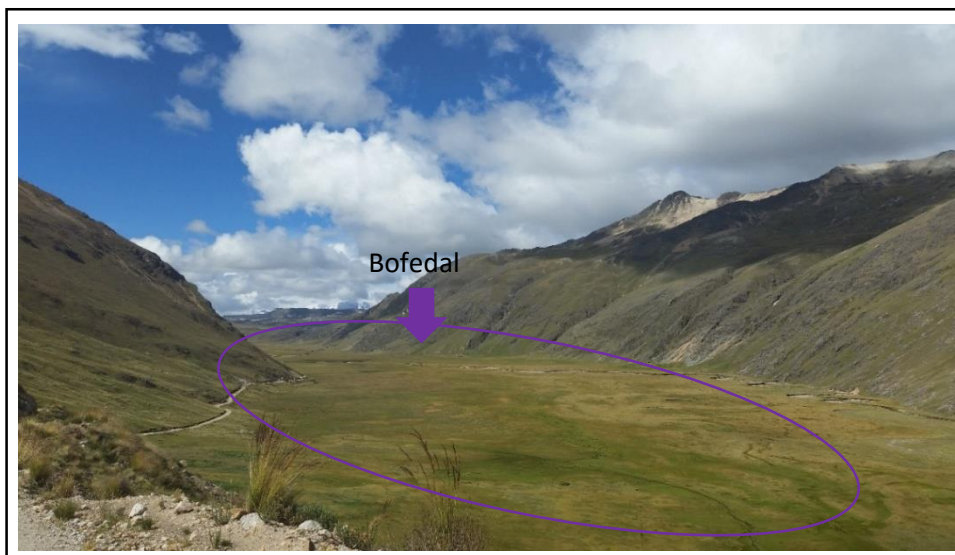


Figura 9. Vista a NE, bofedal y pastizales.

### 3.2.2.4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

En una secuencia estratigráfica de sobre escurrimiento de calizas del Grupo Copacabana del Pérmico Inferior al Grupo Mitu (areniscas arcósicas de grano medio a conglomeráticas, seguido por lavas

andesíticas porfíricas) del Pérmico Superior. Al margen S-W, del mismo afloramiento sobreyace un pórfido riolítico del Neógeno, lo cual origina que en el contacto con las calizas dieron origen al mármol que se aprecia en superficie junto a la fuente termal. Se presenta la estibina, en la fuente termal de Acora, cristalizada en forma radial con tamaños de hasta 3 cm de longitud y un espesor de 1 a 3 mm, de color gris metálico, así mismo pequeños cristales de 1cm en forma radial en un porcentaje de 1 a 10% englobado en rocas calizas marmolizadas de color blanco grisáceo, esta roca constituye un cuerpo. (Ver Anexo G-2).

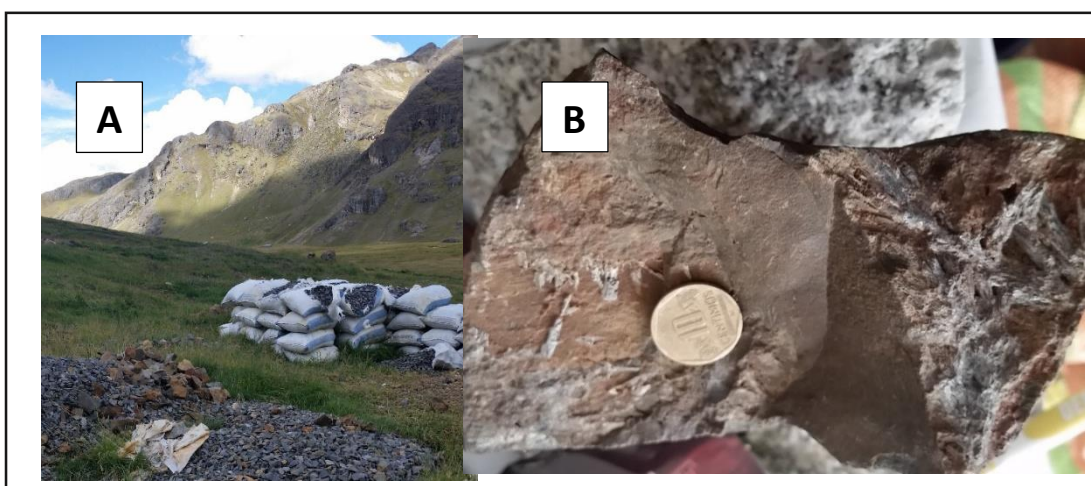


Figura 10. . A, Desmonte y sacos con mineral de estibina; B, Estibina cristalizada, empleada en caliza silicificada.

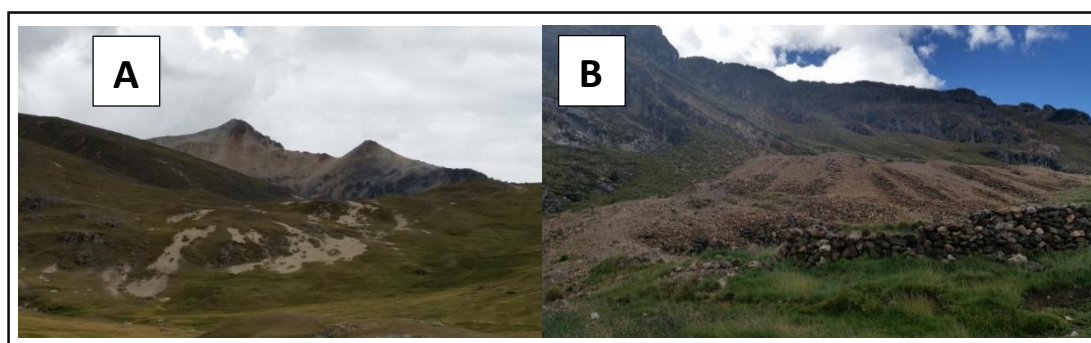


Figura 11. A, Domos volcánicas dacíticas; B, Relaves mineros.

### 3.2.2.5. Características Termales.

Cuadro 6. Resultados de análisis por ICP expresados en mg/l, Fuente Termal Acora.

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0,0024	<0,029	12.32	88.49	0.02637	0.001441	>250	<0,00028
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0,000094	<0,00039	<0,002	4.18	<0,00041	59.5	8.4043	99,41
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.

0.39302	<0,00132	>250	<0,00051	0.0619	0.0197	<0,00049	0.0428
SiO <sub>2</sub>	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
37.56	0.01751	8.283	0.00368	<0,0013	<0,00036	0.0143	

- El pH de la fuente termal es 7.03, lo cual es básico.
- La temperatura promedio es de 79.94 C° en la superficie.
- El B (boro), se presenta en zonas irregulares en rocas volcánicas alteradas, en las áreas adyacentes a la fuente termal de Acora se tiene estructuras mineralizadas de estibina con contenidos de elbaíta, de donde proviene dicho elemento.
- La presencia de Na (sodio) mayores a 250 ppm, se debe a la alteración de la plagioclasa sódica, quien aporta dicho elemento químico, del afloramiento del intrusivo dacítico, que está al oeste.

### 3.2.3. FUENTE TERMAL OLLACHEA.



Figura 12, Fuente termal Ollachea.

#### 3.2.3.1. Ubicación Geográfica.

Se encuentra en el Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, Presenta dos fuentes distintas en ambos márgenes del río San Gabán; la primera se ubica a 500m de la ciudad de

Ollachea, donde en la actualidad cuenta con infraestructura, prestando servicios como baños termales termo-medicinales, al público en general; la segunda de la cual se hizo el estudio se ubica a 800 m de Ollachea, en la zona se aprecia la emanación de dos fuentes pequeñas, al costado de la carretera interoceánica (ver Anexo L-3).

*Cuadro 7. Coordenadas de la fuente termal de Ollachea.*

Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>WGS-84</b>	2722
8473752	340532		

### 3.2.3.2. ACCESIBILIDAD.

*Cuadro 8. Datos de accesibilidad Ollachea-*

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)
Puno - Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Juliaca – Macusani	256	3.15 Hrs.	Carretera asfaltada
Macusani - Ollachea	56	1.20 Hrs.	Carretera asfaltada

### 3.2.3.3. Clima, Flora y Fauna.

- El clima es templado y húmedo con presencia de neblinas y lluvias copiosas entre diciembre a abril, las temperaturas que alcanzan los 20°C, en invierno la temperatura baja hasta los 6°C.
- Flora; se siembran productos como papa, maíz, trigo, cebada, árboles frutales como papaya, manzanos, tumbos, duraznos, rocoto y arboles como eucaliptos cipreses, pinos.
- En fauna se apreció a cóndores, águilas, cernícalos en el firmamento, auquénidos, ovinos, vacuno, porcino, aves de corral, cuyes.

### 3.2.3.4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

En Ollachea afloran pizarras con intercalaciones de lutita de la Formación Ananea, al S-W de Ollachea se encuentra el intrusivo de sienita nefelinica

se extiende hasta Macusani, es un plutón grande y peralcalino, a diferencia de los anteriores. Se presenta en varias fases: porfírica con grandes cristales de nefelina, microgranular con Biotita, afanítica y gnéisica. Se habría formado entre el Jurásico, junto al Grupo Muni. Posicionándose entre dos contactos, al norte con la Formación Sandía y al S-W con el intrusivo (ver Anexo G-3).



Figura 13. Vista de imagen satelital de Ollachea.

Se aprecia un geiser formado por carbonatos, aflora entre pizarras, con bastante presión y alta temperatura, con una altura de aproximadamente 1m de altura.



Figura 14, Geiser de Ollachea.



### 3.2.3.5. Características Termales.

*Cuadro 9, Resultados de análisis por ICP expresados en mg/L, Fuente Termal Ollachea.*

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0,0024	<0,029	1.76	21,51	0,06596	0,009922	53,0	<0,00011
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0,0000094	<0,00039	<0,002	0,132	<0,00041	78.9	15.449	5.820
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.
0,00503	0,00802	>250	<0,00051	0,0073	0,0361	0,14447	0,0339
SiO2	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
99.19	0.01287	4.711	0.00252	<0.0013	<0.00014	0.0087	

- El pH de la fuente termal es 9.48, lo cual es básico.
- La temperatura promedio es de 99.26 C° en la superficie.
- El potasio, elemento de origen muy similar al del sodio, que casi siempre lo acompaña, es resultante de la alteración de los feldespatos potásicos, al liberarse pasa a los sedimentos y al aguas en forma de cloruro, carbonato y sulfato. El potasio y el sodio, siempre se encuentran juntas en la superficie y disueltas en las aguas termales; hay mucho más sodio que potasio, debido a que los compuestos potásicos son retenidos por los coloides del suelo, mientras que el sodio permanece en disolución, esto debido al intercambio de iones que hacen las rocas silicatadas al estar descompuestas, soltando así a iones de sodio.
- La sílice de 99.19 mg/L, representa los procesos de hidrólisis de feldespatos y silicatos en general, por su Ph elevado es a consecuencia del hidróxido de sílice en el agua.

### 3.2.4. FUENTE TERMAL CUYO CUYO.



Figura 15. Fuente termal de Cuyo Cuyo.

#### 3.2.4.1. Ubicación Geográfica.

Se ubica a 2.8 Km al S-W de Cuyo Cuyo, capital del Distrito, Provincia de Sandía, Departamento de Puno. Conocido como Baños Termales Jathun Putina, aguas arriba del río Tambillo. Cada cierta distancia se evidencia brotes de aguas termales (ver Anexo L-4).

Cuadro 10. Coordenadas de la fuente termal de Cuyo Cuyo.

. Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
Norte	Este	WGS-84	3403
8398278.85107	440721.365411		

#### 3.2.4.2. Accesibilidad.

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)
Puno - Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Juliaca – Cuyo cuyo	209	4.20 Hrs.	Carretera asfaltada

Cuyo Cuyo – Aguas termales	01	0.15 Hrs.	Trocha carrosable
-------------------------------	----	-----------	-------------------

Tabla 4. Datos de accesibilidad Cuyo Cuyo- Fuente propia.

### 3.2.4.3. Clima, Flora y Fauna.

- El clima es templado a cálido, con presencia de lluvias en los meses de diciembre a marzo es intensa, a diferencia de los demás meses del año; las temperaturas varían de entre 12°C y los 18°C, presencia de neblina en las partes altas.
- En la flora lo más abundante es la siembre de variedades de papa, ichu en diferentes variedades, eucaliptos, pino, cipreses y plantas silvestres.
- Tiene una fauna variada como aves, la crianza de ganado vacunos, porcino, ovino caprino y en las partes altas auquénidos, alpacas, ovinos, llamas y vicuñas; así como , lagartos, culebras, variedades de insectos, etc.



Figura 16, Quebrada de Cuyo Cuyo..

### 3.2.4.4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

Cuyo Cuyo, presenta pizarras de la Formación Ananea, en una quebrada formada contactos geológicos con la Formación Sandia y fallas inversas. Cercanos a la fuente se tiene intrusivos del permiano superior, como el intrusivo compuesto por granito, que se encuentra al S-E y el intrusivo de Limbani, compuesto por granodiorita expuesta en el Grupo Mitu al N-W (ver Anexo G-4).

### 3.2.4.5. CARACTERÍSTICAS TERMALES.

*Cuadro 11, Resultados de análisis por ICP expresados en mg/L, fuente Termal CuyoCuyo.*

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0,0024	<0,029	<0,0012	4.121	0,11100	0,006232	30,3	<0,00011
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0,0000094	<0,00039	<0,002	0,017	<0,00041	19,4	3,4488	3,177
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.
0,09573	<0,00038	>250	<0,00051	0,0225	0,0234	<0,00049	0,0370
SiO2	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
55,14	0,01390	0,680	0,00153	<0,0013	<0,00014	0,0127	

- El pH de la fuente termal es 6.79, lo que representa un agua muy cerca a ser neutra (pH 7).
- La temperatura promedio en superficie es de 63.74 C°.
- La presencia de Na (sodio) mayores a 250 ppm, se debe a la meteorización de silicatos tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino, en que se presenta fundamentalmente como cloruro de sodio.

### 3.2.5. FUENTE TERMAL LORIPONGO.



Figura 17, Fuente termal de Loripongo.

#### 3.2.5.1. Ubicación Geográfica.

Se encuentra entre la ladera del cerro Loripongo y la carretera (interoceánica) a Moquegua, en el sector de Loripongo Torre Torrini, comunidad campesina de Sacuyo, Distrito de Pichacani, Provincia y Departamento de Puno. Cuenta con dos focos principales de donde emergen aguas termales, abasteciendo ambas a las 8 pozas individuales y una piscina, para uso recreativo. Comprende de un área aproximadamente de 304m<sup>2</sup> (ver Anexo L-5).

Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
Norte	Este	WGS-84	4090
8201120.7792	377950.8820		

Tabla 5. Coordenadas de la fuente termal de Loripongo.

#### 3.2.5.2. Accesibilidad.

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)
Puno - Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Puno - Loripongo	56	1.30Hrs.	Carretera asfaltada

Tabla 6- Datos de accesibilidad Loripongo

Fuente propia.

### 3.2.5.3. CLIMA, FLORA Y FAUNA.

- El clima es frígido y seco; y varia de meses lluviosos de Noviembre a Abril y secos de Mayo a Octubre, las temperaturas varían de 15°C a -8°C.
- La flora es netamente típico de la región Puna, con plantas que soportan temperaturas bajas, entre las que se tienen el ichu, chillihua y demás plantas de usadas como hiervas medicinales: salvia, quico, cedrón, muña, etc.
- La fauna está conformado por auquénidos (llama, alpacas), ganado ovino y vacuno.

### 3.2.5.4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

Al NW de la fuente termal aflora el Grupo Tacaza con rocas andesíticas de color pardo, y conjuntamente aflora el Grupo Maure, entre areniscas, lutitas y lavas andesíticas; la limonita, se encuentra como precipitados de la fuente, presenta un color amarillo intenso a rojo amarillento, en forma de costras sobre la roca alterada; la limonita y la jarosita son los minerales de óxido de hierro más abundantes en Loripongo con color amarillo pardo, en forma de parches o patinas. Al N-W aflora un stock entre el Grupo Tacaza, una intrusión sudvolcánica de composición pórfido microdiorítico (ver Anexo G-5).

### 3.2.5.5. Características Termales.

*Cuadro 12, Resultados de análisis por ICP expresados en mg/L, fuente Termal Loripongo.*

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0,0024	<0,029	0,0206	6.692	0,05506	0,000176	>250	0,00025
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0,0000094	<0,00039	<0,002	1,98	<0,00041	43,5	1,6616	36,39
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.
1,4214	0,00193	>250	<0,00051	0,0273	0,0092	<0,00049	0,0406
SiO <sub>2</sub>	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
25,78	0,01476	6.616	0,00377	<0,0013	<0,00014	0,0067	

- El pH de la fuente termal es casi neutro por ser de 6.86, muy cercano al pH 7 (neutro).
- La temperatura promedio en superficie es de 57.52 C°.
- La presencia mayor a 250 mg/L de calcio, en la fuente termal se debe a la presencia de rocas hipoabisales y volcánicas, presentan alteración de las plagioclasas y sobre todo anortita en las rocas sedimentarias adyacentes donde se tiene carbonato de calcio como calcita o aragonito.
- Las concentraciones de Fe (Hierro) de 1.98 mg/L, se debe que se encuentra en condiciones anóxicas en estratificaciones térmicas, el Fe en aguas subterráneas son superiores a las de aguas superficiales y casi siempre están en forma ferrosa, por su déficit de oxígeno.
- El Grupo Tacaza presenta venillas de calcita y dolomita, hasta 2 cm, que es la que permite la alta concentración de calcio mayores a 250 mg/L y concentraciones de magnesio con valores presentes de 36.39.

### 3.2.6. FUENTE TERMAL PUENTE BELLO.



Figura 18, Fuente termal Puente Bello.

#### 3.2.6.1. Ubicación Geográfica.

Puente Bello se ubica a las faldas del cerro Puente Collo, en el sector de la comunidad campesina de Titire, distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno, En la vía de la carretera (interoceánica) a Moquegua, sobre el río Titire (ver Anexo L-6).

Cuadro 13, Coordenadas de la fuente termal de Puente Bello.

Coordenadas		Sistema	Cota (msnm)
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>WGS-84</b>	4200
8169987	352638		

#### 3.2.6.2. Accesibilidad.

Cuadro 14, Datos de accesibilidad Puente Bello

RUTA O TRAMO	DISTANCIA KM	HRS. DE VIAJE	TIPO DE VÍA
Lima – Juliaca	1460	1.50 Hrs.	Aérea (avión)



Puno – Juliaca	44	0.45 Hrs.	Carretera asfaltada
Puno - Laraqueri	39	0.40 Hrs.	Carretera asfaltada
Laraqueri - Titire	61	1.30 Hrs.	Carretera asfaltada
Titire – Puente Bello	03	0.15 Hrs.	Carretera asfaltada

### 3.2.6.3. Clima, Flora y Fauna.

- El clima es frígido y seco, presenta dos periodos, en los meses de Mayo a Noviembre con temperatura de -10°C por las noches; y las estaciones lluviosas de Diciembre a Abril con precipitaciones de granizo y nevada, las temperaturas varían de 15°C a -8°C.
- La flora es netamente típico de la región Puna, con plantas entre las que se tienen el ichu, chillihua y algunas hierbas medicinales.
- La fauna está conformado por auquénidos (llamas, alpacas) y ovinos.

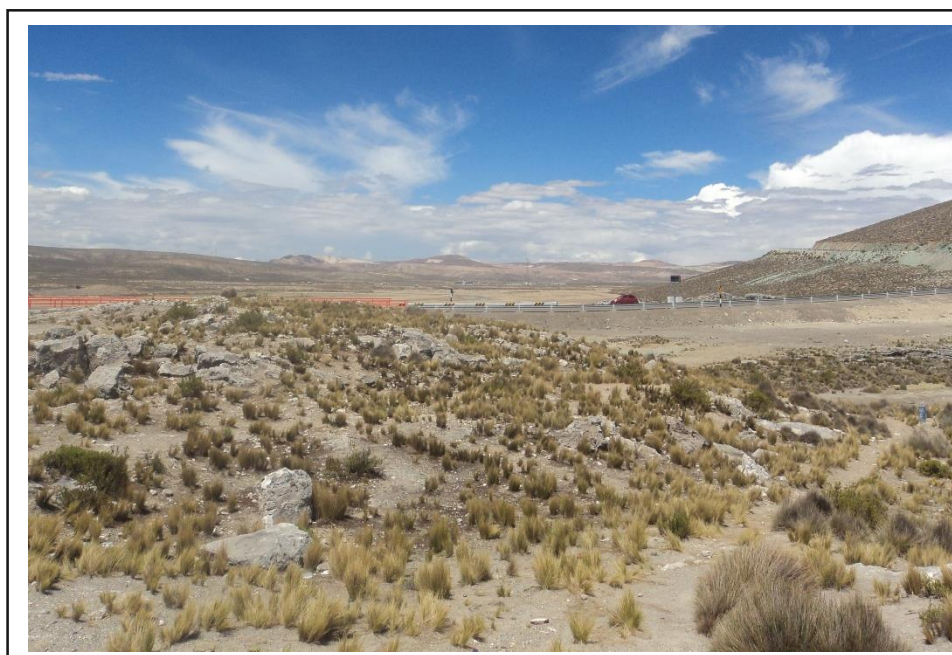


Figura 19, Vista al S-E, de Puente Bello.

### 3.2.6.4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

Las rocas que afloran en el Grupo Maure constituido de rocas volcánicas como tufos ácidos de color blanco grisáceo. Los geiseros que afloran se han formado en los últimos siglos, en estratos de espesores que van desde algunos centímetros a decímetros, en forma bandeada de color blanco a blanco amarillento, donde en algunas zonas se ven nódulos de

malaquita englobados en los geiseres. Al oeste de Puente Bello está presente el volcán Ubinas y al NW la caldera de Esquilache (ver Anexo G-5).



Figura 20, Geiserita con nódulos de malaquita.

#### 4. CARACTERÍSTICAS TERMALES.

Cuadro 15, Resultados de análisis por ICP expresados en mg/L fuente Termal Puente Bello.

Ag.	Al.	As.	B	Ba	Be	Ca.	Cd.
<0.0024	<0.029	2.201	64.19	0.0961	0.000625	247	<0.00011
Co.	Cr.	Cu.	Fe.	Hg.	K.	Li.	Mg.
<0.0000094	<0.00039	<0.002	0.016	<0.00041	185	10.126	47.92
Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sb.	Se.
0.98632	0.00176	>250	<0.00051	<0.0054	0.0164	0.00187	0.0083
SiO <sub>2</sub>	Sn.	Sr.	Ti.	Tl.	V.	Zn.	
42.38	0,00769	9.212	0,00365	<0,0013	<0,00014	0,0105	

- El pH de la fuente termal es básico con un valor de 8.15.
- La temperatura promedio en superficie es de 86.96 C°
- El B (boro), en cantidades de 64.19 mg/L, en la fuente termal procede de la alteración la elbaíta y de los gases volcánicos; proveniente de los volcanes cercanos, entre ellos el Ubinas.

- La presencia de Li (litio) 10.126 mg/L, se debe a la alteración de las rocas cuarzofeldespáticas y formando minerales independientes como en anfíboles y piroxenos.

### PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN DE PUNO ENERO-2016

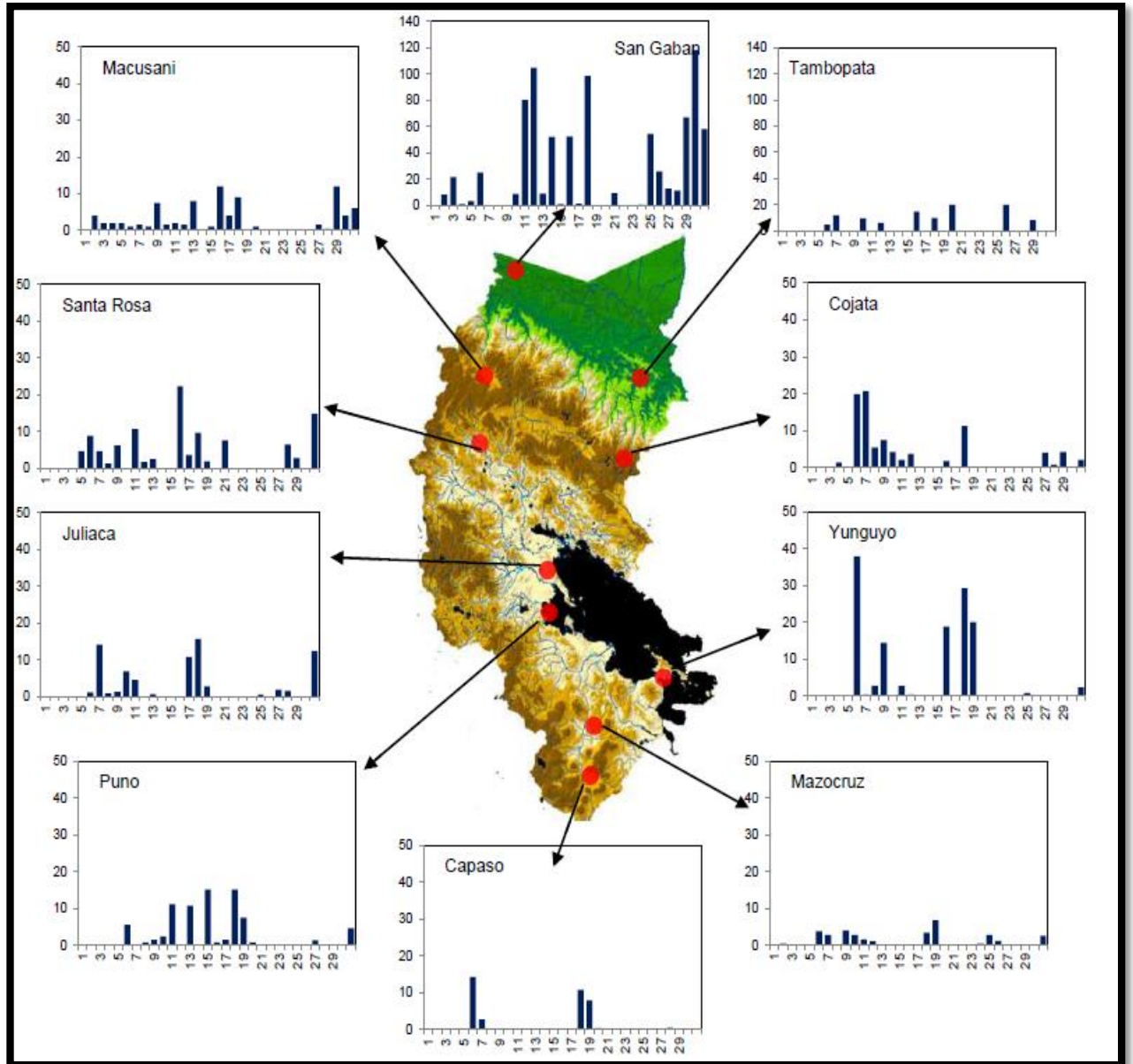


Figura 21, Precipitación enero 2016. ( SENAMHI Dirección Regional Puno).

## MONITOREO DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DIARIAS PARA ENERO 2016

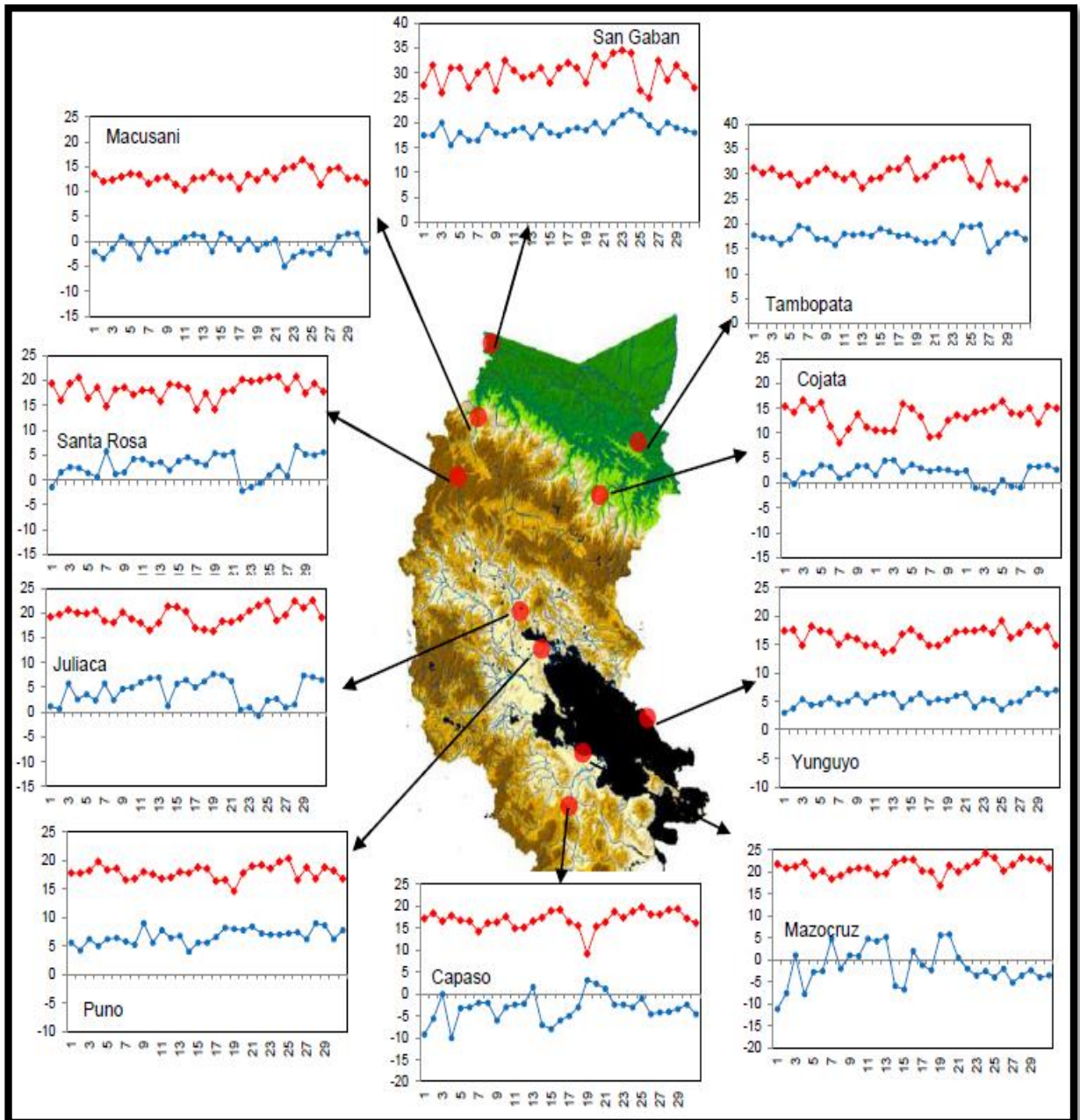


Figura 22. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DIARIAS PARA ENERO 2016. (SENAMHI Dirección Regional Puno.)

## **CAPITULO IV**

### **EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. CARACTERÍSTICAS GEOTERMALES.**

##### **4.1.1. TEMPERATURA.**

La temperatura de los fluidos geotermales, varían de acuerdo a la cercanía que se encuentre la fuente magmática; influyendo en ellos la temperatura del ambiente, cuando llega a la superficie; en dos casos de fuentes termales se presentaron en zonas de ceja de selva Ollachea y Cuyo Cuyo, las demás en zonas secas o gélidas, lo cual también influyen en ciertos grados (-10°C a 5°C) de la cordillera oriental en Pasanacollo y Acora, y en la cordillera occidental en Loripongo y Puente Bello,

En cada zona estudiada la temperatura tomada a las fuentes termales fueron con promedio de 10 min por el tiempo de cuarenta minutos, esto realizado con el termómetro digital modelo Vichi-DM6804A, con termocupla tipo K (-200 a 1250 °C); en diferentes meses para ver la variación del cambio de temperatura.

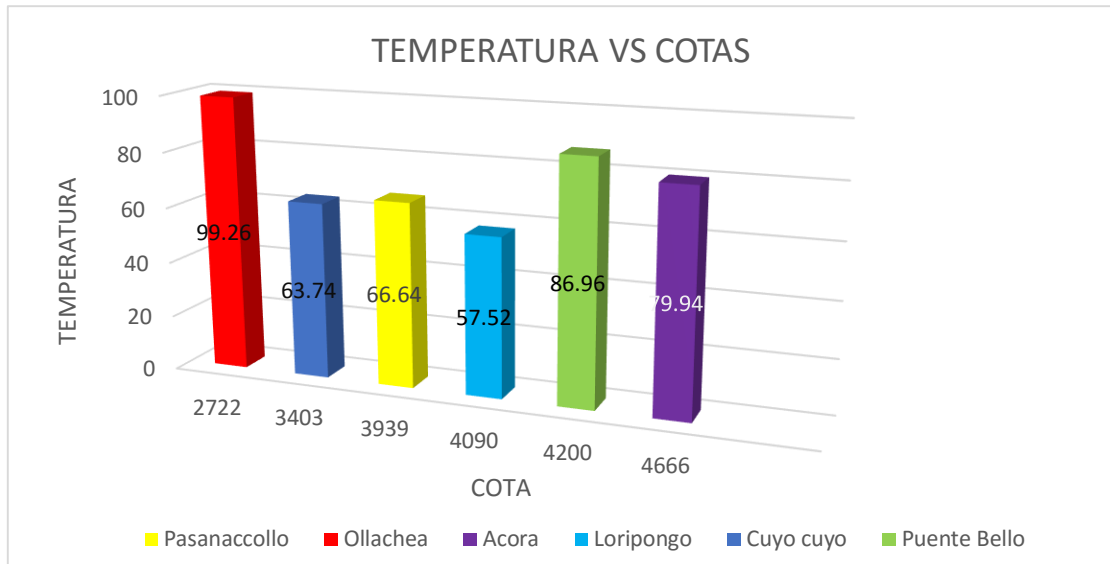


Figura 23. Temperaturas relacionadas a las cotas

En la siguiente tabla se muestra la variación de las temperaturas en los meses de enero, marzo y junio. La disminución muestra en promedio de 5°C en zonas gélidas y 2°C en zonas cálidas.



Figura 24, Toma de temperatura un situ.

CUADRO DE TEMPERATURA DE CADA FUENTE TERMAL												
Fuente Termal	MESES											
	Enero				Marzo				Junio			
	FECHA	°C		TIEMPO	FECHA	°C		TIEMPO	FECHA	°C		TIEMPO
		max.	min	Hrs.		max.	min	Hrs.		max.	min	Hrs.
Pasanacollo	13/01/2016	66.5	65.1	14:19	27/03/2016	67.9	67.3	12:03	24/06/2016	60	59.6	09:04
		63.5	61.9	14:29		68.2	67.7	12:13		58.9	58.5	09:14
		69.8	67.8	14:39		70.3	69.9	12:23		57.9	57.6	09:24
		68.1	65.1	14:49		73.8	73.2	12:33		55	54.7	09:34
		65.3	64.4	14:59		72.6	71.9	12:34		57.3	56.9	09:44
	<b>PROMEDIO</b>	<b>66.64</b>	<b>64.86</b>			<b>70.56</b>	<b>70</b>			<b>57.82</b>	<b>57.46</b>	
Acora	09/01/2016	64.2	64.1	15:17	12/03/2016	65.5	65.1	14:01	01/06/2016	60.1	59.6	14:17
		63.5	63.3	15:27		65.2	64.6	14:11		59.3	59	14:27
		63.5	63.2	15:37		65.3	65.1	14:21		59.1	58.3	14:37
		63.1	62.5	15:47		64	63.7	14:31		57.5	57.1	14:47
		64	63.8	15:57		64.1	63.8	14:41		57.8	57.3	14:57
	<b>PROMEDIO</b>	<b>63.66</b>	<b>63.38</b>			<b>64.82</b>	<b>64.46</b>			<b>58.76</b>	<b>58.26</b>	
Ollachea	24/01/2016	94.4	94.3	10:42	03/03/2016	93.5	93.1	13:54	16/06/2016	92.1	91.8	12:45
		95.6	95.3	10:52		94.8	94.3	14:04		92	91.6	12:55
		98.1	97.3	11:02		99.6	99.1	14:14		97.3	97	13:05
		99.8	99.7	11:12		98.9	98.6	14:24		98	97.9	13:15
		99.9	99.7	11:22		99.8	99.5	14:34		98.1	97.7	13:25
	<b>PROMEDIO</b>	<b>97.56</b>	<b>97.26</b>			<b>97.32</b>	<b>96.92</b>			<b>95.5</b>	<b>95.2</b>	

CUADRO DE TEMPERATURA DE CADA FUENTE TERMAL												
Fuente Termal	MESES											
	Enero				Marzo				Junio			
	FECHA	°C		TIEMPO	FECHA	°C		TIEMPO	FECHA	°C		TIEMPO
		max.	min	Hrs.		max.	min	Hrs.		max.	min	Hrs.
Cuyo Cuyo	04/01/2016	60.5	60.3	17:08	15/03/2016	69.3	68.8	10:52	20/06/2016	65.8	65.2	15:32
		63.8	63.5	17:18		67.4	67.2	11:02		65.2	64.8	15:42
		64.9	64.6	17:28		68.7	68.6	11:12		66	65.6	15:52
		64.5	64.1	17:38		67.9	67.5	11:22		64.9	64.5	16:02
		65	64.7	17:48		68.4	68.1	11:32		64.6	64.1	16:02
	<b>PROMEDIO</b>	<b>63.74</b>	<b>63.44</b>			<b>68.34</b>	<b>68.04</b>			<b>65.3</b>	<b>64.84</b>	
Loripongo	08/01/2016	56.4	56	16:24	19/03/2016	60.1	59.8	08:04	10/06/2016	55.2	54.8	09:56
		55.6	55.3	16:34		59.6	59.1	08:14		52.3	51.6	10:06
		58.9	58.2	16:44		59.9	59.6	08:24		54	53.3	10:16
		57.6	57.5	16:54		60.2	59.8	08:34		54.2	53.9	10:26
		59.1	58.7	17:04		60	59.7	08:44		54.1	53.7	10:36
	<b>PROMEDIO</b>	<b>57.52</b>	<b>57.14</b>			<b>59.96</b>	<b>59.6</b>			<b>53.96</b>	<b>53.46</b>	
Puente Bello	08/01/2016	82.4	81	11:13	19/03/2016	84.3	83.8	10:09	13/06/2016	80.3	79.6	15:07
		86.1	85.7	11:23		87.5	87.1	10:19		79.8	79.3	15:17
		87.5	87.1	11:33		87.8	87.1	10:29		82.1	81.5	15:27
		89.3	88.8	11:43		88.3	88.1	10:39		80.9	80.4	15:37
		89.5	89.1	11:53		89.1	88.9	10:49		81.1	80.8	15:47
	<b>PROMEDIO</b>	<b>86.96</b>	<b>86.34</b>			<b>87.4</b>	<b>87</b>			<b>80.84</b>	<b>80.32</b>	



#### **4.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.**

La composición química de la fuente termal depende de la composición química de la roca y de la fuente magmática, donde adquiere en el contacto diferentes minerales tras su recorrido.

Según Arnórsson et al.(2007), clasifica en dos categorías a los fluidos geotermales, en fluidos primarios y fluidos secundarios; basados en la diferenciación química y la presencia predominante de algún elemento en el fluido.

##### **4.1.2.1. Clasificación Geoquímica de Fluidos Geotermales.**

Los fluidos primarios son principalmente de tipo clorurado, sulfato-ácido y salmueras híper-salinas. A medida que estos fluidos primarios ascienden hacia la superficie, sufren procesos de separación y mezcla que dan origen a fluidos secundarios. Los cambios más importantes que ocurren en estos fluidos son (Arnórsson, et al., 2007).

1. Flasheo: generación de una fase líquida y otra gaseosa, por efectos de descompresión en el ascenso.
2. Separación de fases en un fluido salino, generando una salmuera híper-salina y vapor diluido.
3. Condensación del vapor al contacto con aguas subterráneas o superficiales para producir aguas sulfato-ácidas o aguas bicarbonatadas ricas en sodio o dióxido de carbono.
4. Mezcla de dióxido de carbono proveniente de fuentes profundas con aguas termales.
5. Mezcla de fluidos termales con aguas superficiales de baja temperatura.

El pH tomado de cada fuente termal se hizo in situ, como también se tomaron nuevamente en laboratorio, conjuntamente con el análisis de las muestras.

Cuadro 16, Clasificación de los fluidos geotermales.

		Pasanacollo	Acora	Ollachea	Cuyo Cuyo	Loripongo	Puente bello
Fluidos primarios	Aguas Cloruradas					X	X
	Aguas Sulfato-ácidas						
	Salmueras						
Fluidos secundarios	Aguas sulfato-ácidas vapor calentadas						
	Aguas carbonatadas	X				X	X
	Aguas Mezcladas		X	X	X		

### 4.1.3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Cuadro 17, Resultados de análisis de ICP.

N°	ELEMENTO	UNIDAD	PUENTE BELLO	LORIPONGO	OLLACHEA	PASSANACCOLLO	CUYO CUYO	ACORA
1	Ag.	mg/L	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024
2	Al.	mg/L	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029
3	As.	mg/L	2.201	0,0206	1,760	0,8852	<0,0012	12.32
4	B	mg/L	64.19	6,692	21,51	22,87	4,121	88.49
5	Ba	mg/L	0.0961	0,05506	0,06596	0,02681	0,11100	0.02637
6	Be	mg/L	0.000625	0,000176	0,009922	0,000838	0,006232	0.001441
7	Ca.	mg/L	247	>250	53,0	174	30,3	>250
8	Cd.	mg/L	<0.00011	0,00025	<0,00011	<0,00011	<0,00011	<0,00028
9	Co.	mg/L	<0,000094	<0,000094	<0,000094	<0,000094	<0,000094	<0,000094
10	Cr.	mg/L	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039	<0,00039
11	Cu.	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
12	Fe.	mg/L	0,016	1,98	0,132	1,18	0,017	4.18
13	Hg.	mg/L	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041	<0,00041
14	K.	mg/L	185	43,5	78,9	79,5	19,4	59.5
15	Li.	mg/L	10.126	1.6616	15.449	4.6829	3.4488	8.4043
16	Mg.	mg/L	47.92	36,39	5,820	27.28	3.177	99,41
17	Mn.	mg/L	0,98632	1,4214	0,00503	0,09135	0,09573	0.39302
18	Mo.	mg/L	0,00176	0,00193	0,00802	0,01570	<0,00038	<0,00132
19	Na.	mg/L	>250	>250	>250	>250	>250	>250
20	Ni.	mg/L	<0,00051	<0,00051	<0,00051	<0,00051	<0,00051	<0,00051
21	P.	mg/L	<0,0054	0,0273	0,0073	0,0430	0,0225	0.0619
22	Pb.	mg/L	0,0164	0,0092	0,0361	0,0190	0,0234	0.0197
23	Sb.	mg/L	0,00187	<0,00049	0,14447	0,01786	<0,00049	<0,00049
24	Se.	mg/L	0,0083	0,0406	0,0339	0,0329	0,0370	0.0428
25	SiO2	mg/L	42,38	25,78	99,19	44,85	55,14	37.56
26	Sn.	mg/L	0,00769	0,01476	0,01287	0,00903	0,01390	0.01751
27	Sr.	mg/L	9,212	6,616	4,711	4,913	0,680	8.283
28	Ti.	mg/L	0,00365	0,00377	0,00252	0,00376	0,00153	0.00368
29	Tl.	mg/L	<0,0013	<0,0013	<0,0013	<0,0013	<0,0013	<0,0013
30	V.	mg/L	<0,00014	<0,00014	<0,00014	<0,00014	<0,00014	<0,00036
31	Zn.	mg/L	0,0105	0,0067	0,0087	<0,0031	0,0127	0.0143

Los minerales calco alcalinos, en las fuentes termales están con valores altos en Puente Bello, Loripongo, Pasanacollo y Acora, y son bajos en Ollachea y Cuyo Cuyo, a excepción del sodio que son mayores a 250 mg/L. El litio es el elemento más abundante en Ollachea, esto debido a la presencia magmática, por encontrarse adyacente al yacimiento aurífero Kori Kullo.

La presencia de cloro es sumamente alta, lo que indica el fuerte contenido de sales, los que nos hace pensar que estas aguas provienen de la fuente magmática.

### VARIACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS

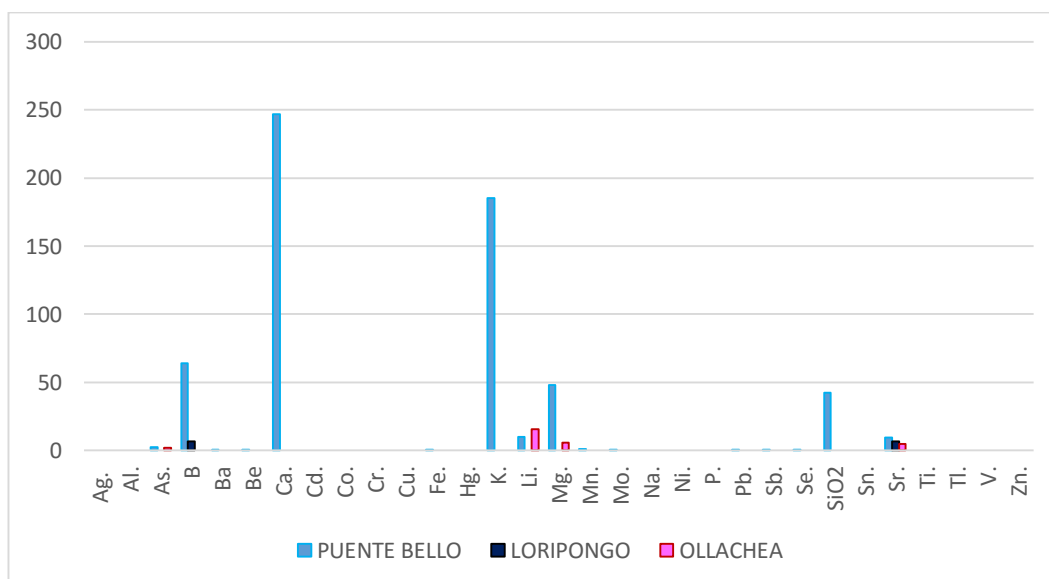
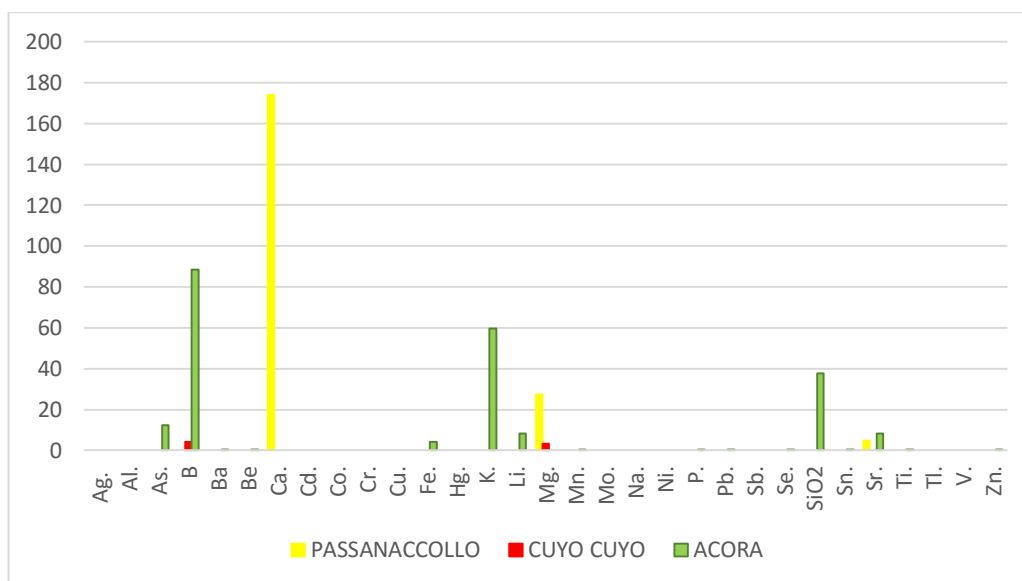


Figura 25. Variación según la cantidad de elementos existentes en los fluidos termales.

#### 4.1.3.2. Resultados de las Características Físico – Químicos:

##### a) Agua Termal Pasanacollo.

Tabla 7. Parametros analizados en el laboratorio de la FIQIM-UNA PUNO.

Parámetros	Valor	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno	7.13	pH	Potenciométrico
Salinidad	4.40	O/00	Conductimétrico
Dureza Total como $\text{CaCO}_3$	1852.80	mg/L	Volumétrico/EDTA
Alcalinidad como $\text{CaCO}_3$	1825.12	mg/L	Volumétrico/Heliantina
Cloruros como $\text{Cl}^-$	998.90	mg/L	Volumétrico/MOHR
Sulfatos como $\text{SO}_4^{2-}$	183.26	mg/L	Colorimétrico
Calcio como $\text{Ca}^{++}$	264.36	mg/L	Volumétrico/Murexída
Magnesio como $\text{Mg}^{++}$	234.97	mg/L	Volumétrico/EDTA-Murexída
Sólidos Disueltos Totales		mg/L	Colorimétrico
Turbidez	25	NTU	Colorimétrico



Figura 26, Vista al NE, emanación de aguas termales.

## b) Agua Termal Loripongo



Figura 27, Toma de muestra de agua, Loripongo.

Tabla 8, Parámetros analizados en el laboratorio de la FIQIM UNA PUNO

Parámetros	Valor	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno	6.86	pH	Potenciométrico
Salinidad	2.90	0/00	Conductimétrico
Dureza Total como $\text{CaCO}_3$	1131.20	mg/L	Volumétrico/EDTA
Alcalinidad como $\text{CaCO}_3$	1466.44	mg/L	Volumétrico/Heliantina
Cloruros como $\text{Cl}^-$	1397.90	mg/L	Volumétrico/MOHR
Sulfatos como $\text{SO}_4^{2-}$	154.92	mg/L	Colorimétrico
Calcio como $\text{Ca}^{++}$	269.76	mg/L	Volumétrico/Murexída
Magnesio como $\text{Mg}^{++}$	112.76	mg/L	Volumétrico/EDTA-Murexída
Sólidos Disueltos Totales		mg/L	Colorimétrico
Turbidez	38	NTU	Colorimétrico

### c) Agua Termal Puente Bello



Figura 28, Toma de muestra de agua, Puente Bello.

Tabla 9, Parametros analizados en el laboratorio de la FIQIM UNA PUNO.

Parámetros	Valor	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno	8.15	pH986646535	Potenciométrico
Salinidad	5.60	0/00	Conductimétrico
Dureza Total como $\text{CaCO}_3$	1081.20	mg/L	Volumétrico/EDTA
Alcalinidad como $\text{CaCO}_3$	732.00	mg/L	Volumétrico/Heliantina
Cloruros como $\text{Cl}^-$	2995.50	mg/L	Volumétrico/MOHR
Sulfatos como $\text{SO}_4^-$	160.91	mg/L	Colorimétrico
Calcio como $\text{Ca}^{++}$	255.60	mg/L	Volumétrico/Murexída
Magnesio como $\text{Mg}^{++}$	109.15	mg/L	Volumétrico/EDTA-Murexída
Sólidos Disueltos Totales		mg/L	Colorimétrico
Turbidez	12	NTU	Colorimétrico

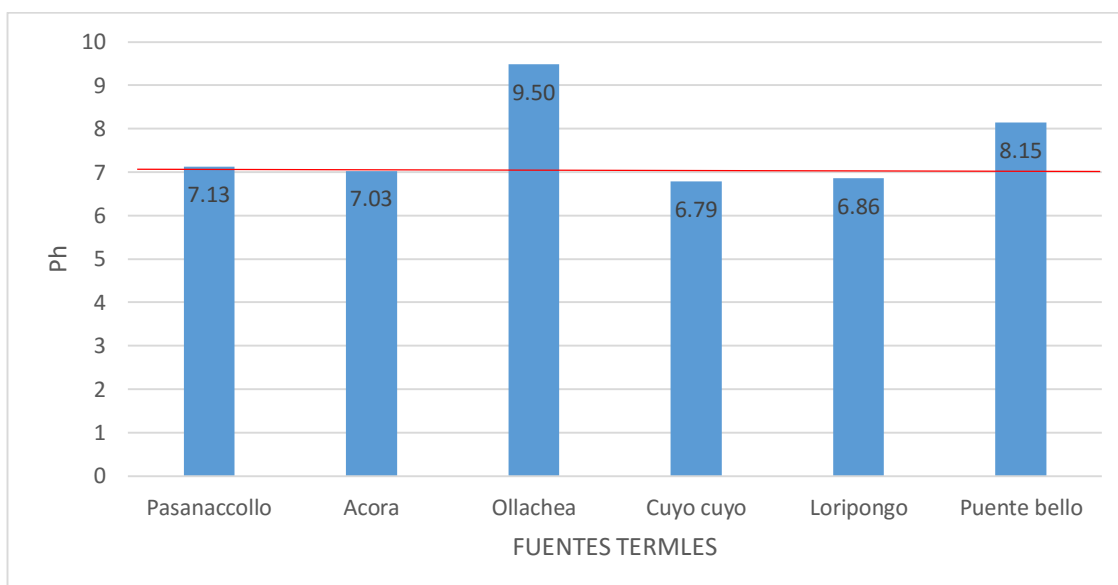
#### d) Agua Termal Ollachea.

Tabla 10. Parámetros analizados en el laboratorio de la FIQIM UNA PUNO.

Parámetros	Valor	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno	9.48	pH	Potenciométrico
Salinidad	0.60	0/00	Conductimétrico
Dureza Total como CaCO <sub>3</sub>	21.80	mg/L	Volumétrico/EDTA
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	78.32	mg/L	Volumétrico/Heliantina
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	119.82	mg/L	Volumétrico/MOHR
Sulfatos como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	96.68	mg/L	Colorimétrico
Calcio como Ca <sup>++</sup>	4.28	mg/L	Volumétrico/Murexída
Magnesio como Mg <sup>++</sup>	2.69	mg/L	Volumétrico/EDTA-Murexída
Sólidos Disueltos Totales		mg/L	Colorimétrico
Turbidez	7	NTU	Colorimétrico

Variación del pH tomado en la misma fuente termal:

Tabla 11. Variación del potencial hídrico de las fuentes termales de estudio.



## 4.2. SÍLICE VS ENTALPIA:

### 4.2.1. GEOTERMÓMETRO DE SÍLICE:

El geotermómetro de sílice nos da a conocer las temperaturas en subsuperficie, ya que nos indica la última temperatura de equilibrio, debido a que la solubilidad de los minerales silíceos está controlada por la temperatura (Fournier, 1991). Esto se ve reflejado en un gráfico del logaritmo de la concentración de sílice versus temperatura, ya que en el rango de 20°C a 250°C las solubilidades se representan



como rectas. Bajo los 300°C las variaciones de presión a condiciones hidrostáticas tienen un efecto menor en la solubilidad del cuarzo y sílice amorfa.

Las bases de este geotermómetro están indicadas por la reacción que gobierna la disolución del ácido silícico:

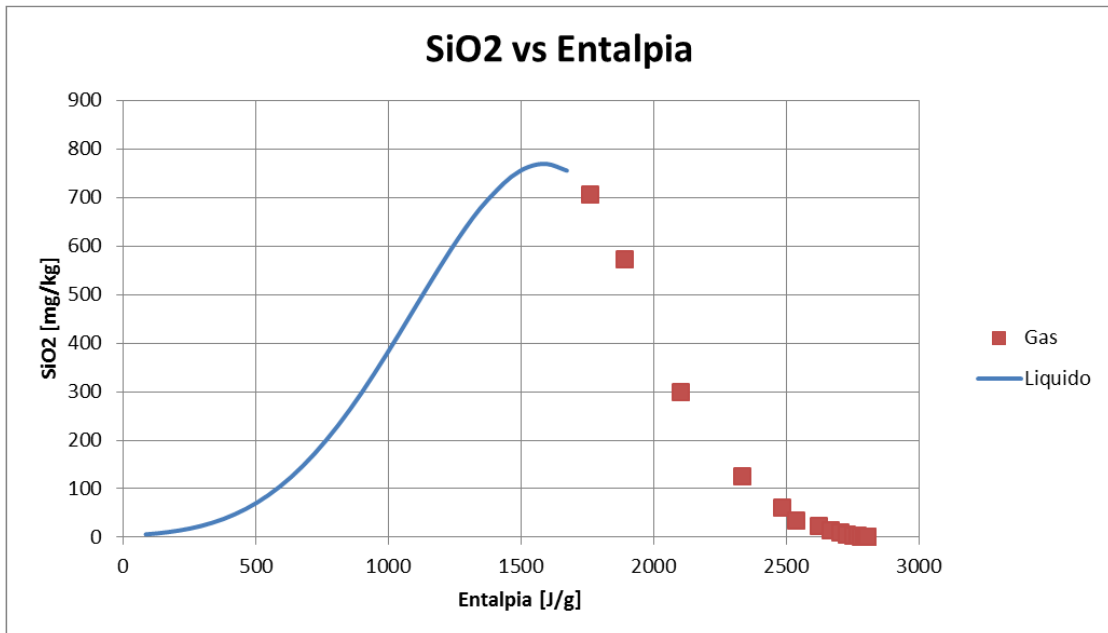


Figura 29. Grafico SiO2 VS Entalpia. (CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL SISTEMA GEOTERMAL TERMAS DE PUYEHUE – AGUAS CALIENTES, REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE RICARDO ANDRÉS CELIS ABARZÚA).

Fournier (1985), propone geotermómetros de sílice, con base empírica y/o teórica debido al estudio confiable que tiene, Verma & Santoyo (1997), corrige con un rango mucho menor de error de temperatura a diferencia de otros geotermómetros.

Se presenta las siguientes ecuaciones propuestas por Fournier (1985):

- Cuarzo sin pérdida de vapor:

$$T = \frac{1309}{5.19 - \log(S)} - 273.15$$

- Cuarzo con máxima pérdida:  
de vapor a 100°C:

$$T = \frac{1522}{5.75 - \log(S)} - 273.15$$

- Calcedonia:

$$T = \frac{1032}{4.69 - \log(S)} - 273.15$$

Ecuación propuesta con la corrección por Verma & Santoyo (1997):

$$T(C^\circ) = -44.119 + 0.24469 \times S - 1.7414 \times 10^{-4} \times S^2 + 71.305 \times \log(S)$$

Donde S es la concentración de sílice (SiO<sub>2</sub>) en mg/l (o ppm), la temperatura se calcula en grados Celsius (°C). Los parámetros de las ecuaciones fueron obtenidos de forma experimental por Fournier (1977, 1985) y por Verma & Santoyo (1997).

Fournier (1985) estableció que sobre los 180°C la solubilidad de sílice estará controlada principalmente por cuarzo; en el rango 120°-180°C, por calcedonia y que bajo los 120°C la fase sólida más estable era la sílice amorfa. En algunos casos la solubilidad de sílice puede ser controlada por vidrio siguiendo una relación de temperatura similar a la de sílice amorfa. Fournier (1985) además notó que la cinética de reacción de sílice amorfa era relativamente rápida en comparación a la del cuarzo y calcedonia. Por lo tanto, los manantiales calientes en equilibrio con sínter silíceos (compuestos esencialmente de sílice amorfa) raramente preservarán concentraciones de SiO<sub>2</sub>>350 ppm, imponiendo un límite superior de 220°C para el geotermómetro de cuarzo.

Puesto que el SiO<sub>2</sub> tiene un comportamiento no volátil en el rango de temperatura geotérmico (<350°C), un evento de pérdida de vapor provocará un aumento en su concentración, arrojando temperaturas aparentes más altas. La ecuación III.5 está destinada a corregir dicho efecto en manantiales en ebullición. Al contrario de la ebullición, la mezcla de aguas termales con aguas meteóricas provocará una

disminución de la concentración de SiO<sub>2</sub>, potenciando la subestimación de temperaturas de subsuperficie. Los efectos ebullición y dilución pueden superponerse en los manantiales calientes, por lo que siempre es recomendable usar todas las ecuaciones. RICARDO ANDRÉS CELIS ABARZÚA (Mayo-2012), CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL SISTEMA

GEOTERMAL TERMAS DE PUYEHUE – AGUAS CALIENTES, REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE.

Cuadro 18, Resultados de las ecuaciones de acuerdo al contenido de sílice.

Fuente Termal	SiO <sub>2</sub> – mg/l	Cuarzo sin pérdida de vapor:	Cuarzo con máxima pérdida: de vapor a 100°C	Calcedonia:	Verma & Santoyo (1997)
Pasanacollo	44.85	96.81	98.23	66.52	84.28
Acora	37.56	95.3	97.15	65.28	83.11
Ollachea	99.19	136.74	132.33	109.99	120.79
Cuyo Cuyo	55.14	106.43	106.54	76.85	93.01
Loripongo	25.78	73.26	77.64	41.61	62.70
Puente bello	42.38	94.25	96.01	63.79	81.96

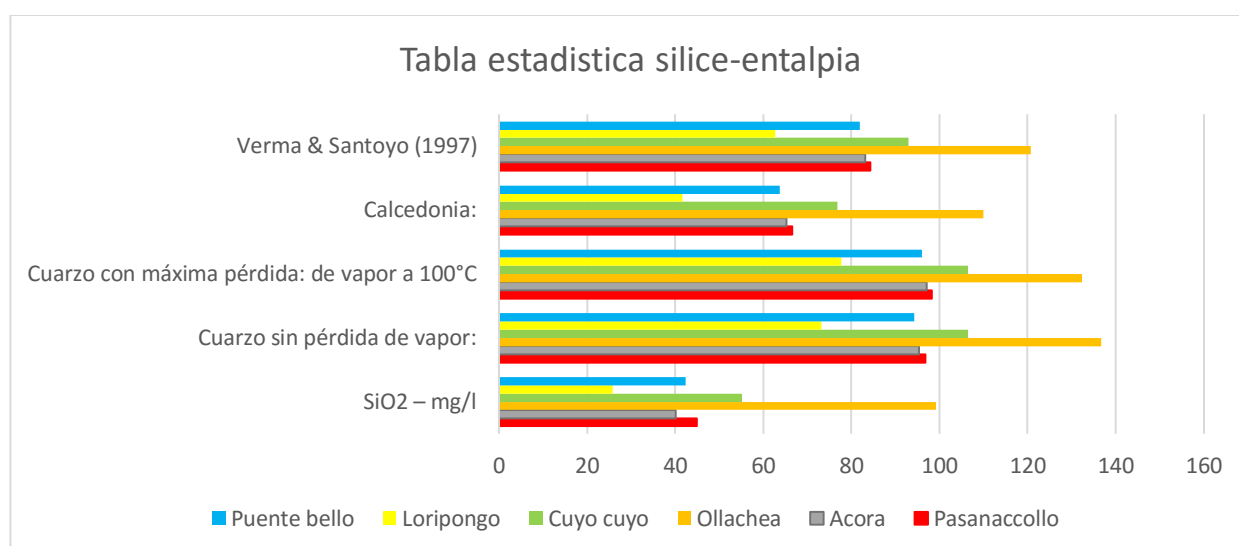


Figura 30. Comparación de los resultados de sílice.

#### 4.3. EXPLOTACIÓN DEL RECURSO GEOENERGÉTICO:

Con el estudio realizado, de las seis fuentes termales, las que se encuentran en un buen yacimiento geotérmico, se considera a las fuentes termales de Ollachea y Cuyo Cuyo por tener un alto contenido de sílice y temperatura, lo cual, se caracterizan como recursos geoenergéticos de gran importancia y valor, para su aprovechamiento.

La gradiente geotérmico de la Tierra es de 0.03°C/metro, esto a una temperatura normal de superficie, variando de 0 °C a 35 °C. Para las temperaturas anómalas que se presentan en zonas volcánicas, geiser, fumarolas y solfataras, el conocimiento de la geología, altitud a la que se encuentran y la temperatura, de las fuentes termales de Ollachea y Cuyo Cuyo, permitieron plantear la siguiente ecuación teórica para calcular el grado geotérmico de fuentes termales, siendo esto aplicable cuando el contenido de sílice sea mayor a 0.45mg/l:

Ecuación.....I

$$\Delta A_{(m)} = Ca - Cb$$

Donde la  $\Delta A_{(m)}$ , es la variación de la altura, expresada en metros;  $Ca$  es la cota de la primera fuente termal;  $Cb$  es la cota de la segunda fuente termal.

Ecuación...II

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = Ta - Tb$$

Donde la  $\Delta T_{(^{\circ}C)}$ , es la variación de la temperatura, expresada en grados centígrados;  $Ta$  es la temperatura de la primera fuente termal;  $Tb$  es la temperatura de la segunda fuente termal.

Combinando las dos ecuaciones tenemos:

$$K = \frac{\Delta A}{\Delta T}$$

Ejemplo aplicativo para el caso de la fuente termal de Ollachea y Cuyo Cuyo, por presentar temperaturas altas y el contenido de sílice mayor a 0.45mg/l:

$$\Delta A_{(m)} = 3403m - 2722m$$

$$\Delta A_{(m)} = 681m$$

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = 99.26^{\circ}C - 63.94^{\circ}C$$

$$\Delta T_{(^{\circ}C)} = 35.32^{\circ}C$$

$$K = \frac{681m}{35.32^{\circ}C}$$

$$K = 19.28 m/^{\circ}C$$

La constante  $K$ , es equivalente a que cada 19.28 m aumenta 1°C de temperatura, como resultado de la Ecuación I y Ecuación II, lo cual permite conocer el gradiente geotérmico en la región de Puno, para fuentes termales.

#### 4.3.1. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD:

La generación de energía eléctrica, mediante yacimientos geotérmicos de mediana entalpia de Ollachea y Cuyo Cuyo; y baja entalpia de Pasanacollo, Acora, Puente Bello y Loricongo. Utilizando tecnología convencional de plantas de ciclo binario, se ve como resultado lo más aceptable, para la generación de energía eléctrica.

Cuadro 19, clasificación de uso de las fuentes termales.

Fuente termal	Generación de energía eléctrica		Uso de calor directo	
	Planta ciclo binario	Plantas híbridos	calefacción	baños termales,
Pasanacollo		X	X	X
Acora		X	X	X
Ollachea	X		X	X
Cuyo Cuyo	X		X	X
Loricongo		X	X	X
Puente Bello		X	X	X

En la siguiente tabla se refleja el tipo, potencia y producción para cada tipo de centrales convencionales.

Tabla 12, Producción y potencia instalada de centrales geotérmicas de generación de energía eléctrica. ( Bertani, R. *Geothermal Power Generation in the World. 2005–2010 Update Report* Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia)).

Tipo	N° UNIDADES	Capacidad instalada		Producción media (GWh/unidad)
		Total (MWe)	Medi (MWe/unidad)	
Sin condensación	25	145	6	96
Ciclo binario	236	1.178	5	27
Flash	141	4.421	31	199
Doble flash	61	2.092	34	236
Vapor seco	62	2.878	46	260

#### 4.3.2. PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN:

De acuerdo a la constante **K**, que cada 19.28 m de profundidad, aumenta 1 °C; se calcula la profundidad de la perforación para las fuentes termales en la siguiente tabla:

Aplicación de la constante K, para la fuente termal de Ollachea:

Temperatura de superficie: 99.27 °C.

$$T_r = 150^{\circ}C - 99.27^{\circ}C$$

$$T_r = 50.73^{\circ}C$$

$$Pp = \frac{K \times T_r}{1^{\circ}C}$$

$$Pp = \frac{19.28 \text{ m} \times 50.73^{\circ}C}{1^{\circ}C}$$

$$Pp = 978.0744 \text{ m.}$$

Donde  $T_r$ , es la temperatura requerida;  $Pp$ , es la profundidad de perforación.

*Cuadro 20, Profundidad de perforación.*

Fuente termal	Temperatura en superficie	Para una temperatura de 150°C	Para una temperatura de 180°C	Profundidad de perforación (m)
Ollachea	99.27	978.0744	1556.4744	
Cuyo Cuyo	63.74	1663.0928	2241.4929	

## CONCLUSIONES:

- Como producto de los resultados obtenidos de laboratorio y de campo se pudo determinar por el geotermómetro de sílice vs entalpia los tipos de yacimientos geotérmicos dándonos como resultado yacimientos de mediana entalpia así tenemos Ollachea y Cuyo Cuyo y baja entalpia como Pasanacollo, Acora, Loripongo y Puente Bello.
- Las fuentes termales de Ollachea y Cuyo Cuyo, son propicios para la generación de energía eléctrica, utilizando la tecnología del ciclo binario cerrado. Para las fuentes termales de Pasanacollo, Acora, Puente Bello y Loripongo, se podría utilizar generadores de ciclo híbridos.
- De la investigación realizada se concluyó con la propuesta de un nuevo geotermómetro, mediante una ecuación teórica que determina la temperatura de la fuente termal a profundidad, utilizando la temperatura de superficie, la litología, la sílice mayor a 0.45mg/l y la altitud a la que se encuentra.
- La caracterización geoenergética de las fuentes termales, llevaron a resultados óptimos para la generación de energías limpias, contribuyendo al desarrollo sostenible sin perjudicar al medio ambiente, abriéndonos las puertas al aprovechamiento del recurso renovable para la generación de electricidad, satisfaciendo así la demanda de energía eléctrica. La región de Puno presenta un buen potencial geoenergético, en sus diferentes manifestación de yacimientos geotérmicos vinculados a intrusivos, volcanes y fallas profundas aledaños a las fuentes termales.

## **RECOMENDACIONES:**

- Realizar estudios Geofísicos, con el fin de determinar la extensión del yacimiento geotérmico en especial Ollachea, Cuyo Cuyo y Puente Bello.
- Realizar taladros exploratorios a profundidades de más de 800 m, para encontrar aguas a temperatura mayor a 140°C en Ollachea, Cuyo Cuyo, y Puente Bello.
- 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.



## **BIBLIOGRAFÍA:**

- ABARZUA, R. A. (2012). Caracterización geoquímica del sistema geotermal termas de Puyehue-Aguas calientes, Región de Los Lagos, Chile. Santiago, Chile.
- AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA). (2012). Plan maestro para el desarrollo de la energía geotérmica en el Perú. Lima.
- ALFREDO, H. H. (2000). Aguas Termales y Minerales en el Sureste del Perú. Lima, Perú: INGEMMET.
- ARNÓRSSON, S., 1983. Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems. Implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics*, 12(2-3), pp. 119-128.
- ARNÓRSSON, S., STEFÁNSSON, A. & BJARNASON, J., 2007. Fluid-Fluid Interactions in geothermal systems. *Reviews in mineralogy & geochemistry*, Volumen 65, pp. 259-312.
- BERTANI, R., BROMLEY, C., GUTIÉRREZ-NEGRÍN, L., HUENGES, E., MURAOKA, H., RAGNARSSON, A., . . . ZUI, V. (2011). *Geothermal Energy*. New Zealand.
- BETEJTIN A. (1977), *Curso de Mineralogía*. Moscú.
- ERAIFEJ, N. (2006). *Gas Geochemistry and Isotopic Signatures in the deep Thermal waters in Jordan*. Jordan.
- FOURNIER, R., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, Volumen 5, pp. 41-50.
- FOURNIER, R. O. & TRUESDELL, A. H., 1974. Geochemical indicators of subsurface temperatures. Estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, pp. 263-270.
- GIGGENBACH, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), pp. 2749-2765.
- INGEMMET. (2014). *Caracterización y Evaluación del Potencial Geotérmico de la Región de Moquegua*. Lima, Perú.
- JAIMOVICH, O. (2007). *geotermia*. Buenos Aires, Argentina.
- JIMENEZ, A. H. (2009). *Plataforma E-Learning para el estudio de la energía geotérmica*. Madrid.
- LEÓN, C. A. (2013). *ENERGÍA GEOTÉRMICA: CONTEXTO*. Venezuela.

- LLOPIS TRILLO, G., & RODRIGO ANGULO, V. (2008). Guia de la energia geotermica. Madrid, España.
- MANZELLA, A. (2015). Geothermal Energy. Pisa, Italy.
- MBURU, M. (2008). Feasibility study on direct utilisation of energy from geothermal brine. A case study of Olkaria geothermal power plant, Kenya. UK.
- MBURU, M. (2009). Geothermal Energy Utilisation. Kenya.
- NEGREDO, A. M., FERNÁNDEZ, M., & JURADO, M. J. (2007). Determinación del flujo de calor a partir de sondeos petroleros en la Cuenca Catalano-Balear. Barcelona .
- PACHECO, A. C. (2014). Situacion de la energia geotermica en el Peru. Santiago.
- PEREZ, G. (1976). Acuíferos regionales en las altiplanicies del extremo sur de los Andes del Perú. Lima.
- RODRIGUEZ, V. V. (2011). Laenergia geotermica en el sur del pais. Tacna.
- ROJAS, D., & PAREDES, J. (2008). Compendio de Geologia General.
- SENAMHI-Direccion Regional Puno. (2016). Boletin hidrometereologico regional. Puno.
- VERMA, S. P. & SANTOYO, E., 1997. New improved equations for Na/K, Na/Li, and SiO<sub>2</sub> geothermometers by outlier detection and rejection. Journal of Volcanology and Geothermal Research, pp. 9-23.
- WISHART, D. N. (2015). Comparison of silica and cation geothermometers of bath hot springs, Jamaica WI. Australia.
- YOCK, A. (2009). Geotermmetry. El Salvador.
- ZAPATA, L. F. (2005). Diseño de una planta geotermica de generacion electrica de 50 Mw. Lima, Peru.

WED GRAFIA:

<http://www.monografias.com/trabajos93/generacion-energia-geotermica/generacion-energia-geotermica.shtml#losyacimia#ixzz4EOwTchsu>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa>.

<https://www.dirceturpuno.gob.pe> › Turismo.).

<https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_geot%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_geot%C3%A9rmica)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Entalpia>

<https:// Instituto Geológico y Minero de España>

[https:// es.wikipedia.org/wiki/Estibina\\_\(mineral\)](https:// es.wikipedia.org/wiki/Estibina_(mineral))

<http://www.energias.bienes.comunes.org/wp-content/uploads/2012/06/cuadro-entalpia>.

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

[https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel\\_fre%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Nivel_fre%C3%A1tico).

<https://www Geothermal Education Office>

# ***ANEXOS***

# ***ANEXOS PLANOS***

L-1	Lamina 1, plano topográfico de Acora
G-1	Geológico 1, plano geológico de Acora
L-2	Lamina 2, plano topográfico de Pasanacollo
G-2	Geológico 2, plano geológico de Pasanacollo
L-3	Lamina 3, plano topográfico de Ollachea
G-3	Geológico 3, plano geológico de Ollachea
L-4	Lamina 4, plano topográfico de Cuyo Cuyo
G-4	Geológico 4, plano geológico de Cuyo Cuyo
L-5	Lamina 5, plano topográfico de Loripongo
G-5	Geológico 5, plano geológico de Loripongo
L-6	Lamina 6, plano topográfico de Puente Bello
G-6	Geológico 6, plano geológico de Puente Bello