

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica**



**TESIS PROFESIONAL**  
**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE**  
**LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

**Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO.**

Asesor:

**ING. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA**

Cajamarca-Perú

-2021-

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento fraterno a mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por haber contribuido en mi formación profesional brindando las mejores enseñanzas tanto académicas como personales.

Agradezco al ingeniero Víctor Ausberto Arapa Vilca por asesorar la presente tesis, por su apoyo constante en cada etapa de trabajo. Así mismo a los ingenieros Víctor Vargas Rodríguez, Diana Pajuelo Aparicio, Orlando Bazán Santa Cruz por sus consejos y comentarios.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Augusto Ramos Lozano y Carmela Vigo Campos, a mi hija Jhuenn Ramos Sánchez y mis hermanas Edika Ramos Vigo y Nory Ramos Vigo.

## RESUMEN

La fuente termal Piñipata cuya manifestación en superficie son los manantiales termales se ubica en los Centros Poblados Tuco y Tallamac del distrito Bambamarca. El objetivo de la presente tesis es caracterizar la zona termal Piñipata mediante la identificación de fuentes termales y la dirección de esfuerzos mediante la recolección, procesamiento y análisis de datos. La estratigrafía local consta de Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat; cuyas rocas han sido afectadas por dos eventos tectónicos el primero mediante una falla inversa de dirección NO – SE, el segundo evento forma una falla sinistral inversa con dirección SO – NE. El área de recarga del sistema geotermal son las partes altas de la cuenca donde el agua meteórica se infiltra siguiendo el patrón de fracturas hasta el acuífero termal de la Formación Chimú siendo calentada en profundidad por el gradiente geotérmico, luego fluye hacia la superficie por medio de la falla sinistral inversa formando manantiales termales en la margen izquierda aguas abajo del río Llaucano. Se concluye que la zona termal Piñipata se caracteriza por tener a la Formación Chimú como acuífero, el agua termal en superficie se identifica por el olor a azufre, precipitados gelatinosos y oxidados sobre las rocas, su pH de 5.83- 6, la temperatura varía de 35.4 °C al norte hasta los 49.0 °C en el sur. Mediante análisis físico químico del agua basados en el Estándar de Calidad Ambiental se muestra altos valores de sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad eléctrica, Hierro, Cromo, Sulfato, Cobre, Nitrato y Aluminio.

**Palabras clave:** Sistema geotermal, tectónica, agua termal, conducción, surgencia.

## ABSTRACT

The Piñipata hot spring whose surface manifestation are the hot springs is located in the Tuco and Tallamac Populated Centers of the Bambamarca district. The objective of this thesis is to characterize the Piñipata thermal area by identifying thermal sources and directing efforts through data collection, processing and analysis. The local stratigraphy consists of the Chimu, Santa, Carhuaz and Farrat Formations; whose rocks have been affected by two tectonic events, the first through a reverse fault in a NW - SE direction, the second event forms a reverse sintral fault with a SW - NE direction. The recharge area of the geothermal system is the upper parts of the basin where meteoric water infiltrates following the pattern of fractures to the thermal aquifer of the Chimu Formation, being heated in depth by the geothermal gradient, then flows to the surface by means of the reverse sintral fault forming thermal springs on the left bank downstream of the Llaucano River. It is concluded that the Piñipata thermal zone is characterized by having the Chimu Formation as an aquifer, the thermal water on the surface is identified by the smell of sulfur, gelatinous and oxidized precipitates on the rocks, its pH of 5.83-6, the temperature varies from 35.4 ° C in the north to 49.0 ° C in the south. Through physical chemical analysis of the water based on the Environmental Quality Standard, high values of total dissolved solids, turbidity, electrical conductivity, Iron, Chromium, Sulfate, Copper, Nitrate and Aluminum.

**Keywords:** Geothermal system, tectonics, thermal water, conduction, upwelling.

## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE TABLA.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE FOTOS.....	ix
ABREVIATURAS.....	xi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.2.1 GEOTERMIA.....	5
2.2.2. SISTEMAS GEOTÉRMICOS .....	6
2.2.2.1. TIPOS DE SISTEMAS DOMINADOS POR CONVECCIÓN.....	7
2.2.2.2. TIPOS DE SISTEMAS DOMINADOS POR LA CONDUCCIÓN .....	11
2.2.3. MODELO CONCEPTUAL DE LOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS .....	14
2.2.4. RECURSOS GEOTÉRMICOS .....	15
2.2.5. CONTEXTO ACTUAL DE LA GEOTERMIA EN EL PERÚ .....	17
2.2.7. PRINCIPALES USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	18
2.2.8. UTILIZACIÓN ACTUAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS .....	19
2.2.8.1. Utilización Geotérmica a Nivel Mundial .....	19
2.2.8.2. Utilización Geotérmica en el Perú .....	19
2.2.9. ESTIMACIÓN Y EXPLORACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO.....	20
2.2.9.1 Objetivos de la Exploración .....	21
2.2.9.2 Metodología de Exploración Geotérmica.....	21
2.2.10. AGUAS TERMALES.....	25
2.2.10.1 Origen de las Aguas Termales .....	25
2.2.10.2. Mecanismos de Surgencia de las Aguas Termales.....	26
2.2.11. ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	28
2.1.11.1 Falla.....	28
2.1.11.2 Tipos De Falla .....	28
2.2.11.3. Indicadores Cinemáticos .....	29
2.2.11.5. Diaclasas.....	30
2.2.12 HIDROGEOLOGÍA .....	30
2.2.12.1 Clasificación de las Formaciones Geológicas según su.....	31

	<b>Pág.</b>
Comportamiento Hidrogeológico .....	31
2.2.12.2 Tipos De Acuíferos .....	31
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	32
CAPÍTULO III .....	34
MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
3.1 UBICACIÓN .....	34
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	34
3.1.2 UBICACIÓN POLÍTICA .....	34
3.1.3 ACCESIBILIDAD .....	34
3.2 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.3 PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	36
3.3.1 ETAPA PRE-CAMPO, REQUERIMIENTO BIBLIOGRÁFICO .....	36
3.3.2 ETAPA DE CAMPO.....	36
3.3.3 ETAPA POST CAMPO.....	36
3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN .....	37
3.4.1 INSTRUMENTOS DE CAMPO:.....	37
3.4.2 INSTRUMENTOS DE GABINETE:.....	37
3.4.3 TÉCNICAS .....	38
3.5 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	38
3.6 CONTROL Y CALIDAD DE DATOS.....	38
3.7. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	39
3.7.1 GEOMORFOLOGÍA .....	39
3.7.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	40
3.8. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA.....	45
3.8.3 Muestra de roca N° 02 .....	45
3.8.4 Muestra de roca N° 03 .....	46
3.8.4 Muestra de roca N° 04 .....	46
3.9 CONTEXTO GEOTERMAL .....	47
3.9.1 INVENTARIO DE MANATIALES .....	47
CAPÍTULO IV .....	51
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
4.1 CONTEXTO ESTRUCTURAL .....	51
4.1.1 Estación Estructural N°01.....	53
4.1.2 Estación Estructural N°02.....	54
4.1.3 Estación Estructural N°03.....	54
4.1.4 Estación Estructural N°04.....	55
4.1.5 Estación Estructural N°05.....	56
4.1.6. Estación Estructural N°06.....	57
4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59

	Pág.
CAPÍTULO V .....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
5.1 CONCLUSIONES .....	67
5.2 RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Sistemas Geotérmicos desarrollados en todo el mundo, agrupado por tipos de sistemas y regiones. ....	6
Tabla 2. Principales usos de la energía geotérmica.....	18
Tabla 3. Los métodos geofísicos utilizados para la exploración de sistemas geotermales.....	23
Tabla 4. Clasificación de agua termal con relación a su temperatura y pH.....	25
Tabla 5. Ubicación geográfica (DATUM WGS-84).....	34
Tabla 6. Tramos de acceso al área de estudio.....	35
Tabla 7. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°01.....	45
Tabla 8, Descripción y clasificación de la muestra de roca N°02.....	45
Tabla 9. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°03.....	46
Tabla 10. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°04.....	46
Tabla 11. Inventario de manantiales termales en Piñipata.....	48
Tabla 12. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N°01.....	53
Tabla 13. Ploteo de estrías de la estación estructural N°02 en software Faultkinwin 8.....	54
Tabla 14. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N° 03.....	55
Tabla 15. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N° 04.....	56

	<b>Pág.</b>
Tabla 16. Ploteo de estrías de la estación estructural N° 05 en software Faultkinwin 8.....	57
Tabla 17. Ploteo de estrías de la estación estructural N° 06 en software Faultkinwin 8.....	58
Tabla 18. Análisis físico químico de aguas termales.....	61

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Sistemas geotérmicos identificados en la tierra de acuerdo a la tectónica de placas (Gehring y Loksha,2012) .....	8
Figura 2. Esquema de sistema geotérmico con intrusión magmática activa o reciente (Moeck, 2014). .....	9
Figura 3. Sistema geotérmico controlado por magmático extinto sin vulcanismo asociado (Bertani et al., 2006). .....	10
Figura 4. Esquema de sistema de dominio extensivo (Faulds et al., 2012). ....	11
Figura 5. Modelo conceptual de cuenca sedimentaria intracratónica (Salley, 2000). .....	12
Figura 6. Sistema geotermal tipo Conductivo en zonas orogénicas. Estructura termal (isotermas rojas), agua infiltrada (flecha azul) (Moeck, 2014).....	13
Figura 7. Controles geológicos en temperatura de un sistema de basamento cristalino (Cuenot et al., 2008). .....	14
Figura 8. Representación esquemática del modelo de un sistema geotérmico de alta temperatura (Dickson y Fanelli, 2005).....	15
Figura 9. Ubicación mundial de los recursos geotérmicos a escala mundial (Muraoka 1998). .....	16
Figura 10. Capacidad geotérmica operativa global en MW (Jorquera, 2019). .....	19
Figura 11. Esquema del origen meteórico de aguas termales (Espejel, 2004).....	26
Figura 12. Tipos de falla ideales a) Normal; b) Inversa; c) de rumbo; d) Lítrica normal; e) cabalgamiento; f) Rotacional (Camargo, 2015).....	29

	<b>Pág.</b>
Figura 13. Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico y tipos de acuífero (Hiscock, 2005)...	32
Figura 14. Acceso terrestre para llegar a la ciudad de Bambamarca y a los centros poblados Tuco y Tallamac donde se desarrolla la investigación.....	35
Figura 15. Valor de Potencial de Hidrógeno (pH) comparado con el LMP del D.S.N° 004-2017-MINAM para el ECA de agua. ....	61
Figura 16. Valores de conductividad, Sólidos Totales Disueltos, turbidez y Sulfatos comparados con el LMP del D.S.N° 004-2017-MINAM para el ECA de agua. ....	62
Figura 17. Valores de Hierro, Cobre, Cromo, Nitrato comparado con el LMP del ECA de agua_ D.S.N° 004-2017-MINAM.....	63
Figura 18. Valores de Aluminio comparado con el LMP del ECA de agua_ D.S.N° 004-2017-MINAM. ....	64
Figura 19. Modelo esquemático de la zona geotermal Piñipata. ....	66

## **ÍNDICE DE FOTOS**

Foto 1. Cañón de Tallamac, formado en rocas areniscas de la Formación Farrat (Coordenadas UTM 779949 E, 9268290 N).....	39
Foto 2. Terraza fluvial a la margen izquierda aguas arriba del río Llaucano, donde se encuentra Piscinas termales el Bom - Bom. (Coordenadas UTM 780341 E, 9269178 N).....	40
Foto 3. Afloramientos de la Formación Chimú areniscas intercaladas con arcillitas grises y mantos de carbón (Coordenadas UTM 781978 E, 9271622 N).....	41
Foto 4. Intercalación de arcillitas y areniscas perteneciente a Formación Carhuaz (Coordenadas UTM 781282 E, 9269650 N).....	42
Foto 5. Contacto entre Formación Carhuaz y Formación Farrat (Coordenadas UTM 780 011 E, 9 268 075 N).....	43

	<b>Pág.</b>
Foto 6. Estratos de rocas areniscas pertenecientes a la Formación Farrat en el Cañón de Tallamac (Coordenadas UTM 779 801 E, 9 267 808 N).....	44
Foto 7. Terraza con sedimentos fluviales a margen derecha aguas arriba del río Llaucano (Coordenadas UTM 781 665 E, 9 270 350 N).....	44

## ABREVIATURAS

Al:	Aluminio
HCO <sub>3</sub> :	Bicarbonato
Cl:	Cloro
Cu:	Cobre
CD1:	Conducción de calor por convección
CV1:	Conducción de calor por convección
Cr6+:	Cromo Hexavalente
D.S.:	Decreto Supremo
DIRESA:	Dirección Regional de Salud
ECA:	Estandar de Calidad Ambiental
Fe:	Hierro
INGEMMET:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
LPM:	Límite Maximo Permisible
MINAM:	Ministerio del ambiente
NO <sub>3</sub> :	Nitrato
NE:	Noreste
NO:	Noroeste
pH:	Potencial de Hidrógeno
Na:	Sodio
STD:	Sólidos Totales Disueltos
SO <sub>4</sub> :	Sulfato
SE:	Sureste
SO:	Suroeste
UTM:	Universal Transversal de Mercator

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La energía geotérmica es una energía renovable usada en diversas actividades económicas como generación de electricidad, balneario, invernaderos, calefacción en hogares, entre otras. Es por eso que, los estudios geológicos en zonas geotérmicas son de gran importancia para conocer los factores geológicos que lo originan, tales como: el control estructural, la calidad de la roca y composición química del agua termal que aflora a superficie; y con ello entender cómo funciona un sistema geotérmico. Entre los Centros Poblados Tuco y Tallamac en el distrito de Bambamarca, se tiene la existencia de la fuente termal Piñipata, ubicada en la margen izquierda aguas abajo del río Llaucano, cuya manifestación en superficie se presenta en manantiales surgentes por medio de fracturas en rocas areniscas cuarzosas; la misma no cuenta con información geológica relevante, por lo cual se realiza la presente investigación para brindar aportes al conocimiento geológico mediante la descripción del sistema estructural, origen, litología y alteraciones de las rocas areniscas cuarzosas que albergan al acuífero mediante recolección directa de datos de campo los cuales serán procesados y analizados utilizando software geológico: ArcGIS 10.5, Dips v6 Faultkinwin 8. Así mismo, se utilizará el software AutoCAD 2018 para elaboración de perfiles geológicos. El problema planteado es ¿Cuáles son las características geológicas de la zona termal Piñipata entre los Centros Poblados Tuco y Tallamac - Bambamarca?, para responder a esta pregunta se tiene como objetivo principal: caracterizar la geología de la zona termal Piñipata ubicada entre los Centros Poblados Tuco y Tallamac – Bambamarca. Y como objetivos específicos: describir las características geológicas, identificar la dirección de esfuerzos en fallas y fracturas mediante toma de datos en las estaciones estructurales, identificar las surgencias de aguas termales. La hipótesis que comprobaremos es que la caracterización geológica de la zona termal Piñipata-

Bambamarca muestra la existencia de aguas termales subterráneas que afloran en la superficie formando manantiales termales; los factores geológicos predominantes que han apoyado a este proceso geológico son el control estructural, la permeabilidad y porosidad de las rocas areniscas cuarzosas que albergan a reservorio termal. Esta investigación se realiza con el fin de brindar un conocimiento sobre las características geológicas de la zona geotermal Piñipata - Bambamarca para mejorar la interpretación geológica de la misma aplicando teorías y métodos; dicha información estará disponible a profesionales, estudiantes, empresas privadas e instituciones públicas interesadas en desarrollar investigaciones y proyectos geotérmicos para el beneficio de la población bambamarquina. En el Capítulo II se presenta los antecedentes a nivel internacional, nacional y local del tema a investigar, las bases teóricas en la cual se fundamenta la investigación y la definición de términos básicos; en el Capítulo III se detalla los materiales y métodos empleados, siguiendo un estricto cronograma de trabajo en campo y gabinete donde se ha recopilado los datos que fundamentan la investigación, en el Capítulo IV se aborda el análisis y discusión de resultados a los cuales se han llegado del procesamiento de datos obtenidos en campo y en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones a los cuales se han llegado al finalizar la ejecución de la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Mejía (2012), en su estudio Análisis Estructural al Noreste del Volcán Nevado del Ruíz, Colombia - Aporte a la Exploración Geotérmica; concluye que las fallas con carácter distensivo permiten el paso de fluidos al igual que las fallas longitudinales, rocas con alto grado de fracturamiento y depósitos de lahar con alta porosidad.

Jolie et al (2015), en su estudio Quantitative structural–geological geothermal exploration of fault-controlled systems—A case study Province, from the Basin-and-Range Nevada (USA), sostiene que un estudio estructural y geomecánico, acompañado de un buen análisis estratigráfico y modelado en 3D ayuda a caracterizar un sistema geotermal permitiendo realizar predicción y visualización de los caminos por donde migra el fluido termal, ayudando de esa manera para el diseño de perforaciones estratégicas.

Townend J. et al (2017) Petrophysical, Geochemical, and Hydrological Evidence for Extensive Fracture-Mediated Fluid and Heat Transport in the Alpine Fault's Hanging-Wall Damage Zone, concluyen que mecánica e hidrogeológicamente la parte activa de la falla Alpina es una característica más dinámica y extensa que la descrita comúnmente en modelos basados en fallas inactivas.

##### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Vargas et al (2010), en su estudio titulado Geothermal Maps of Peru, sostiene que tanto en el norte y centro del Perú las manifestaciones geotérmicas de alta

temperatura son producto del gradiente geotérmico en el que el agua fluye a través de las fallas profundas, mientras que en la parte sur del país las manifestaciones geotérmicas están relacionadas al volcanismo activo.

Pajuelo et al. (2016), en su estudio Características geológicas de la zona geotérmica de Pinaya - Región Puno; concluye que los reservorios geotérmicos de Pinaya Jaraya circulan en rocas del Grupo Puno y Tacaza favorecidas por las condiciones tectónicas del área al encontrarse en una zona transtensiva.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

Huamaní (2000), en su estudio Aguas termales y minerales en el Norte del Perú. Establece que las aguas de la fuente termal Piñipata en Bambamarca se ubican en el sector III del registro nacional, y surge a través de manantiales en el Grupo Goyllarisquizga con una temperatura de 36 °C con un pH ligeramente ácido (5.9) y pertenecen a la familia de aguas cloruradas (785-816 mg/l de Cl).

Rumay (2017) en su tesis Caracterización hidrogeológica de las principales fuentes termales en el departamento de Cajamarca. Desarrolla el concepto de circulación profunda y concluye que las aguas de precipitación alcanzarían profundidades de 1500 - 3000 m, y por gradiente geotérmico aumentarían su temperatura, generando condiciones favorecedoras de su ascenso hacia la superficie a través de fracturas y fallas. Los reservorios termales estarían representados por el Grupo Pucará, Formación Chimú, Formación Farrat y Formación Cajamarca.

Peña (2017), en su investigación Modelo Hidrogeológico de las fuentes termales de Baños del Inca - Cajamarca. Sostiene que los elementos geológicos estructurales que condicionan las surgencias de las fuentes termales son la falla paralela al valle de dirección N-S y la intersección con el eje del anticlinal de Baños del Inca.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 GEOTERMIA**

Palabra de origen griego, que deriva de geos que quiere decir tierra, y thermos que significa calor: el calor de la Tierra. Se emplea para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos y técnicas utilizados para la exploración, evaluación y explotación de la energía geotérmica (IDEA-IGME, 2008).

La explotación comercial de la geotermia en la generación de electricidad inicio en 1913 en el campo geotérmico de Larderello (Italia). Al incrementar el costo de los combustibles fósiles en la década de los años 70 se le dio a la geotermia una importancia relevante, contribuyendo en parte a solucionar los requerimientos de energía de algunos países (Kagel y Gawell, 2005). En la actualidad, la energía geotérmica se considera como un recurso explotable económica y técnicamente, limpia, confiable y abundante, con posibilidades de usarse en una amplia variedad de aplicaciones como la generación de electricidad, calefacción, balneología, tratamientos medicinales, invernaderos, procesos industriales y de manufactura (Lund, 2010).

Para el estudio de la geotermia se utiliza los siguientes términos:

**Sistema geotérmico.** Se refiere a todas las partes del sistema hidrológico involucradas, incluida la zona de recarga, todas las partes del subsuelo y el flujo de salida del sistema (Saemundsson et al, 2011).

**Reservorio Geotérmico.** Indica la parte caliente y permeable de un sistema geotérmico que presenta las características adecuadas para ser directamente explotado (Saemundsson et al, 2011).

**Campo Geotérmico.** Área geográfica que presenta manifestaciones geotérmicas en la superficie de la tierra. En casos sin actividad superficial, este término puede usarse para indicar el área en la superficie correspondiente al reservorio geotérmico (Saemundsson et al, 2011).

## 2.2.2. SISTEMAS GEOTÉRMICOS

La división más amplia de los tipos de sistemas geotérmicos está determinada por el modo dominante con el que el calor se transfiere de la fuente de calor al reservorio por procesos de convección o conducción que son miembros finales de una continua transferencia de calor donde los intervalos conductivos siempre existen localizados en partes de un régimen convectivo, y a veces pueden existir intervalos convectivos menores dentro de sistemas conductores dependiendo de la estructura de porosidad y permeabilidad de las rocas (Rybach, 1981).

Cada tipo de sistema se encuentra dentro de un medio geológico, pero algunos posiblemente pueden tener características geológicas de más de un tipo de sistema, la tabla 1 muestra la agrupación de los sistemas geotérmicos desarrollados actualmente en tres principales categorías.

Tabla 1. Sistemas Geotérmicos desarrollados en todo el mundo, agrupado por tipos de sistemas y regiones.

Tipo de Sistema	Cinturón de Fuego		Europa y África
	América	Asia	
<b>Sistemas dominados por convección</b>			
<b>Sistema Magmático</b> Controles geológicos: intrusiones magmáticas, hidrotermalismo. Entorno geológico: campos volcánicos activos o extintos, fallas transformantes, puntos calientes.	46	57	36
<b>Sistema de Dominio Extensivo</b> Controles geológicos: fallas activas sin magmatismo, estratos altamente permeables. Entorno geológico: cuencas de antearco, fallas segmentadas, basamento metamórfico	21	4	11
<b>Sistemas dominados por conducción</b>			
Controles geológicos: fallas, fracturas, Configuraciones geológicas: cuencas sedimentarias, cinturones orogénicos.	0	2	10

Fuente: Tomado de Zheng y Dong 2008.

### **2.2.2.1. TIPOS DE SISTEMAS DOMINADOS POR CONVECCIÓN**

En estos sistemas geotérmicos el calor se transporta desde la fuente de calor hasta los reservorios o la superficie por el movimiento ascendente de fluido a lo largo de fracturas en la roca; las formaciones porosas de alta permeabilidad lateralmente extensas actúan como los principales acuíferos. Los sistemas geotérmicos dominados por convección se agrupan de acuerdo a la naturaleza de la fuente de calor (CV1-CV2 en la figura 1) asociada a las diversas configuraciones tectónicas existentes en la Tierra (Faulds et al., 2009).

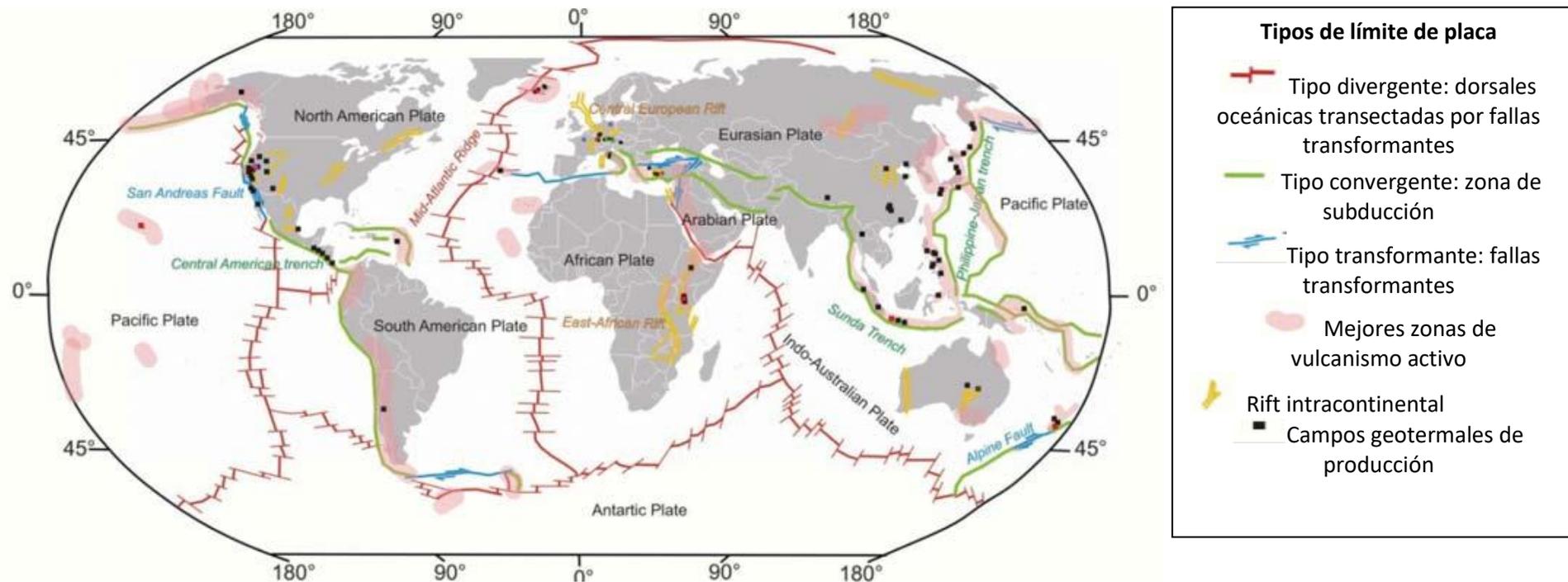
La edad del magmatismo es un indicador importante de la presencia de una fuente de calor como el magmatismo activo y reciente, mientras que magmatismo inactivo o extinto indica acumulaciones de calor que puede ser asociado con intrusiones a gran escala de rocas ígneas a profundidad mayor de 5 km con calor remanente y calentamiento adicional por desintegración radiactiva de elementos radioactivos (K, U) en roca granítica.

McCoy-West et al. (2011) para definir la edad del magmatismo se basan en lo siguiente:

Magmatismo activo: vulcanismo <500 años

Magmatismo reciente: vulcanismo 500-50,000 años.

Magmatismo inactivo o extinto: vulcanismo > 50,000 años.



**Proyectos de producción geotermal getermal plays**

CV1a Magmático: magmatismo activo o reciente: Taupo (Nueva Zelanda), Kamojang (Indonesia), Reykjanes (Islandia)

CV1b Magmático: magmatismo inactivo/extinto: Larderello (Italia) Los geysers (EE. UU)

CV2 No magmático: Tipo de dominio extensional: Bradys (Nevada/ EE. UU), Kizildere (Turquía), Soulz-Sous (Francia)

CD1 Tipo de basamento Intracratónico: Neustadt – Glewe (Alemania) Paris Basin (Francia)

CD2 Tipo cinturón orogénico: Unterhaching (Alemania) Altherim (Austria)

CD3 Tipo basamento (plutones calientes): Habanero (Australia)

Figura 1. Sistemas geotérmicos identificados en la tierra de acuerdo a la tectónica de placas (Gehring y Loksha,2012)

### 2.2.2.1.1. CV1a: Sistema Geotérmico con Intrusión Magmática Activa o Reciente

Se distingue por una fuente de calor en forma de una cámara magmática relativamente joven poco profunda que controla el derretimiento parental de la roca circundante, la química y flujo del fluido termal (Figura 2). Se pueden identificar en regiones con volcanismo basáltico activo en márgenes de placa divergentes como en Islandia, volcanismo basáltico a andesítico a lo largo de arcos insulares; o vulcanismo en los Andes (Moeck, 2014).

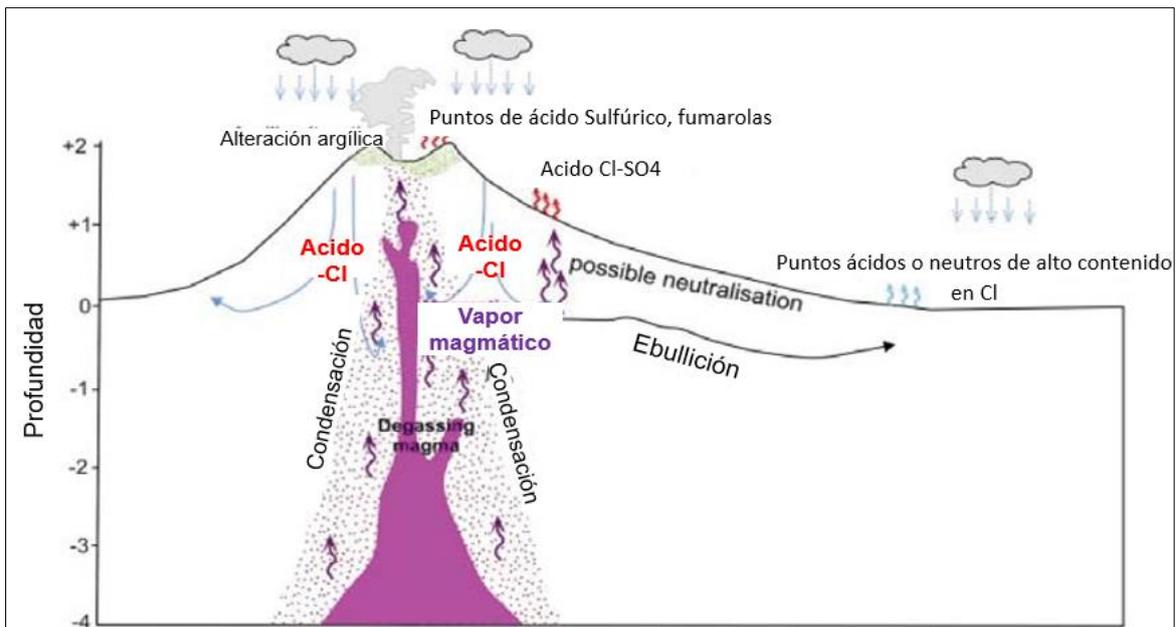


Figura 2. Esquema de sistema geotérmico con intrusión magmática activa o reciente (Moeck, 2014).

Las intrusiones de cuerpos magmáticos recientes (pero no activos) debajo o cerca de los volcanes, representan fuentes de calor principales para desarrollo de reservorio geotérmico.

### 2.2.2.1.2. CV1b: Sistema Geotérmico con Intrusión Magmática Extinta

Incorpora una fuente de calor en forma de plutón que consiste en roca cristalina enriquecida en elementos generadores de calor o un cuerpo ígneo intrusivo joven, cristalizado, pero todavía caliente (Figura 3). Dichos tipos de sistema se encuentran donde la topografía circundante proporciona altas tasas de recarga de agua meteórica, conduciendo un sistema hidrotermal con posible partición de vapor sobre la roca caliente que por lo general se encuentran en zonas

continentales o márgenes transformantes convergentes con magmatismo reciente; un ejemplo es el sistema geotérmico Larderello (Italia) que es controlado por la interacción entre rocas ígneas y fallas (Bertani et al., 2006).

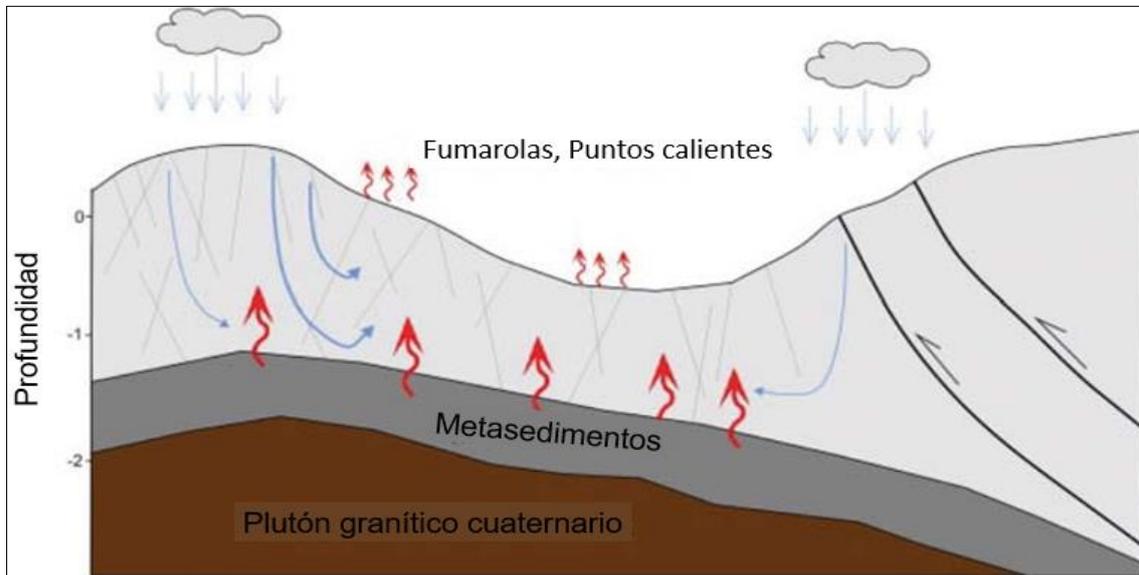


Figura 3. Sistema geotérmico controlado por magmático extinto sin vulcanismo asociado (Bertani et al., 2006).

### 2.2.2.1.3. CV2: Sistema Geotérmico de Dominio Extensivo

En este tipo de sistema geotérmico el manto es la principal fuente de calor debido a su ascenso causado por la extensión y adelgazamiento de la corteza (Figura 4). Los altos gradientes térmicos resultantes facilitan el calentamiento del agua meteórica que se infiltra y circula por fallas profundas o formaciones permeables, donde los límites hidráulicos y el régimen hidrológico controlan sistemas regionales de flujo de agua subterránea como en la Gran Cuenca Oeste de los EE. UU (Genter et al., 2010).

En los tipos de sistemas puramente controlados por fallas, el agua meteórica se infiltra por medio de fracturas, circula y calienta a través de fallas profundas, y se eleva junto a otras fallas (Reed, 1983). En general, las fallas segmentadas son más favorables para los sistemas geotérmicos que las fallas continuas. El régimen de tensión local y su orientación relativa a la geometría de falla tiene un impacto controlador en las vías de permeabilidad (Barton et al., 1997).

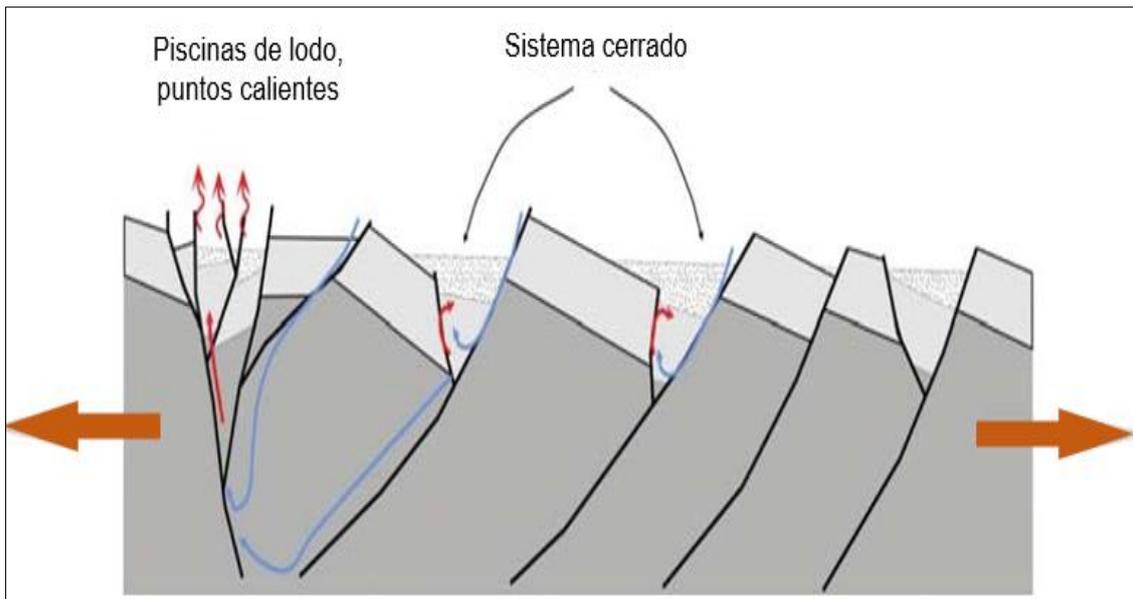


Figura 4. Esquema de sistema de dominio extensivo (Faulds et al., 2012).

### 2.2.2.2. TIPOS DE SISTEMAS DOMINADOS POR LA CONDUCCIÓN

Los tipos de sistemas geotérmicos dominados por la conducción (CD1-CD3 en la Figura 1) incluyen todo lo que podría llamarse sistemas geotérmicos pasivos debido a la ausencia de flujo convectivo de fluidos rápidos o variaciones a corto plazo en la dinámica de los fluidos. Estos sistemas son dominantes en zonas que no muestra tectonismo o magmatismo reciente; la temperatura aumenta de manera constante con la profundidad (Beardsmore y Cull, 2001).

Las condiciones geológicas favorables para los tipos de sistemas geotérmicos dominados por la conducción incluyen márgenes extensionales y divergentes, grabens o cuencas de subsidencia litosférica como la cuenca del Norte de Alemania; cuencas de antepaís dentro de cinturones orogénicos, como la cuenca de Molasse al Norte de los Alpes en Europa (Moeck, 2012).

#### 2.2.2.2.1. CD1: Sistema Tipo Cuenca Intracratónica

Este sistema incorpora reservorios geotérmicos en diferentes zonas de una secuencia sedimentaria establecida en una cuenca extensible o graben (Figura 5) la cual durante el tiempo geológico generalmente produce sedimentos de varios kilómetros de espesor con diversos entornos deposicionales que pueden incluir sedimentos siliciclásticos fluviales, carbonatos marinos, lodos y

evaporitas. La litología, las fallas y la diagénesis controlan el patrón de dominios de alta y baja porosidad siendo fuertemente influenciados por la evolución de la cuenca y las tasas de subsidencia (Wolfgramm et al., 2009). Los fluidos típicos son las salmueras con alto contenido de cloruro denominadas fluidos basales, o fluidos ricos en  $\text{HCO}_3$ .

Las formaciones por encima de los diapiros de sal podrían proporcionar reservorios geotérmicos adecuados para calefacción urbana debido a la alta conductividad térmica de la roca de sal que causa anomalías térmicas positivas locales en la sobrecarga (Norden y Förster, 2006). Las formaciones en las partes más profundas de la cuenca podrían proporcionar depósitos adecuados para la producción de energía siempre que puedan producir fluidos geotérmicos a una velocidad de flujo de aproximadamente 70 km/s o más (Tester et al., 2007).

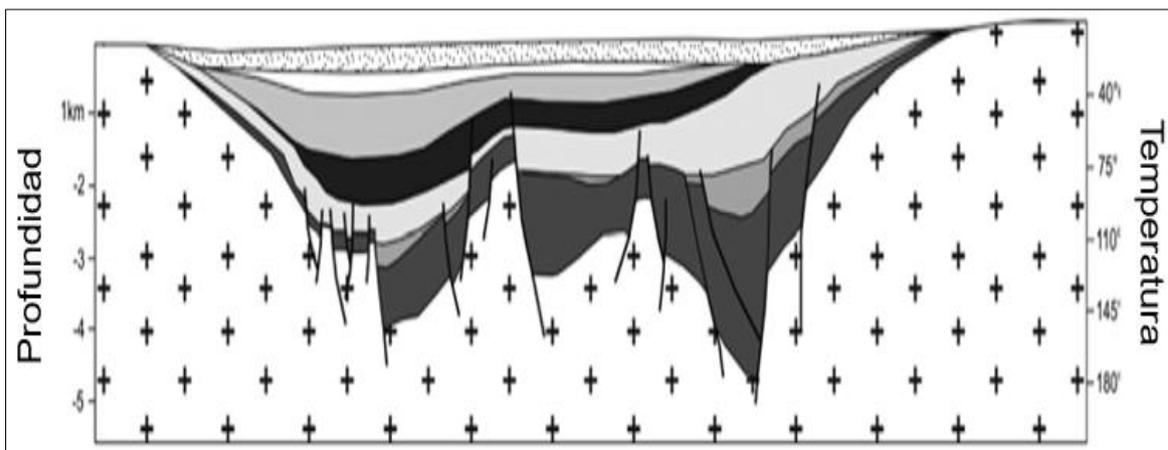


Figura 5. Modelo conceptual de cuenca sedimentaria intracratónica (Salley, 2000).

#### 2.2.2.2.2. CD2: Sistema Tipo Cinturón Orogénico

Los reservorios geotérmicos de este sistema se encuentran dentro de una cuenca de antepaís o cinturón orogénico de montaña (Figura 6). Las secuencias sedimentarias de las cuencas están influenciadas por el hundimiento de la corteza hacia el orógeno debido a la carga litostática de las rocas. El resultado de este proceso es la flexión hacia abajo de la litosfera no engrosada, formando áreas de extensión local y falla normales en un entorno tectónico de compresión (Moeck, 2014). La forma de cuña de las cuencas de antepaís resulta en una

profundización progresiva del acuífero potencial hacia el orógeno, con un aumento asociado de la temperatura.

La gran profundidad y el pequeño ancho de los valles del cinturón de montaña dan como resultado penetración relativamente poco profunda del agua meteórica, descargando en los suelos del valle o en aguas poco profundas en laderas de los valles (Toth, 2009). Los gradientes térmicos conductivos pueden variar de aproximadamente 15 - 20 °C/km debajo de altas montañas, a unos 30 - 50 °C/km debajo de profundos valles (Craw et al., 2005).

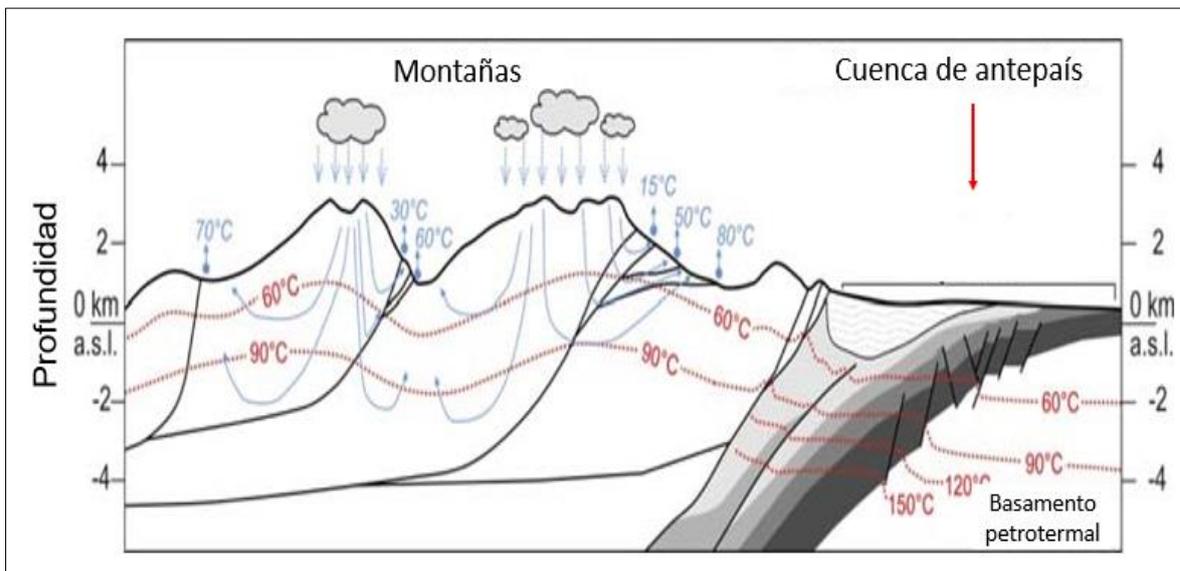


Figura 6. Sistema geotermal tipo Conductivo en zonas orogénicas. Estructura termal (isothermas rojas), agua infiltrada (flecha azul) (Moeck, 2014).

### 2.2.2.2.3. CD3: Sistema de Tipo Basamento

Las características de este tipo de sistema geotérmico son una falla o fractura en roca cristalina (generalmente granítica) con muy baja porosidad y permeabilidad natural, pero almacena grandes cantidades de energía térmica a partir de elementos como el Potasio, Torio y Uranio (Figura 7) pero requieren el desarrollo de reservorios mediante técnicas EGS que permitan la circulación inducida por el hombre entre los inyectores y los pozos productores utilizando masa de roca como intercambiador de calor (Cuenot et al., 2008).

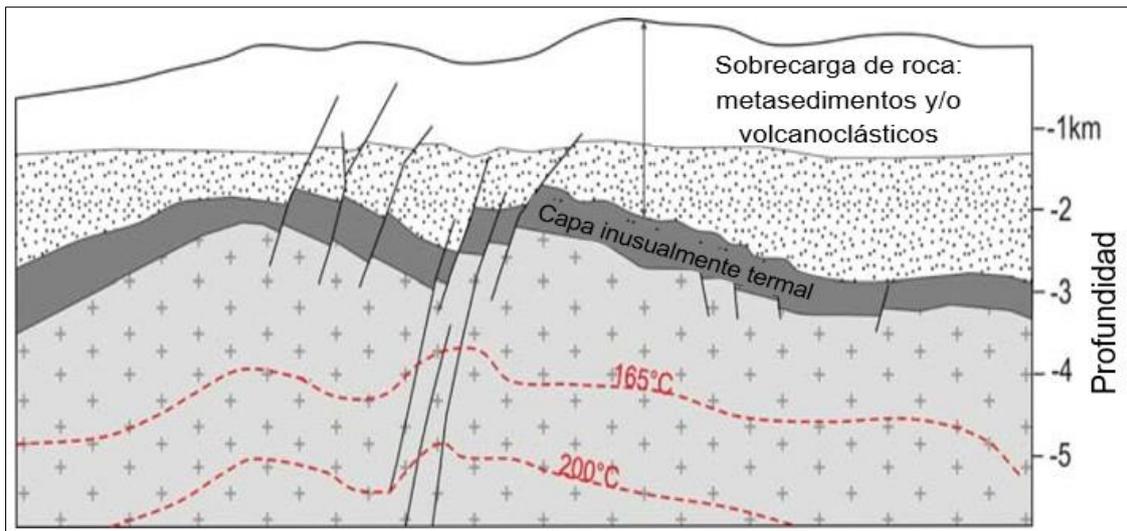


Figura 7. Controles geológicos en temperatura de un sistema de basamento cristalino (Cuenot et al., 2008).

### 2.2.3. MODELO CONCEPTUAL DE LOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS

El modelo conceptual de un sistema geotérmico se ha construido en base a las investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas de una gran cantidad de sistemas geotérmicos (Figura 8). Aun cuando cada sistema difiera en cierta medida de los otros, su ocurrencia está condicionada por los siguientes factores básicos (Dickson y Fanelli, 2005):

**Área de Recarga.** Parte alta de la cuenca donde se infiltra el agua meteórica

**Medios de transporte del fluido.** Son las fallas, fracturas y rocas permeables y fracturadas que permiten la infiltración del agua meteórica hasta alcanzar la profundidad necesaria para ser calentada o el medio por donde fluye el agua termal hacia superficie.

**Fuente de Calor: Cuerpo** de magma emplazado a menos de 10 km de profundidad, desde el cual se transmite el calor a las rocas circundantes.

**Reservorio:** Volumen de rocas permeables, a una profundidad donde se almacena el agua caliente o el vapor que son los medios para utilizar el calor.

**Cubierta impermeable:** Estratos rocosos generalmente arcillosos que impiden la migración de fluidos hacia la superficie.

**Manifestacion termal:** Son expresiones en la superficie de la tierra del calor interno que existe de manera natural, pueden ser manatiales termales, geisers, fumarolas.

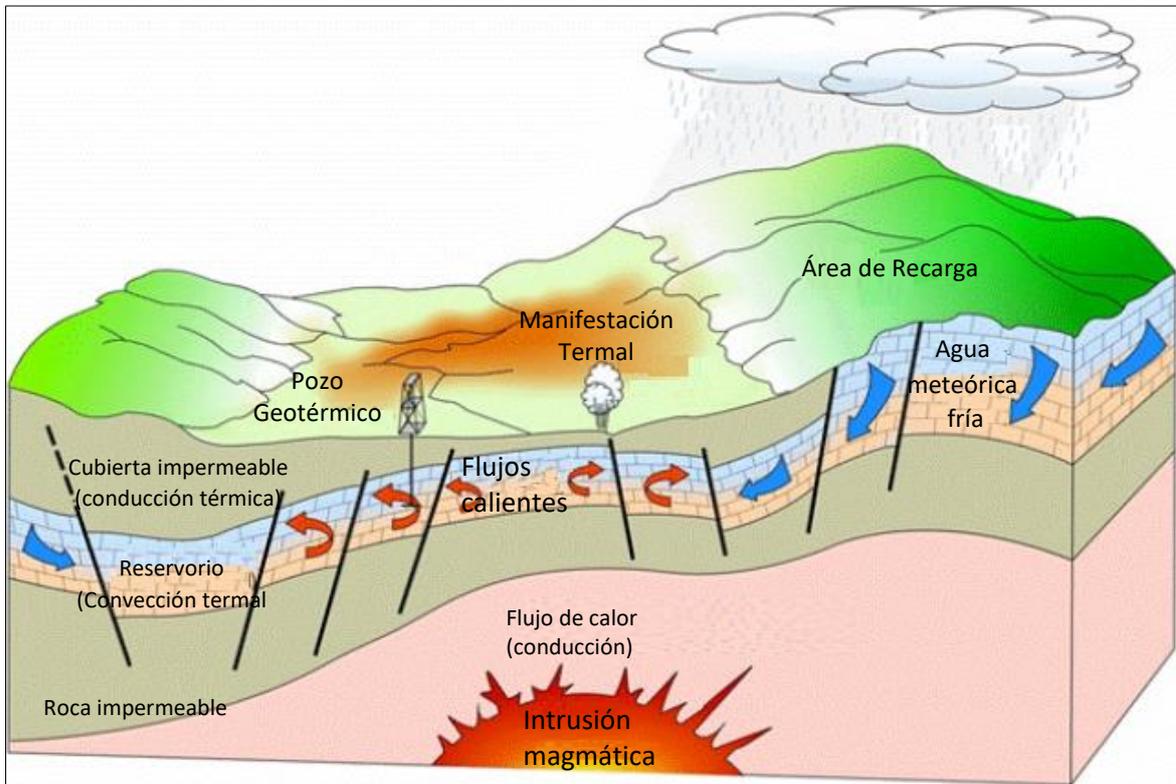


Figura 8. Representación esquemática del modelo de un sistema geotérmico de alta temperatura (Dickson y Fanelli, 2005).

#### 2.2.4. RECURSOS GEOTÉRMICOS

En base a su temperatura los recursos geotérmicos se clasifican en (Muraoka et al, 1998):

Muy baja temperatura ( $T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Baja temperatura ( $30\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Media temperatura ( $100\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Alta temperatura ( $T > 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Recursos de Roca Caliente Seca o Sistemas geotérmicos estimulados.

En base a la configuración tectónica del planeta (Figura 9) los recursos geotérmicos de alta temperatura se encuentran en regiones tectónicas y volcánicas emergidas; media temperatura y baja temperatura se han identificado en cuencas sedimentareas; y en zonas de zócalo cristalino existe recursos de muy baja temperatura (Muraoka. 1998)

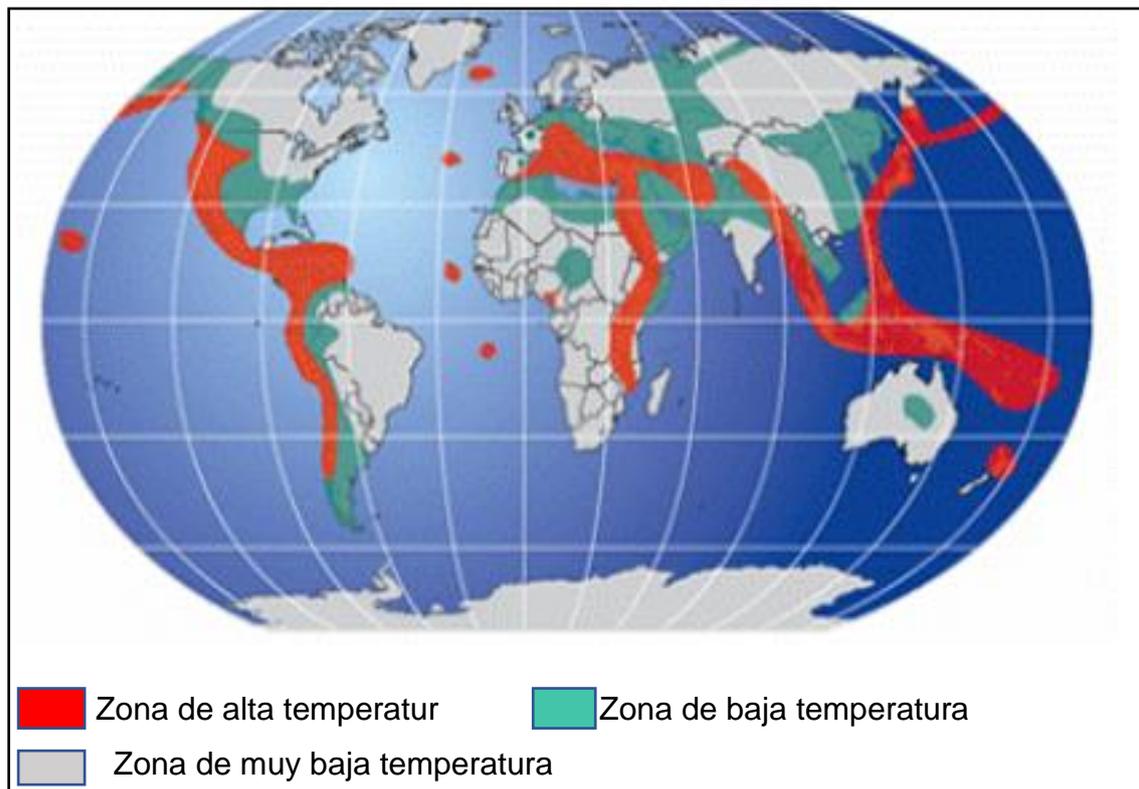


Figura 9. Ubicación mundial de los recursos geotérmicos a escala mundial (Muraoka 1998).

Las condiciones geológicas necesarias para la existencia de un reservorio geotérmico de alta temperatura son tres (Dickson y Fanelli, 2003).:

Una fuente de calor activa que proporcione un flujo de calor anómalo.

Existencia de rocas permeables a profundidad que permiten la circulación de fluidos capaces de extraer el calor de la tierra.

Presencia de formaciones impermeables superpuestas a las anteriores que actúen de sello o cierre de los acuíferos definidos.

Cuando en una región determinada existen formaciones geológicas muy profundas (3000 m - 4000 m) y permeables, que con gradiente geotérmico normal pueden superar los 100 °C - 120 °C, se dice que existe un reservorio de media temperatura.

Los reservorios de baja temperatura se encuentran en zonas estables de la corteza terrestre, en las que el gradiente geotérmico no es anómalo. La única condición geológica requerida en estos casos es la existencia, a la profundidad adecuada (1500 m - 2000 m), de los acuíferos. En zonas muy poco profundas, las rocas y las aguas subterráneas se encuentran a temperatura de 15 °C - 25 °C donde la energía geotérmica es de muy baja temperatura existiendo en todos los lugares con variaciones de concentración de acuerdo a características de la roca o del acuífero presente (Dickson y Fanelli, 2005).

### **2.2.5. CONTEXTO ACTUAL DE LA GEOTERMIA EN EL PERÚ**

En el Perú se han identificado numerosas fuentes termales con temperatura entre 40 °C a 90 °C, ubicadas principalmente en la Cordillera Occidental de los Andes y el Altiplano Sur (Vargas y Cruz, 2010). Según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en nuestro territorio existe 156 zonas geotérmicas, además, se han reconocido más de 200 vertientes de agua caliente dividido en seis regiones geotérmicas:

Región I: Cajamarca (la región del mismo nombre)

Región II: Huaraz (La Libertad y Ancash)

Región III: Churín (Lima, Pasco, y Huánuco)

Región IV: Central (Huánuco, Huancavelica y Ayacucho)

Región V: Cadena de conos Volcánicos (Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua y Tacna)

Región VI: Puno y Cusco (las regiones con el mismo nombre)

Según el Plan Maestro para el Desarrollo de la energía Geotérmica en el Perú realizado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por sus

siglas en inglés) se estima que en el territorio peruano el potencial geotérmico se encontraría en 2860 MW (Cruz y Vargas, 2014).

### 2.2.7. PRINCIPALES USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Tomando en consideración la clasificación descrita anteriormente de los recursos geotérmicos en base a su temperatura; en la siguiente tabla (tabla 2) se describe el uso de la energía geotérmica de acuerdo al rango de temperatura que se tenga. La división que aparece en la tabla es la que establece el Código Minero en Francia, y se puede aplicar tanto a explotaciones geotérmicas, yacimientos y recursos geotérmicos (Llopis y Rodrigo, 2008):

Tabla 2. Principales usos de la energía geotérmica.

<b>VIVIENDA, OCIO, SALUD</b>	Calefacción con bombas de calor- climatización			
	Calefacción por suelo radiante			
	Centros de ocio y piscinas			
	Balneoterapia- Termalismo			
	Precalentamiento (agua- aire)			
	Agua caliente sanitaria			
	Calefacción urbana			
<b>AGRICULTURA ALIMENTACIÓN</b>	Piscicultura- Acuicultura			
	Cultivo de setas			
	Calefacción de invernaderos por el suelo			
	Calefacción de invernaderos por el aire			
	Precalentamiento (agua- aire)			
<b>INDUSTRIA</b>	Secado de productos agrícolas, maderas,			
	Precalentamiento (agua- aire)			
	Deshielo			
	Lavado de lana-tientes			
	Secado de productos industriales			
	Producción de energía eléctrica			
	Refrigeración por absorción			
	Extracción de sustancias químicas			
	Destilación de agua dulce			
	Recuperación de metales			
	Producción de energía eléctrica			
Fabricación de pasta de papel				
<b>RANGO DE TEMPERATURA</b>	10°C	30°C	90°C	150°C
	MUY BAJA TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA	MEDIA TEMPERATURA	ALTA TEMPERATURA

Fuente: Tomado de Llopis y Rodrigo 2008

## 2.2.8. UTILIZACIÓN ACTUAL DE RECURSOS GEOTÉRMICOS

### 2.2.8.1. Utilización Geotérmica a Nivel Mundial

El mayor desarrollo de la generación de energía geotérmica comenzó a principios de la década de 1980 y puede ser parcialmente entendido como una respuesta de los productores de energía a la primera crisis del petróleo en 1972. En la actualidad la potencia geotérmica se genera en 27 países con una capacidad instalada de generación de energía geotérmica total de 14,600 MW a fines de 2018. Con el desarrollo continuo y las ambiciones de desarrollo, el número de países que podrían producir energía geotérmica podría aumentar a 82 países (Jorquera, 2019).

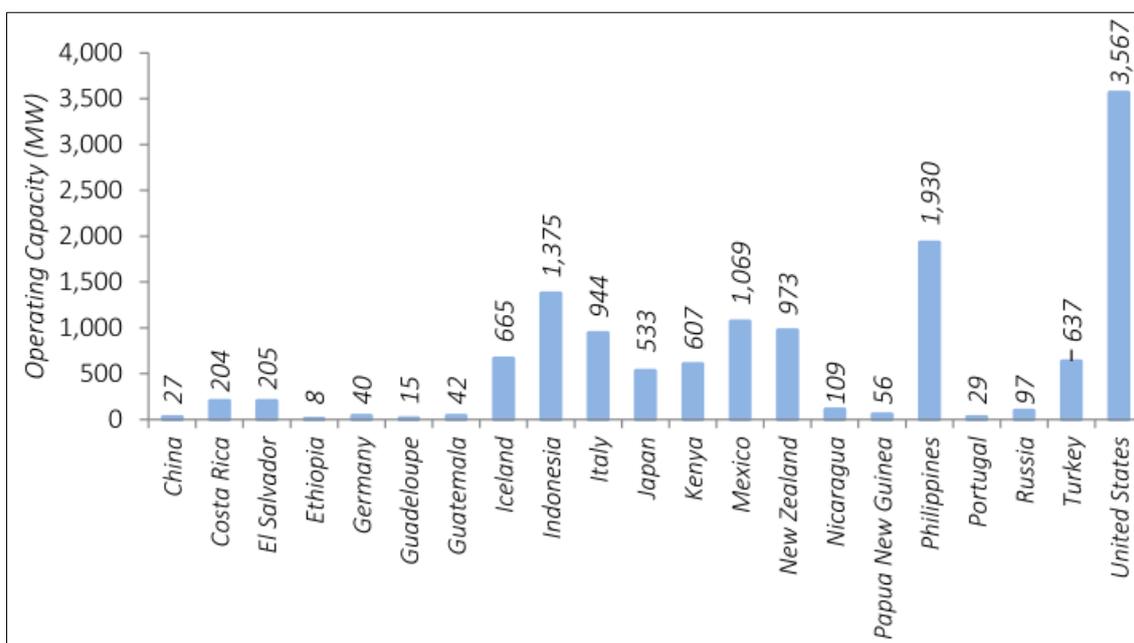


Figura 10. Capacidad geotérmica operativa global en MW (Jorquera, 2019).

### 2.2.8.2. Utilización Geotérmica en el Perú

La primera y más antigua evidencia de la utilización del calor geotérmico fue durante los períodos preinca e inca; estas poblaciones utilizaron el agua termal con fines curativos y recreativos en forma de balneología (Cernik et al., 2010). Los recursos geotérmicos que se ubican en zonas turísticas se han convertido en una importante fuente de desarrollo económico limitándose principalmente al uso directo como entretenimiento y balneología. Por otro lado, desde 2006, el

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) basado en el Decreto Supremo D.S. N°05–2005 - MINCETUR, actualmente Ley de Regulación de los Recursos Hídricos, Ley N ° 29338, ha realizado la certificación fisicoquímica y clasificación de las aguas para uso turístico (Cruz y Vargas, 2014).

Hasta la fecha en Perú no se ha construido o instalado planta de energía geotérmica ya que potencial térmico no ha sido estimado. De acuerdo con la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas (DGE-MEM) se han otorgado más de 30 autorizaciones geotérmicas para exploración, pero ninguna compañía ha perforado un pozo geotérmico. Los esfuerzos para desarrollar los recursos geotérmicos están siendo realizados por compañías adjudicadas con autorización para llevar a cabo la exploración de superficie. Las empresas Geotérmica Quellapacheta Perú SAC, EDC Energía Verde SA y ENEL Green Power se encuentran en la primera etapa para encontrar y desarrollar recursos geotérmicos. Se están realizando campañas de exploración superficial (geológica, geoquímica y geofísica), al Sur del Perú principalmente (Cruz y Vargas, 2014).

### **2.2.9. ESTIMACIÓN Y EXPLORACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO**

La caracterización de recursos geotérmicos es la estimación de la energía térmica en el subsuelo usando un conjunto de datos e hipótesis referidas a la temperatura anual media, y acoplada con la estimación de la fracción de esta energía con potencial ser extraída económica y legalmente en el futuro (Dickson y Fanelli, 2005).

Los métodos más utilizados para la estimación de reservas geotérmicas son el denominado método volumétrico y el método de la cantidad de calor magmático (Bertrani 2010). El método volumétrico consiste en calcular la energía calórica acumulada en un determinado volumen de roca afectada por la anomalía del flujo de calor terrestre hasta una profundidad de 3000 m; en cambio, el método de la cantidad de calor magmático considera que los magmas ascienden desde los niveles profundos de la corteza y se acumulan en las cámaras magmáticas, donde comienza un proceso de enfriamiento concomitante con la conducción del calor a las rocas encajonantes. La aplicación de este método requiere de un modelo de la cámara magmática (profundidad, geometría, edad del

emplazamiento del magma, temperatura inicial y final) que se lo sustenta a partir de datos geológicos y petrológicos. Con base en este modelo se realiza una estimación teórica sobre la transmisión calórica por conducción y convección en las rocas del eventual reservorio y capa sello geotérmicos (Dickson y Fanelli, 2005).

### **2.2.9.1 Objetivos de la Exploración**

Según Dickson y Fanelli (2005) los objetivos de la exploración geotérmica son:

Identificar el fenómeno geotermal.

Estimar el tamaño del recurso.

Determinar el tipo de campo geotérmico.

Localizar las zonas productivas.

Determinar el contenido calórico de los fluidos.

Determinar los parámetros ambientalmente sensibles, en forma previa a la explotación

### **2.2.9.2 Metodología de Exploración Geotérmica**

#### **A) Geología**

El estudio geológico de exploración en campos geotérmicos tiene como objetivos ubicar y caracterizar la anomalía térmica (fuente de calor), el reservorio y la capa sello. En las etapas de exploración se hacen interpretación de imágenes satelitales, posibilitando el conocimiento de la geología superficial, sistemas de fallas y relaciones vulcano-tectónicas. En los campos geotérmicos en los que la anomalía térmica es producida por una intrusión magmática en la corteza terrestre, la relación entre los lineamientos tectónicos con las estructuras volcánicas permite la detección de espacios en los que pueden localizarse cuerpos magmáticos. Con el estudio petrológico de lavas y otros productos volcánicos se caracteriza la naturaleza del magma, especialmente su grado de acidez y diferenciación. A través de estudios estratigráficos se establecen las características del reservorio y de la capa sello. Las técnicas hidrogeológicas integran estudios geológicos de aguas subterráneas, verificando el sistema

estratigráfico y estructural, sentido de circulación de los fluidos en profundidad y el área de recarga (Lund et al., 2010).

## **B) Geoquímica**

La composición química e isotópica de los fluidos termales proporciona información acerca de la composición y distribución de los fluidos en profundidad, su temperatura (utilizando los geotermómetros), presión y estado físico (vapor o agua), rocas asociadas, origen y tiempo de residencia del fluido, dirección de circulación, permeabilidad y flujo natural; su estudio se realiza mediante se toman muestras de agua, gases y condensados, y se efectúan mediciones de temperatura, pH, conductividad y caudal (Lund et al., 2010).

## **C) Análisis de Laboratorio**

Analiza las muestras de agua obtenidas en campo para determinar la composición química de las aguas termales con el propósito de detectar: las posibles mezclas del fluido termal con aguas frías más superficiales, origen del fluido y la ubicación del área de recarga (a partir de las concentraciones de los isótopos  $O^{18}$  y  $H^2$ ), tiempo de residencia o sea el tiempo transcurrido desde la infiltración del agua (análisis del contenido de Tritio) (Lund et al., 2010).

## **D) Geofísica**

Los métodos geofísicos proporcionan el conocimiento de los parámetros físicos de los sistemas geotérmicos, las condiciones geológicas del campo y la presencia de fluidos termales, midiendo las variaciones de ciertas propiedades físicas de las rocas tales como densidad, resistividad eléctrica, conductividad térmica (Hui et al., 2015). Actualmente los métodos geofísicos son aplicados durante las fases preliminares de exploración y en las etapas de evaluación del potencial geotérmico del reservorio geotermal (Tabla 3).

Tabla 3. Los métodos geofísicos utilizados para la exploración de sistemas geotermales.

Donde: V= ventaja; D= desventaja

Métodos Geofísicos	Respuesta Geofísica	Profundidad	Ventajas y Desventajas	
<b>Técnicas de teledetección</b>	Banda de ondas, gradiente de temperatura	Superficial	V: Muestreo continuo, gran cantidad de información, buena consistencia e intuición, alta velocidad y precisión, bajo costo. D: Restrictivo, disruptivo, poca profundidad.	
<b>Gravimetría</b>	Anomalía de gravedad	> cientos de metros	V: Alta precisión en reflejo de fracturas. D: Baja precisión en la exploración, se requiere corrección topográfica, conveniente para áreas grandes.	
<b>Magnetometría</b>	Anomalía de magnética positivo o negativo	> cientos de metros	V: Profundidad de detección profunda, operación simple, bajo costo, reacción fuerte a la anomalía magnética. D: Tiende a interrumpirse, demasiados factores de impacto.	
	Sondaje DC	Baja resistividad	~0.5 km	V: Operación e interpretación simple, se observa directamente. D: Susceptible a interferencias y la resistencia para producir protección es alta.
	SP	Anomalía de Resistividad (+ o -)	Superficial	V: Simple, rápido, intuitivo. D: Único reconocimiento, profundidad superficial.
	MT		10 ~ 30 Km	V: Recolección simple de datos, instrumentos fáciles de transportar, exploración profunda. D: EL rendimiento anti ruido es bajo y sensible a los cables eléctricos, difícil de interpretar detallado (1D o 3D).
	TEM	Baja resistividad	1 Km	V: Bajo costo en mano de obra, poco afectado por topografía, alta resolución, explicación simple, alta penetrabilidad. D: Instrumentos de complejo funcionamiento, transformación de datos, alta interferencia electromagnética.

Métodos Geofísicos	Respuesta Geofísica	Profundidad	Ventajas y Desventajas	
<b>Magnetometría</b>	AMT/C SAMT	Baja resistividad	2 Km	V: Alta relación señal-ruido, alta resolución horizontal, pequeña distorsión estática, anti -interferencias, alta eficiencia. D: El terreno y la energía eléctrica tienen influencia causando desplazamiento estático, requiere conexión por terreno en el procesamiento e interpretación de datos.
	Medición sísmica activa		5 Km	V: No limita la información por alta resistencia, alta precisión, alta resolución lateral. D: Engloba gran logística, largo periodo de trabajo, mucho más mano de obra, inversiones y materiales.
<b>Estudio Sísmico</b>	Sondaje microonda	Baja velocidad	0.05 ~ 3 Km	V: Sensores flexibles, pequeña interferencia electromagnética, alta precisión de interpretación y exploración profunda. D: Alto volumen de efectos e influencia del medio ambiente, la interpretación es bidimensional.
	Monitoreo Microsismicidad		30 Km	V: Gran profundidad, alta resolución y bajo costo. D: Larga duración, procesamiento de datos complejos, lento y laborioso.
<b>Registro de pozos</b>	Medición de temperatura	Alto gradiente de temperatura	Superficial	V: Operación rápida, precisa, sencilla y directa D: Profundidad superficial
	Registro geotermal	Medidas en tiempo real	-	V: Alta resolución vertical. D: Altas demandas e instrumentos.

Fuente: Tomado de Hui et al. 2015

## D) Pozos Exploratorios

La perforación de pozos exploratorios se hace en la última fase de la exploración geotérmica. El número, ubicación y profundidad de los mismos estará determinado por los resultados obtenidos en las etapas previas, después de conocer las condiciones estratigráficas, estructurales e hidrogeológicas del campo. El objetivo de estas perforaciones es: corroborar, ampliar y eventualmente modificar los conocimientos obtenidos en la fase de exploración superficial (Llopis y Rodrigo 2008).

### 2.2.10. AGUAS TERMALES

Son surgencias de agua con elevada temperatura (Morell, 1995). Basándose en relación a su temperatura y pH estas aguas se pueden definir como:

Tabla 4. Clasificación de agua termal con relación a su temperatura y pH.

<b>De acuerdo a su temperatura:</b>	<b>Con relación al pH:</b>
Fría: menos de 20 °C	Aguas con fuerte reacción ácida: pH < 3.5 Aguas con moderada reacción ácida: pH
Hipo termal: entre 20 °C - 35 °C	3.5 – 5.5
Meso termal: entre 35 °C y 50 °C	Aguas con ligera reacción ácida: pH 5.5 – 6.8.
Hipertermal: entre 50 °C y 100 °C	Aguas con reacción neutra: pH 6.8 – 7.2 Aguas con reacción alcalina: pH 7.2 – 8.5 Aguas con reacción alcalina moderada: pH 8.5 – 9.5 Aguas con fuerte reacción alcalina: pH > 9.5

Fuente: Tomado de Morell 1995.

#### 2.2.10.1 Origen de las Aguas Termales

##### A) Aguas de origen meteórico

Se infiltran por gravedad desde la superficie hacia capas más profundas en el subsuelo, elevando su temperatura en el curso de su circulación subterránea y pueden ascender posteriormente hasta la superficie, a través de las fracturas

existentes en las rocas, gracias a ciertos mecanismos de surgencia (ver figura 11) (Dickson y Fanelli, 2014). Las características físico-químicas de estas aguas vienen dadas por la de las rocas que atraviesan, por ello, su contenido en sales, temperatura y las características hidrológicas son muy variables (Espejel, 2004)

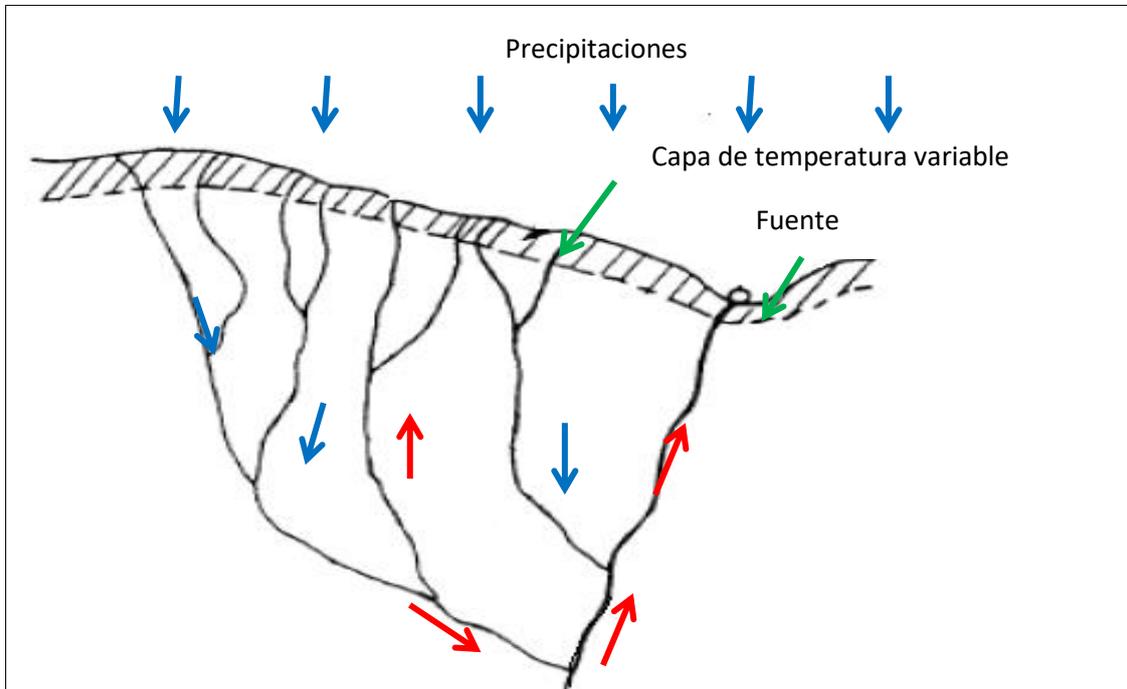


Figura 11. Esquema del origen meteórico de aguas termales (Espejel, 2004).

## **B) Aguas de origen magmático**

La composición en sales y la temperatura de las aguas termales de origen endógeno, con independencia de la roca de la que proceden, son relativamente constantes y de carácter hipertermal; de forma análoga, las aguas juveniles pueden proceder de la consolidación de lavas y de vapor de agua de origen volcánico, acompañados generalmente de gases como CO<sub>2</sub>, N, S, F (Simmons, 2000). Ciertas reacciones químicas de carácter intenso en el interior de la corteza terrestre pueden liberar agua; no obstante, las aguas termales pueden tener también un origen mixto, por mezcla de aguas meteóricas de infiltración reciente con aguas endógenas (Espejel, 2004).

### **2.2.10.2. Mecanismos de Surgencia de las Aguas Termales**

Los sistemas de aguas termales forman los manantiales termales bajo la influencia de factores físicos e hidrogeológicos dentro los cuales el gradiente

hidráulico es común a todo tipo de circulación subterránea, mientras que otros, son particulares de las aguas termales profundas; entre estos últimos, se pueden citar (Espejel,2004).

**A) Gradiente hidráulico.** - Factor principal que determina la circulación de las aguas subterráneas. Su acción implica zonas de recarga más elevada que las zonas de surgencia.

**B) Expansión del vapor de agua.** - Factor esencial en el funcionamiento de los géiseres, fumarolas y en la surgencia de las fuentes hipertermales. Cuando el agua entra en contacto con rocas a alta temperatura se producen dos acciones físicas: la de la vaporización del agua y su disociación con la fijación de Oxígeno.

**C) Acción de los gases ocluidos y disueltos.** - Los gases ocluidos y disueltos tienen una doble acción física y dinámica: rebajan el peso específico del agua, y la presión de los gases emulsiona el agua y provoca su ascenso. Además, actúan sobre la densidad que a su vez influye sobre la velocidad de flujo, y sobre la relación entre los caudales del gas y del líquido, modificando la carga hidráulica.

**D) Acción de la temperatura.** - La temperatura afecta a la variación del peso específico del agua y su viscosidad, lo que provoca que el gradiente de temperatura al superar el límite del gradiente adiabático provoca inestabilidad en el fluido existente en el acuífero el cual tiende a fluir a la superficie por convección térmica.

**E) La acción de la viscosidad.** - Influye en general en la velocidad de circulación del agua, la cual disminuye su viscosidad al aumentar la temperatura por lo que el coeficiente de permeabilidad aumenta al hacerlo la velocidad de circulación.

**F) Fracturación de las rocas por movimientos tectónicos.** - Las zonas libres de presión en la corteza terrestre donde las rocas han sido fracturadas a causa de procesos tectónicos permiten el ascenso rápido de las aguas profundas, cuyo origen es la infiltración o su relación con fenómenos endógenos (Espejel, 2004).

## 2.2.11. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Rowland (2007), sostiene que el análisis estructural en planos de fallas y diaclasas se utiliza con la finalidad de identificar y recoger datos que proporcionen información sobre la historia estructural de una región. El análisis estructural está constituido por (Martínez, 2003):

**Análisis descriptivo:** identificación, observación, descripción geométrica de los cuerpos rocosos, análisis de la estructura y sus elementos estructurales.

**Análisis Cinemático:** Interpretación de la deformación, describir los desplazamientos (transcurrente, normal o inverso) que dan lugar a la formación de una estructura.

**Análisis Dinámico:** Permite establecer un modelo de esfuerzos reconstruyendo el origen de la deformación.

### 2.1.11.1 Falla

Es una superficie o zona estrecha en la corteza terrestre a lo largo de la cual un lado se ha movido en relación con otro en una dirección paralela a superficie. La mayoría de fallas son fracturas por cizallamiento espaciadas, pero algunas son de cizalla de deformación dúctil donde el movimiento tuvo lugar sin pérdida de cohesión a escala exterior (Twiss y Moores, 2007).

### 2.1.11.2 Tipos De Falla

Dependiendo del movimiento de los bloques por medio de un plano de falla y considerando su geometría y el desplazamiento relativo; existen diversos tipos de falla (ver figura 12) entre lo más comunes tenemos (Camargo, 2015):

**Normal:** Se forma cuando el bloque techo desciende en relación al bloque piso.

**Inversa:** falla donde el bloque techo ascendido en relación al bloque piso

**De Rumbo:** falla donde los bloques se mueven paralelos al rumbo del plano de falla. Existen dos tipos:

**Dextral:** bloque de la derecha se acerca hacia el observador

**Sinistral:** Bloque de la izquierda se acerca hacia el observador

**Lítrica Normal:** falla cuya superficie es curva, con buzamiento alto hacia la superficie y bajo hacia la profundidad, el bloque del techo ha descendido en relación al bloque piso.

**Cabalgamiento:** falla inversa que presenta plano de falla con bajo ángulo de buzamiento.

**Rotacional:** falla en la cual uno de los bloques a rotado con respecto al otro. Tiene dos tipos de comportamiento, normal en un extremo e inverso en el otro.

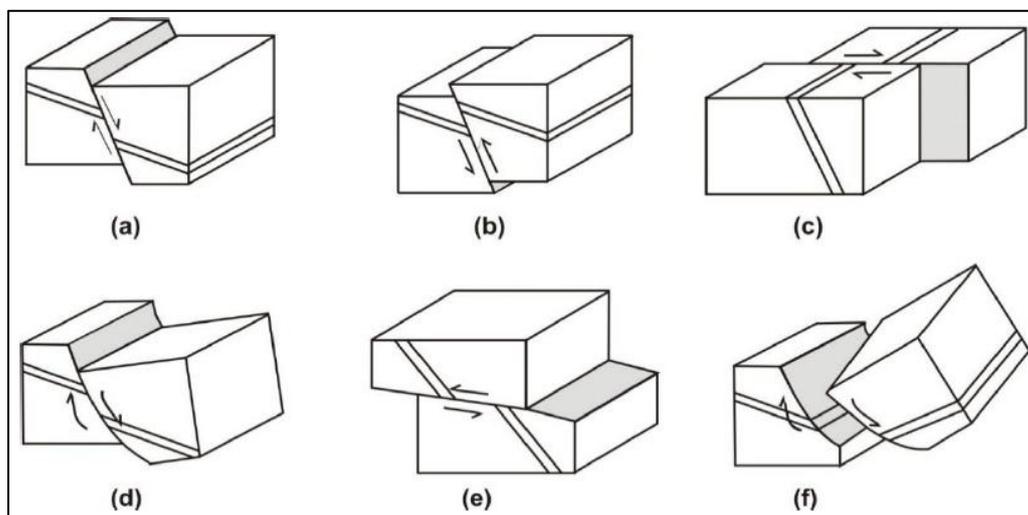


Figura 12. Tipos de falla ideales a) Normal; b) Inversa; c) de rumbo; d) Lítrica normal; e) cabalgamiento; f) Rotacional (Camargo, 2015).

### 2.2.11.3. Indicadores Cinemáticos

son aquellos rasgos estructurales que quedan marcados en la roca indicándonos la dirección y sentido del movimiento que ha ocasionado el desarrollo de la falla (Doblas, 1998):

**Escalones.** Son de dos tipos: congruentes cuando están a favor del movimiento e incongruentes cuando indican lo opuesto al sentido real del desplazamiento. Cuando la mano del observador se mueve a lo largo del desplazamiento del plano de falla, entonces los escalones son congruentes presentan baja fricción a favor del movimiento y alta fricción en sentido opuesto al movimiento

**Fibras de recristalización.** – Son fibras de mineral formadas por procesos tectónicos, indican el sentido del movimiento en los escalones de falla.

**Estrías.** - Se encuentran en los planos de fallas, indican la dirección mas no el sentido del movimiento

Las fallas pueden tener un doble papel dentro del contexto hidrogeológico, esto es, como barreras hidrológicas, si la falla se pone en contacto con estratos cuyas permeabilidades sean muy contrastantes, o bien, como un conducto de libre tránsito si las estructuras son paralelas a dicho flujo (Sigurdsson, 1987).

#### **2.2.11.5. Diaclasas**

Son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño. Comúnmente tienen una orientación paralela entre sí y se encuentran en juegos o familias (Gonzales de Vallejo, 2004).

Atendiendo a su origen se distinguen los siguientes tipos de diaclasas:

**A) Diaclasas de origen tectónico**, asociadas a plegamientos y a fallas, las diaclasas asociadas a fallas se disponen paralelamente a la superficie de falla y con una frecuencia que disminuye al aumentar la distancia a la misma (González de Vallejo, 2004).

**B) Los planos de estratificación**, son las superficies que limitan los estratos en las rocas sedimentarias. Se trata de discontinuidades sistemáticas con una continuidad elevada, y cuyo espaciado oscila generalmente entre unos pocos centímetros y varios metros (González de Vallejo, 2004).

#### **2.2.12 HIDROGEOLOGÍA**

Hidrológicamente, los sistemas geotérmicos pueden clasificarse como locales y regionales; los sistemas locales normalmente están confinados y tiene la particularidad de que el agua se originan en la misma área, mientras que los sistemas regionales son sistemas cíclicos y la energía se origina dentro de los canales de flujo; es decir, los fluidos deben ser capaces de descender a profundidades donde la acumulación de calor sea suficiente para que luego les permita ascender a la superficie sin gran pérdida de energía. (Sigurdsson, 1987).

### **2.2.12.1 Clasificación de las Formaciones Geológicas según su Comportamiento Hidrogeológico**

Las formaciones geológicas de acuerdo a su comportamiento se clasifican en:

#### **A) Acuífero**

Estrato o formación geológica suficientemente permeable para conducir agua subterránea en cantidad suficiente para satisfacer una demanda particular (Figura 13) (Custodio y Llamas, 2001). El acuífero cumple funciones tales como: almacén de agua subterránea, conductor de agua subterránea, medio de intercambio geoquímico (Hiscock, 2005).

#### **B) Acuicludo**

Formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación (Custodio y Llamas, 2001).

#### **C) Acuitardo**

Formación geológica que, conteniendo agua, la transmite muy lentamente, por lo que tampoco son explotables (Custodio y Llamas, 2001).

### **2.2.12.2 Tipos De Acuíferos**

Se distinguen tres tipos principales de acuíferos: confinados, libres y semiconfinado (ver figura 13).

#### **B) Acuífero Libre**

Según la clasificación basada en la presión hidrostática del agua que contienen, se denomina acuífero libre a aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que está en contacto directo con la atmósfera (Custodio y Llamas, 2001).

#### **C) Acuífero Confinado**

Según la clasificación basada en la presión hidrostática del agua que contienen, se denomina acuífero confinado a aquellos en los cuales el agua está sometida

#### **D) Acuífero Semiconfinado**

Es aquel acuífero que se encuentra limitado en la parte superior por una formación geológica muy poco permeable pero que es capaz de producir recarga al acuífero (Custodio y Llamas, 2001)

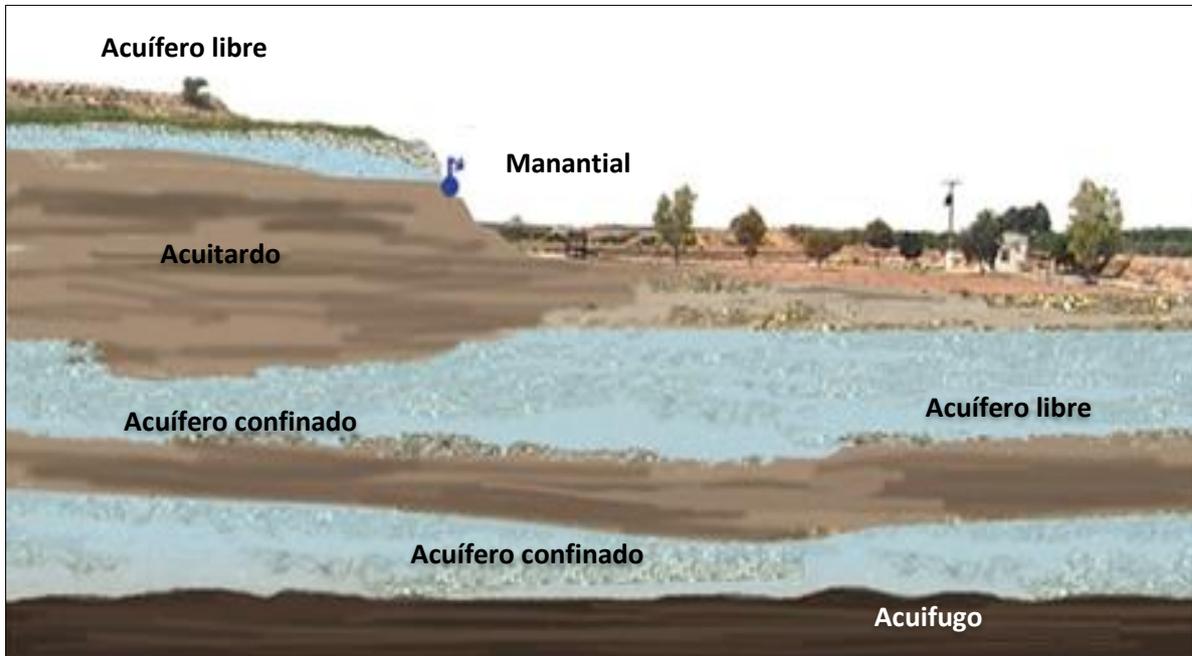


Figura 13. Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico y tipos de acuífero (Hiscock, 2005).

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Alcalinidad.** Es una medida de la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH (capacidad para neutralizar ácidos) (Barba, 2002)

**Caudal.** Cantidad de agua que avanza en una unidad de tiempo (Rojas, 2006)

**Conductividad eléctrica (CE).** Capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Mantiene una buena correlación con TDS y con otros índices como cloruros, sulfatos y dureza total (Rojas, 2006).

**Sólidos totales disueltos (TDS):** Se obtiene por sumatoria del peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles. Hace referencia a esta variable con el término “salinidad” (Rojas, 2006).

Solubilidad. Propiedad de los minerales de disolverse ante la presencia de ciertos líquidos, solubles en el agua, en los ácidos, en el agua regia, entre otros (Dávila, 2011)

Temperatura ( $T^{\circ}$ ). Propiedad básica de un equilibrio térmico medido por varias escalas (Celsius, Kelvin, Fahrenheit, Rankin), basados en los cambios de volumen, resistencia eléctrica, fuerza termal electromotora o longitud (Dávila, 2011)

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN**

##### **3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Geográficamente la investigación se ubica en la hoja 14-g perteneciente a la zona 17S, al NE de la ciudad de Bambamarca, ubicado en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) DATUM WGS-84.

Tabla 5. Ubicación geográfica (DATUM WGS-84).

<b>COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		
<b>VÉRTICE</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
1	9271959	779401
2	9271959	782528
3	9267627	782528
4	9267627	779401

##### **3.1.2 UBICACIÓN POLÍTICA**

Políticamente la investigación se encuentra ubicada en la región Cajamarca, provincia Hualgayoc, distrito Bambamarca, Centros Poblados Tuco y Tallamac.

##### **3.1.3 ACCESIBILIDAD**

El acceso al área de estudio se realiza por vía terrestre (Tabla 6). La distancia desde la ciudad de Cajamarca hasta la ciudad de Bambamarca es 112 Km por la carretera 3N; desde la ciudad de Bambamarca hasta la Zona termal Piñipata se recorre 12 Km utilizando la carretera afirmada ubicada a orillas del río Llaucano que va al Centro Poblado La Paccha (Figura 15).

Tabla 6. Tramos de acceso al área de estudio.

TRAMO	DISTANCIA (Km)	TIPO DE VIA
Cajamarca- Bambamarca	112	Asfaltada- Carretera 3N
Bambamarca- zona de estudio	12	Carretera afirmada



Figura 14. Acceso terrestre para llegar a la ciudad de Bambamarca y a los centros poblados Tuco y Tallamac donde se desarrolla la investigación.

### 3.2 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es cuantitativo, nivel descriptivo y explicativo, con diseño no experimental y transversal en el tiempo. Por otro lado, el método utilizado es deductivo, en el cual a partir de la recopilación general de datos se confirma la hipótesis planteada con respecto a la zona termal Piñipata, Analítico ya que por medio del análisis de todos los datos obtenidos en campo conjuntamente con los datos del análisis de agua en el laboratorio se demuestra cuáles son las características geológicas de la zona termal Piñipata.

### **3.3 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA RECOPIACIÓN DE DATOS**

Los procedimientos y técnicas de recopilación de datos inician con la revisión de bibliografía referente al tema de investigación y su compilación para luego realizar la interpretación de resultados, dicha metodología se realiza en tres etapas secuenciales.

#### **3.3.1 ETAPA PRE-CAMPO, REQUERIMIENTO BIBLIOGRÁFICO**

Se realizó la compilación, selección y evaluación de la información bibliográfica sobre la estratigrafía, geología estructural, fuentes termales de Piñipata. Así mismo, se realizó la reparación de planos preliminares como: topográficos, geológico, estructuras geológicas, inventario de fuentes termales; dicha información se obtuvo en la base de datos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

#### **3.3.2 ETAPA DE CAMPO**

La presente tesis enfatizó el trabajo de campo que se describe a continuación, se realiza 06 estaciones estructurales en sectores representativos donde los afloramientos de roca permitían desarrollar actividades de la toma de datos microestructurales como rumbo y buzamiento en plano de falla y diaclasas, indicadores cinemáticos, pitch de las estrías de falla; se realiza el cartografiado geológico de los afloramientos rocosos correspondiente a las formaciones geológicas identificadas con su respectiva recolección de muestras de roca. En los manantiales termales encontrados se tomaron los datos de temperatura, pH y se sacaron dos muestras de agua en embaces esterilizados evitando la contaminación de la muestra y rotulados para su identificación, estas muestras son enviadas a laboratorio para su análisis respectivo.

#### **3.3.3 ETAPA POST CAMPO**

En esta etapa se procedió a procesar los datos obtenidos y validados en la etapa de campo. También se contempla en esta etapa la redacción de la tesis, así como la elaboración de planos geológico y geotérmico; interpretación de los resultados de laboratorio y elaboración de secciones geológicas.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN**

Los equipos que se utilizan tanto en campo como gabinete son de gran importancia para realizar un estudio geológico. Dentro ellos tenemos:

#### **3.4.1 INSTRUMENTOS DE CAMPO:**

Picota geológica: Se usará para tomar muestras de las rocas aflorantes.

GPS navegador Garmin Etrex 20: Toma de coordenadas y cotas.

Brújula Brunton (azimutal): para la toma de datos como son rumbo y buzamiento de los estratos, fallas, diaclasas.

Planos Topográficos 1:25000: Sirve para el cartografiado en campo.

Formatos para descripción de muestras de roca.

Formatos para la descripción de manantiales termales.

Etiquetas de rotulado para envases donde se recolectó las muestras de agua.

Protactor: Ayuda en la ubicación de estructuras geológicas en el plano.

Libreta de Campo: Herramienta esencial para el registro de la toma de datos.

Flexómetro (5m): Para la medición del espesor de los afloramientos de roca.

Cámara fotográfica digital Kodak AF 5x 36mm-108mm 14mpx: para la toma de fotografías de las evidencias en campo.

Water Thermometer: mide la temperatura del agua en los manantiales encontrados.

Peachimetro, para medir el nivel del pH en los manantiales.

#### **3.4.2 INSTRUMENTOS DE GABINETE:**

Laptop Lenovo Core i3: Servirá para el procesamiento de los datos tomados en campo y redacción de informe final.

Impresora: para imprimir el informe y planos necesarios.

Softwares. ArcGIS 10.3, SASPlanet, Global Mapper 18, Dips v6, Faultkinwin 8

Programas computacionales: Word 2016, Excel 2016: para procesar datos, elaborar informe.

Formatos para resultados de análisis fisicoquímico de agua en laboratorio.

### **3.4.3 TÉCNICAS**

Una vez realizado la etapa de campo, se procesa y valida los datos en gabinete, apoyados de diversos equipos y software antes mencionados que ayudaran a generar modelos respecto a la interpretación de los resultados analizados y procesados. La recolección de información se realizará empleando las siguientes técnicas:

Análisis Documental, que consiste en analizar todos los datos obtenidos in situ por medio de formatos para estaciones estructurales, propiedades físicas de las aguas termales.

Tomas de muestras in situ, usando la picota de geólogo fracturamos la roca para obtener una muestra de mano que nos permita describir sus características.

Tomas Fotográficas, son la evidencia que respalda a los datos obtenidos en campo.

### **3.5 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis e interpretación de datos se realiza en gabinete donde se utiliza la data obtenida en campo conjuntamente con los resultados de laboratorio para las muestras de agua. Las cuales nos permitan realizar una mejor interpretación de las características geológicas de la zona termal Piñipata.

### **3.6 CONTROL Y CALIDAD DE DATOS**

La calidad de los datos es un factor muy importante a considerar, puesto que la interpretación de los resultados geológicos - estructurales y geotérmicos están en función a los datos y medidas que se toman in situ. La obtención de los datos geológicos y estructurales tiene una serie de limitaciones que es preciso conocer, tales como la aplicación del control de calidad. Este concepto comienza desde la etapa pre - campo debido a que es necesario contar con equipos (GPS Navegador, brújula Brunton, Water Thermometer) debidamente calibrados y configurados, para asegurar la obtención confiable de datos.

### **3.7. CONTEXTO GEOLÓGICO**

#### **3.7.1 GEOMORFOLOGÍA**

##### **3.7.1.1 Cañón**

Esta geoforma se ha formado por la acción erosiva del río Llaucano en rocas de la Formación Farrat la cual presenta rocas con moderado fracturamiento también producto de los procesos tectónicos. Presenta paredes verticales con una profundidad aproximada de 150 m de las partes altas se puede apreciar la caída de agua en forma de cascadas; el lugar es conocido como Cañón de Tallamac (Foto 01).

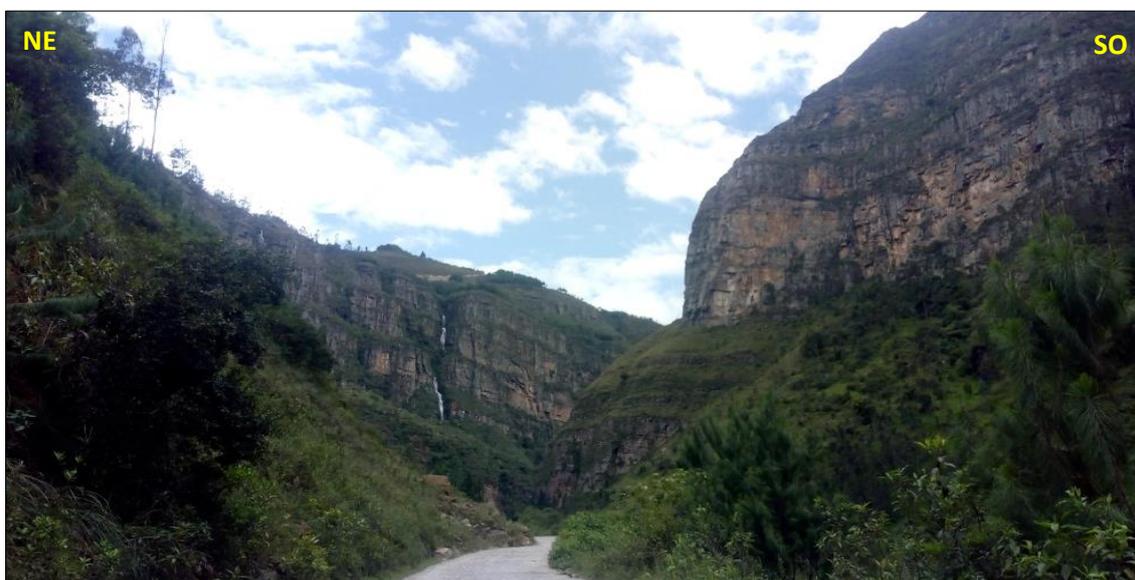


Foto 1. Cañón de Tallamac, formado en rocas areniscas de la Formación Farrat (Coordenadas UTM 779949 E, 9268290 N).

##### **3.7.1.2 Terraza Fluvial**

Está formado a las riberas del río Llaucano y consta de material arenoso con presencia de clastos redondeados de composición polilítica; son evidencia remante del cauce antiguo del río. Actualmente son utilizados como chacras de cultivo y zonas donde se ha construido lugares recreativos como piscinas termales (Foto 2).



Foto 2. Terraza fluvial a la margen izquierda aguas arriba del río Llaucano, donde se encuentra Piscinas termales el Bom - Bom. (Coordenadas UTM 780341 E, 9269178 N).

### 3.7.2 GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo a la clasificación de regiones termales del Perú, la zona termal de Piñipata se ubica en la Región I que corresponde a la Región Cajamarca. Estratigráficamente, en la zona de estudio se han identificado las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat pertenecientes al Cretácico Inferior las cuales han sido formadas en un ambiente continental y su litología consta de rocas clásticas como areniscas y arcillitas que se pueden observar en los afloramientos encontrados en ambos flancos del río Llaucano. La Formación Chimú característicamente se identifica por los mantos de carbón que presenta; en cuanto a la Formación Santa no se ha logrado identificar ningún afloramiento debido a la cobertura de material cuaternario, además entre el posible contacto identificado entre las Formación Chimú y Santa existe una falla inversa. La Formación Carhuaz aflora suprayaciendo a la Formación Santa e infrayaciendo a la Formación Carhuaz, sus afloramientos de areniscas intercalados con arcillitas se observan en los cortes de carretera. La Formación Farrat aflora en el Cañón de Tallamac, esta geoforma es el resultado de procesos tectónicos y procesos erosivos que han fracturado las rocas areniscas.

### 3.7.2.1 GRUPO GOYLLARISQUIZGA

#### 3.7.2.1.1 FORMACIÓN CHIMÚ

La Formación Chimú pertenece al Valanginiano Inferior a medio, litológicamente está constituida por alternancia de estratos de espesor promedio de 1m de rocas areniscas cuarzosas de color gris a blanquecino con grano medio a grueso, y estratos con espesor promedio de 50 cm de arcillitas grises. Además, alberga mantos de carbón que son trabajados de manera artesanal por los pobladores de la zona (Foto 3).



Foto 3. Afloramientos de la Formación Chimú areniscas intercaladas con arcillitas grises y mantos de carbón (Coordenadas UTM 781978 E, 9271622 N).

Hidrogeológicamente la Formación Chimú es considerada como un acuífero fisurado (Vargas,2010) ya que ha sido afectado por una intensa actividad tectónica, lo que contribuye a su importante permeabilidad secundaria; esto ocurre debido a que las areniscas cuarzosas presentan fracturamiento asociado a la actividad tectónica expresada por pliegues, fracturas y fallas tanto locales como regionales. Es por eso que en esta formación es posible realizar captaciones de aguas subterráneas.

### 3.7.2.1.2 FORMACIÓN SANTA

En área de estudio no se ha logrado identificar afloramientos de la Formación Santa ya que se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. Por lo cual guiados por la estratigrafía regional de Cajamarca se infiere que consiste en una intercalación de arcillitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras con un espesor que oscila entre los 100 y 150 m, suprayaciendo a la Formación Chimú e infrayaciendo a la Formación Carhuaz en discordancia paralela en ambos casos (Benavides, 1956).

### 3.7.2.1.3 FORMACIÓN CARHUAZ

En los afloramientos de Formación Carhuaz encontrados se observa que está constituido por roca arcillita color amarillenta con presencia de óxidos intercalado con areniscas grano fino a medio y moderadamente fracturada. La Formación Carhuaz infrayace en contacto paralelo a la Formación Farrat (Foto 4).

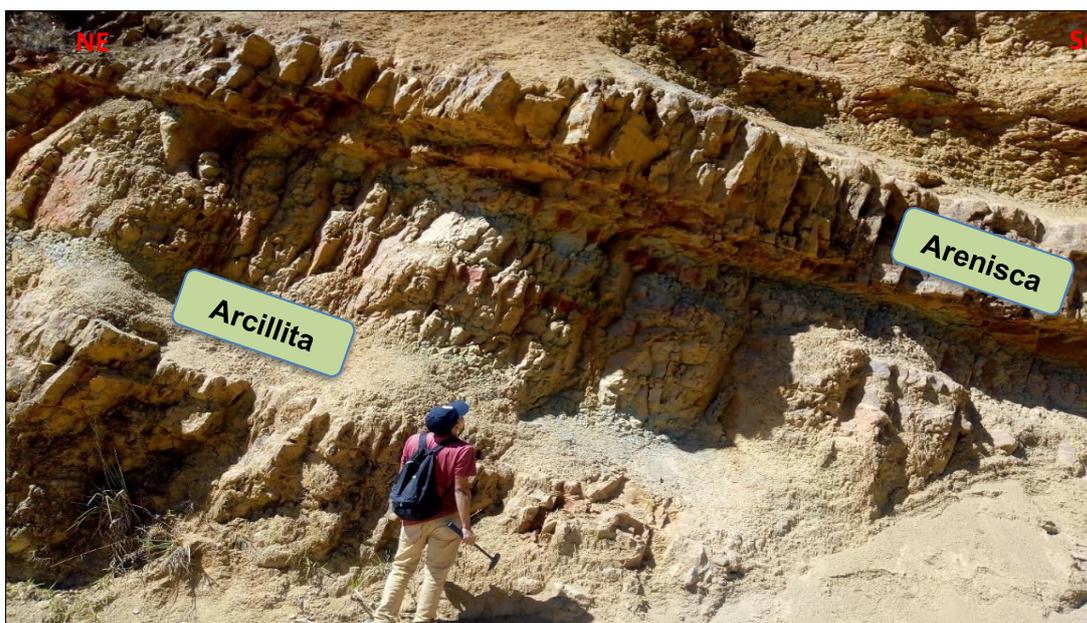


Foto 4. Intercalación de arcillitas y areniscas perteneciente a Formación Carhuaz (Coordenadas UTM 781282 E, 9269650 N).

Se identificó el contacto entre el techo de la Formación Farrat, conformado por roca arenisca blanquecina con pátina de óxidos, que suprayace a la Formación Carhuaz cuya base está constituida por de roca arcillita color gris. Este afloramiento se encuentra en el corte de carretera que conduce hacia el poblado La Paccha (Foto 5).



Foto 5. Contacto entre Formación Carhuaz y Formación Farrat (Coordenadas UTM 780 011 E, 9 268 075 N).

#### 3.7.2.1.4 FORMACIÓN FARRAT

Litológicamente se encuentra constituida por areniscas cuarzosas blanquecinas de grano medio a grueso con superficies rojizas producto de la oxidación, sus estratos alcanzan espesores mayores a 1m (Foto 6), los cuales se pueden observar en el Cañón de Tallamac. Estratigráficamente, la Formación Farrat suprayace concordantemente a la Formación Carhuaz, y se encuentra a ambos lados del río Llaucano.

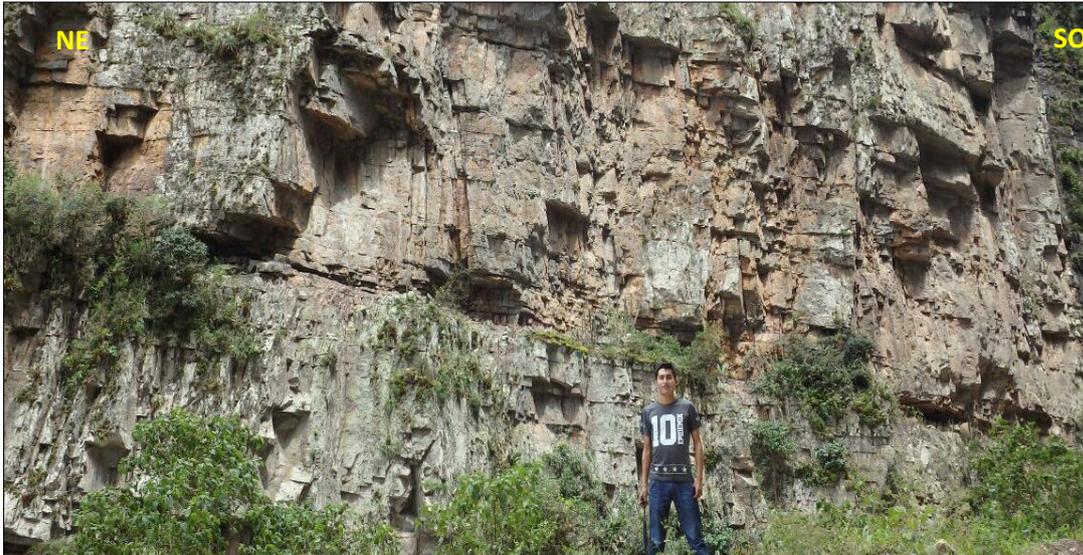


Foto 6. Estratos de rocas areniscas pertenecientes a la Formación Farrat en el Cañón de Tallamac (Coordenadas UTM 779 801 E, 9 267 808 N).

### DEPÓSITO FLUVIAL

Constituido por clastos subredondeado, en una matriz arenosa (Foto 7), debido a las condiciones hidrológicas y climáticas de su sedimentación, se ubican en las márgenes del río Llaucano formando terrazas fluviales.



Foto 7. Terraza con sedimentos fluviales a margen derecha aguas arriba del río Llaucano (Coordenadas UTM 781 665 E, 9 270 350 N).

En Anexo 6 se presenta la columna estratigráfica de la zona termal Piñipata donde se muestra de manera gráfica la secuencia de las unidades litoestratigráficas descritas en la geología local.

### 3.8. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA

Las rocas descritas a continuación se obtuvieron de los afloramientos encontrados que pertenecen a las Formaciones Chimú, Carhuaz, Farrat.

#### 3.8.1 Muestra de roca N° 01

Tabla 7. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°01.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS			
Muestra de Roca N° 01			
NORTE: 9269725	ESTE: 781084	COTA: 2118 m.s.n.m	
FORMACIÓN: Chimú	COLOR: Blanco	Nombre: Arenisca cuarzosa	
COMPONENTES			
CLASTOS: No presenta			
MATRIZ:			
CEMENTO: Sílice			
TEXTURA			Tamaño de grano: Medio- grueso
			Forma de grano: Subanguloso
			Grado de selección: Medio
PARTÍCULAS CONSTITUYENTES			
Cuarzo: 100% del total de muestra			
Feldespatos: No presenta			
Otros: Presencia de pátinas de óxidos.			

Fuente: Adaptado de Arapa 2018.

#### 3.8.3 Muestra de roca N° 02

Tabla 8, Descripción y clasificación de la muestra de roca N°02.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS			
Muestra de Roca N° 02			
NORTE: 9271579	ESTE: 781892	COTA: 1963 m.s.n.m	
FORMACIÓN: Chimú	COLOR: Gris	Nombre: Arenisca cuarzosa	
COMPONENTES			
CLASTOS: No presenta			
MATRIZ:			
CEMENTO: Sílice			
TEXTURA			Tamaño de grano: Medio
			Forma de grano: Subredondeado
			Grado de selección: Bien seleccionado
PARTÍCULAS CONSTITUYENTES			
Cuarzo: 100% del total de muestra			
Feldespatos: No presenta			

Fuente: Adaptado de Arapa 2018.

### 3.8.4 Muestra de roca N° 03

Tabla 9. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°03.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS			
Muestra de Roca N° 03			
<b>NORTE:</b> 9270221	<b>ESTE:</b> 781666	<b>COTA:</b> 2065 m.s.n.m	
<b>FORMACIÓN:</b> Chimú	<b>COLOR:</b> Blanco	<b>Nombre:</b> Arenisca cuarzosa	
COMPONENTES			
<b>CLASTOS:</b> No presenta			
<b>MATRIZ:</b>			
<b>CEMENTO:</b> Sílice			
<b>TEXTURA</b>			Tamaño de grano: Medio
			Forma de grano: Subredondeado
			Grado de selección: Bien seleccionado
<b>PARTÍCULAS CONSTITUYENTES</b>			
<b>Cuarzo:</b> 100% del total de muestra			
<b>Feldespatos:</b> No presenta			

Fuente: Adaptado de Arapa 2018.

### 3.8.4 Muestra de roca N° 04

Tabla 10. Descripción y clasificación de la muestra de roca N°04.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICAS			
Muestra de Roca N° 4			
<b>NORTE:</b> 9269743	<b>ESTE:</b> 781411	<b>COTA:</b> 2115 m.s.n.m	
<b>FORMACIÓN:</b> Carhuaz	<b>COLOR:</b> Blanco	<b>Nombre:</b> Arenisca cuarzosa	
COMPONENTES			
<b>CLASTOS:</b> No presenta			
<b>MATRIZ:</b>			
<b>CEMENTO:</b>			
<b>TEXTURA</b>			Tamaño de grano: Fino
			Forma de grano: Subredondeado
			Grado de selección: Bien seleccionado
<b>PARTÍCULAS CONSTITUYENTES</b>			
<b>Cuarzo:</b> 100% del total de muestra			
<b>Feldespatos:</b> No presenta			
<b>Otros:</b> Presenta oxidos			

Fuente: Adaptado de Arapa 2018.

### **3.9 CONTEXTO GEOTERMAL**

La evidencia del potencial geotérmico en Perú es dada por más de 500 grupos de manifestaciones termales distribuidas en todo el territorio. Estas manifestaciones han sido documentadas en una serie de publicaciones del INGEMMET (Servicio Geológico del Perú). En el país se han identificado seis amplias regiones geotérmicas; las regiones septentrionales y centrales se caracterizan por sistemas geotérmicos controlados por la tectónica, relacionados con fallas recientes y con la elevación rápida, mientras que las dos regiones meridionales incluyen la sea sistemas con control estructural, como sistemas magmáticos, relacionados con la cordillera volcánica activa/reciente (Muñoz et al,2014).Para una adecuada exploración de sistemas geotérmicos es importante conocer y desarrollar la interpretación de su ambiente favorable, sus controles estratigráficos y estructurales permitiendo establecer el grado de variación de la permeabilidad en función de la geología (Mejía et al, 2012)Las manifestaciones termales de Piñipata se encontraron en el margen izquierdo aguas abajo del Río Llaucano, en forma de manantiales algunos de los cuales son captados por los pobladores para uso en balnearios y promocionarlos como atractivos turísticos de la zona. De los manantiales encontrados se ha tomado datos de temperatura para realizar el inventario de dichos manantiales y poder caracterizar la zona termal en base a su temperatura.

#### **3.9.1 INVENTARIO DE MANATIALES**

En la tabla 11 se muestra la ubicación de cada uno de los manantiales termales, sus características que muestran en los puntos de surgencias donde se ha tomados los siguientes datos in situ: coordenadas UTM, valores de pH medido con peachímetro y temperatura medidos con termómetro para agua; además se realizó la descripción correspondiente a cada manantial.

Tabla 11. Inventario de manantiales termales en Piñipata.

INVENTARIO DE MANANTIALES							
MANANTIAL TERMAL	COORDENADAS			PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO		DESCRIPCIÓN	FOTO
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)	pH	Temperatura (°c)		
MT-01	781882	9271598	1966	6	35.4	Se encuentra en afloramiento fracturados de rocas areniscas color gris de la Formación Chimú. Por el proceso de interacción agua -roca forma precipitados oxidados coloración anaranjada. Punto de captación para los “Baños termales Piñipata”	
MT-02	781837	9271211	1975	5.95	36.2	Ubicado en margen izquierda del río Llaucano aguas abajo, el agua termal fluye por medio de fracturas en afloramiento de Formación Carhuaz. El proceso de interacción agua – roca forma precipitado gelatinoso de óxidos color anaranjado con olor fétido.	

MANANTIAL TERMAL	COORDENADAS			PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO		DESCRIPCIÓN	FOTO
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)	pH	Temperatura (°c)		
MT-03	780465	9269479	1990	5.96	37	El agua termal con olor fétido fluye por medio del plano de la falla que se encuentra en margen izquierdo aguas abajo del río Llaucano; se observan precipitados gelatinosos de óxidos color rojizo, formados por proceso de interacción agua-roca.	
MT-04	780487	9269387	2003	5.93	37	Se encuentra en margen izquierdo aguas abajo del río Llaucano, la surgencia es por medio de los sedimentos fluviales, muestra burbujeo constante. Como resultado del proceso de interacción del agua con los sedimentos se observa la formación de precipitados gelatinosos oxidadas color rojizo sobre los sedimentos.	

MANANTIAL TERMAL	COORDENADAS			PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO		DESCRIPCIÓN	FOTO
	Este	Norte	Cota (m.s.n.m)	pH	Temperatura (°c)		
MT-05	780442	9269315	2050	5.88	40.5	La surgencia de agua termal es por medio de material fluvial que se encuentra en el lecho del río Llaucano. Se observa precipitados de óxidos de hierro color rojizo como resultado de la interacción del agua - roca, además de un burbujeo constante del agua.	
MT-06	780151	9269085	2102	5.83	49	Este manantial se encuentra en afloramiento fracturado de rocas areniscas de formación Farrat y es el punto donde se capta aguas para piscinas "El Bom Bom". Como resultado del proceso de interacción agua - roca se forma precipitados de óxidos de hierro color anaranjado, el agua emite olor a fétido	

Fuente: Adaptado de Vargas y Cruz 2010

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el presente estudio se realizaron etapas previas para la obtención de datos, los cuales se plotean, integran, analizan e interpretan; para el procesamiento de datos estructurales se ha utilizado el Software Dips v6, Faultkinwin 8 donde se analiza la dirección de mayor fracturamiento de las rocas que albergan al reservorio del sistema geotermal Piñipata. El análisis geotérmico se realiza en base a los datos de campo y resultados de laboratorio de las muestras de agua recolectadas en cada manantial.

#### **4.1 CONTEXTO ESTRUCTURAL**

En campo se tomaron datos estructurales de diaclasas y estrías en los planos de falla con el fin de realizar un análisis de la deformación frágil de la zona a partir de mediciones microestructurales. Los datos de estrías fueron procesados para deducir el campo de esfuerzos actuantes, así como la cinemática de las estructuras producidas durante la deformación. Para la determinación del sentido del desplazamiento de las fallas se utilizaron los indicadores cinemáticos evidenciados como estrías y escalones de falla.

El procesamiento de mediciones geo-estructurales del sistema geotermal Piñipata sirve para el análisis de fallas y fracturas que son el medio de transporte de agua en los siguientes mecanismos: el agua meteórica se infiltra por medio de las fracturas desde la superficie hacia el subsuelo, por el gradiente térmico de la tierra alcanzan una temperatura superior a la temperatura ambiental en el reservorio termal, y apoyada por diferencia de presiones emergen hacia superficie por medio de fallas formando manantiales geotérmicos.

Etapas: cartografiado y recopilación de data geo-estructural tanto fallas como diaclasas, y su posterior análisis en gabinete con la ayuda de software (Dips v6 y Faultkinwin 8) e interpretación de resultados.

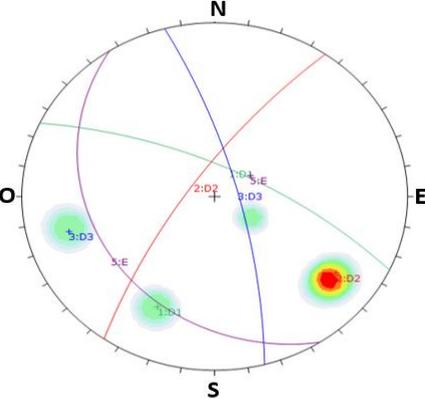
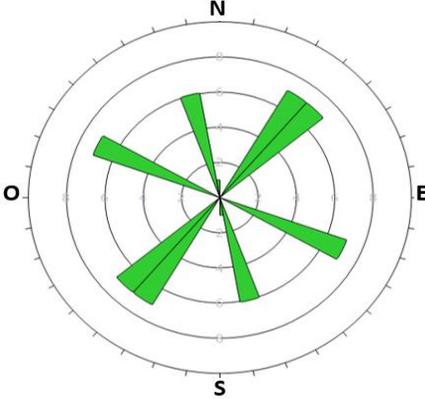
Se ha realizado 06 estaciones estructurales en los afloramientos rocosos; cada medida está compuesta por los siguientes parámetros: rumbo, buzamiento, dirección de buzamiento de fallas y familias de diaclasas, así como también el pitch de estrías de falla; estos parámetros son los necesarios para ingresar en la base de los softwares Dips v6 y Faultkin 8, para así poder hacer su respectivo análisis.

La veracidad de los datos obtenidos se ha realizado mediante su representación en estereogramas conjuntamente con los valores numéricos que nos brinda los softwares antes mencionados los cuales se presenta en las tablas siguientes.

#### 4.1.1 Estación Estructural N°01

Ubicada al NE en la margen derecha de la carretera que conduce Bambamarca - La Paccha, donde afloran rocas areniscas de la Formación Chimú, se evidencia en 3 familias de diaclasas. Los datos obtenidos y su respectivo procesamiento se detallan en la tabla 12, donde se plotea las trazas de los planos y los polos donde se está concentrado el mayor fracturamiento de las rocas; el diagrama de rosetas muestra la dirección del mayor fracturamiento.

Tabla 12. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N°01.

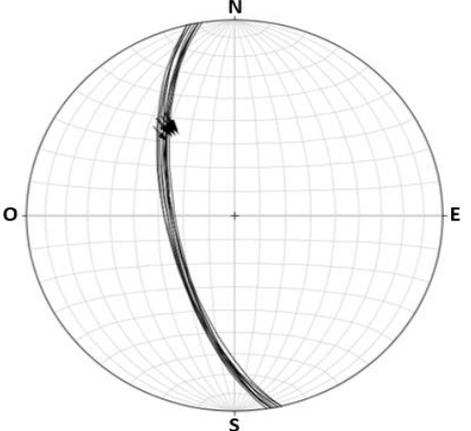
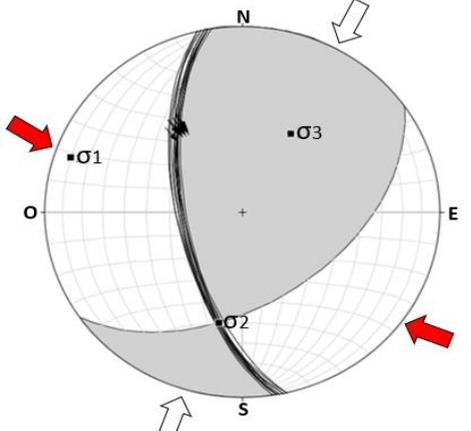
ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 01					
Coordenadas UTM					
NORTE	9270485	ESTE	781962	COTA (m.s.n.m)	2078
<b>Orientación de Sistema de Discontinuidades</b>		<b>Ilustración Fotográfica</b>		<b>Diagrama de Rosetas</b>	
					
<b>Estructura</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>		<b>Tipo de Roca</b>	Arenisca
D1	70	205		<b>Grado de Fracturamiento</b>	Moderado
D2	73	305		<b>Índice de Meteorización</b>	Moderado
D3	75	345		<b>Condiciones de agua</b>	Seco
E	30	300			
		<b>Calidad de roca</b>	Regular		

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

#### 4.1.2 Estación Estructural N°02

Ubicada al NE en la margen derecha de la carretera que conduce Bambamarca- La Paccha, en afloramiento de la Formación Chimú. en el plano de falla se observa 3 grupos de estrías las cuales han sido clasificadas en base a su ángulo de inclinación (pitch), los datos de estrías procesados estadísticamente en el software Faultkinwin 8 (Ver tabla 13).

Tabla 13. Ploteo de estrías de la estación estructural N°02 en software Faultkinwin 8.

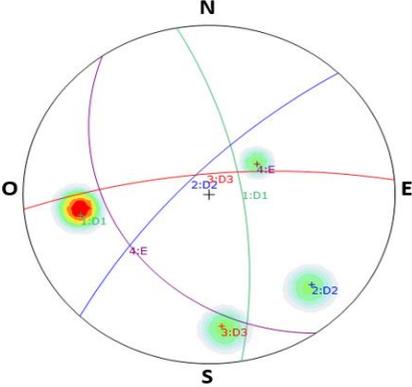
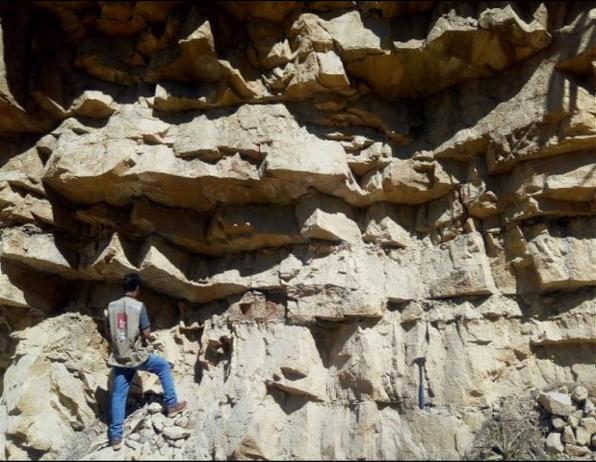
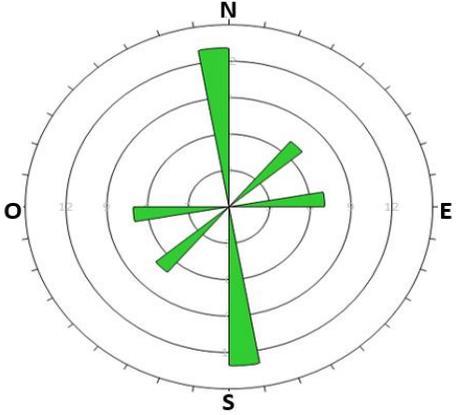
ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 02										
Coordenadas UTM										
NORTE		9271140		ESTE		780443		COTA (m.s.n.m)		2442
Ploteo de estrías de falla				Ilustración Fotográfica					Diagrama de esfuerzos	
										
Estructura	Estría	Az	Bz	Pich	Cinemática	Eje	Dirección	Cabeceo	Posición de Anderson	Régimen Tectónico
PLANO DE FALLA	E-1	N349	66 SE	47 NO	Sxlx	$\sigma_1$	289°	9°	Horizontal	Compresivo Transformante
	E-2	N350	65 SE	45 NO	Sxlx	$\sigma_2$	191°	39°	Vertical	
	E.3	N349	64 SE	46 NO	Sxlx	$\sigma_3$	30°	50°	Vertical	

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

### 4.1.3 Estación Estructural N°03

Ubicada al NE en la margen derecha de la carretera que conduce el tramo Bambamarca - Paccha, donde afloran rocas areniscas pertenecientes a la Formación Chimú, el fracturamiento se evidencia en 3 familias de diaclasas. En los datos ploteados en la tabla 14 se puede observar la mayor concentración de polos hacia el Este de la región, donde los esfuerzos graficados en el diagrama de rosetas muestran que el fracturamiento es hacia la parte central desde todas las direcciones.

Tabla 14. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N° 03.

ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 03					
Coordenadas UTM					
NORTE	9269646	ESTE	781253	COTA (m.s.n.m)	2254
<b>Orientación de Sistema de Discontinuidades</b>		<b>Ilustración Fotográfica</b>		<b>Diagrama de Rosetas</b>	
					
<b>Estructura</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>		<b>Tipo de Roca</b>	Arenisca
D1	70	84		<b>Grado de Fracturamiento</b>	Moderado
D2	75	314		<b>Índice de Meteorización</b>	Moderado
D3	77	355		<b>Condiciones de agua</b>	Seco
E	35	235			
		<b>Clasificación</b>	Regular		

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

#### 4.1.4 Estación Estructural N°04

Ubicada al NO en la margen izquierda aguas abajo del río Llaucano cerca de un manantial termal captado para las piscinas; afloran rocas areniscas blanquecinas de grano medio pertenecientes a la Formación Chimú, las cuales muestran una moderada meteorización, el fracturamiento se evidencia en 2 familias de diaclasas. Analizando los datos se observó que el fracturamiento de las rocas está hacia el Este del área de trabajo (ver Tabla 15).

Tabla 15. Ploteo de proyección estereográfica y diagrama de rosetas en el software Dips v6 de la estación estructural N° 04.

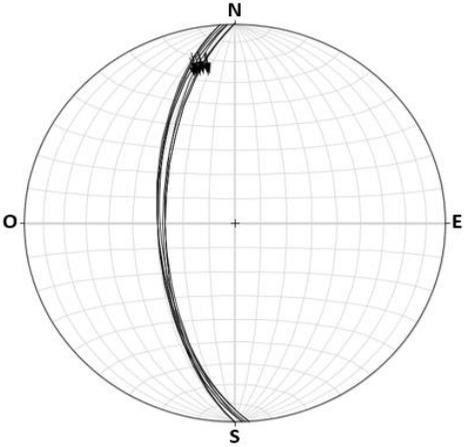
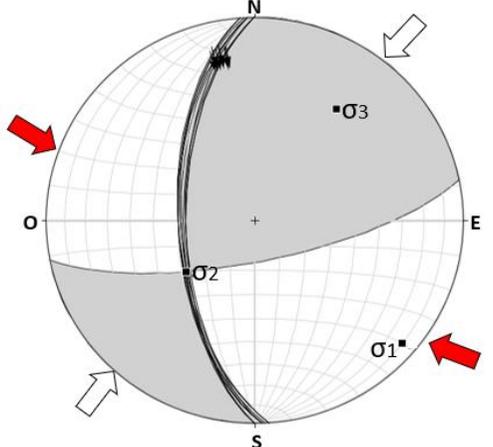
ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 04					
Coordenadas UTM					
NORTE	9269211	ESTE	780313	COTA (m.s.n.m)	2130
Orientación de Sistema de Discontinuidades		Ilustración Fotográfica		Diagrama de Rosetas	
<b>Estructura</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>		<b>Tipo de Roca</b>	Arenisca
D1	82	255		<b>Grado de Fracturamiento</b>	Moderado
D2	75	326		<b>Índice de Meteorización</b>	Moderado
E	36	235		<b>Condiciones de agua</b>	Húmedo
		<b>Clasificación</b>	Regular		

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

#### 4.1.5 Estación Estructural N°05

Ubicada en el SO del área de estudio donde afloran rocas de la Formación Chimú a la margen izquierda aguas abajo del río Laucano, se muestra estrías en el plano de falla que indican un movimiento de componente sinistral inverso. Está conformada por 3 grupos de estrías las cuales han sido clasificadas en base a su ángulo de inclinación (pitch) (ver Tabla 16).

Tabla 16. Ploteo de estrías de la estación estructural N° 05 en software Faultkinwin 8.

ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 05										
Coordenadas UTM										
NORTE		9269482		ESTE		780469		COTA (m.s.n.m)		2134
Ploteo de estrías de falla				Ilustración Fotográfica				Diagrama de esfuerzos		
										
Estructura	Estría	Az	Bz	Pich	Cinemática	Eje	Dirección	Cabeceo	Posición de Anderson	Régimen Tectónico
PLANO DE FALLA	E-1	N357	66 SE	19 NO	SxIx	$\sigma_1$	131°	8°	Horizontal	Transformante Compresivo
	E-2	N362	63 SE	19 NO	SxIx	$\sigma_2$	232°	56°	Vertical	
	E.3	N357	60 SE	19 NO	SxIx	$\sigma_3$	35°	33°	Vertical	

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

#### 4.1.6. Estación Estructural N°06

Ubicada al SW en afloramiento de la Formación Carhuaz, margen izquierda aguas abajo del río Llaucano; se muestra estrías en el plano de falla que indican un movimiento de componente sinistral inverso. Está conformada por 2 grupos de estrías las cuales han sido clasificadas en base a su ángulo de inclinación (pitch) (ver tabla 17).

Tabla 17. Ploteo de estrías de la estación estructural N° 06 en software Faultkinwin 8.

ESTACIÓN ESTRUCTURAL - N° 06										
Coordenadas UTM										
NORTE		9269264		ESTE		780069		COTA (m.s.n.m)		2300
Ploteo de estríogoleas de falla				Ilustración Fotográfica					Diagrama de esfuerzos	
Estructura	Estría	Az	Bz	Pich	Cinemática	Eje	Dirección	Cabeceo	Posición de Anderson	Régimen Tectónico
PLANO DE FALLA	E-1	N95	85 SO	24 NO	Sxlx	$\sigma_1$	49°	21°	Horizontal	Compresivo Transformante
	E-2	N95	83 SO	25 NO	Sxlx	$\sigma_2$	262°	65°	Vertical	
						$\sigma_3$	143°	13°	Horizontal	

Fuente: Adaptado de Becerra 2017.

## 4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediante la recopilación y análisis de datos estructurales correspondientes a fallas y diaclasas en el área de estudio, se ha registrado la evidencia de dos eventos tectónicos importantes. El primer evento es de régimen compresivo con dirección NO – SE, formando falla inversa que se encuentran al Norte y es aquí donde se ha encontrado los manantiales agua termal con 35.4 °C de temperatura registrada en superficie en la margen izquierda aguas abajo del río Llaucano; el segundo evento tectónico ocurrido muestra una dirección SO- NE y se evidencia por medio una falla tipo sinistral inversa encontrada en el lado izquierdo aguas abajo del río Llaucano. Existe un tercer evento de menor magnitud comparado con los dos anteriores y origina una falla tipo dextral inversa, se encuentra al SO en el lado izquierdo aguas abajo del río Llaucano (ver Anexo N° 2: Plano geológico).

Del procesamiento y análisis de los datos estructurales obtenidos en campo mediante el diagrama de rosetas y planos en el software Dips v6 se puede evidenciar que la disposición de planos de las diaclasas muestra mayor incidencia del fracturamiento con dirección NE- SO y buzamiento casi vertical bien definido desde los afloramientos de Formación Farrat en las cotas más altas, hasta los afloramientos de Formación Chimú en las cotas inferiores. Estas fracturas sirven como medio de transporte para la infiltración de agua meteórica que abastece al acuífero del sistema geotermal.

Los manantiales de agua termal se han encontrado en el flanco izquierdo del río Llaucano; hacia la parte norte se encuentran dos manantiales termales denominados M1 Y M2 donde el agua termal fluye por medio de los estratos de roca arenisca perteneciente a la Formación Chimú que presentan dirección NO – SE y entrando en contacto directo con mantos de carbón; la temperatura registrada es de 35.4°C. Hacia el Sur, los manantiales termales se encuentran en el eje de la falla sinistral inversa que tiene dirección SO - NE cuyo plano se observa en rocas areniscas de las Formaciones Carhuaz y Farrat; en esta parte el agua termal emerge desde las partes profundas por medio del plano de falla, algunos sectores están cubiertos por el material fluvial por lo cual el agua termal fluye por medio de estos sedimentos pero siguiendo la dirección del plano de falla, razón por la cual se asume que la falla actúa como medio de transporte del agua termal hacia la superficie.

Mediante los datos obtenidos en campo y basándonos en el estudio de (Vargas,2010), se interpreta que hidrogeológicamente la Formación Farrat actúa como un acuífero fisurado por el moderado grado de fracturamiento de las rocas areniscas; la Formación Carhuaz se comporta como acuitardo donde las arcillitas limitan la circulación del agua; la Formación Chimú actúa como acuífero fisurado por el fracturamiento de su litología de areniscas de grano medio a grueso y menor presencia de arcillitas en comparación a la Formación Carhuaz siendo el principal reservorio del agua termal. Como la estratigrafía para el Norte del Perú en diversos estudios se admite que infrayaciendo a la Formación Chimú se encuentra la Formación Chicama cuya litología consta de arcillitas negras laminares con pequeños estratos de areniscas, actúa como un acuitardo ayudando a mantener el agua subterránea en la base de la Formación Chimú. Esta sería la característica geológica del sistema geotermal Piñipata, el agua meteórica se infiltra desde las partes altas de la cuenca hasta una profundidad alrededor de 1500 m. siendo calentada por gradiente geotérmico, luego vuelve a emerger a superficie por medio de las fallas mostrando una gradación de temperatura superficial de los manantiales termales 35.4 °C en el norte hasta una temperatura máxima de 49.0 °C hacia el sur.

La ausencia de sinter hidrotermal en el punto de surgencia de los manantiales y rocas ígneas en el campo geotérmico permite descartar la idea que el sistema geotermal Piñipata sea de origen magmático, confirmando la hipótesis que las aguas termales son de origen meteórico calentadas por el gradiente geotérmico.

En campo se obtuvieron muestras de agua en cada manantial termal, haciendo un total de 6 muestras las cuales fueron utilizadas para realizar análisis físico químico en el Laboratorio de Salud Ambiental - DIRESA CAJAMARCA, de acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua propuestos por MINAM-PERÚ mediante el D.S. N°004-2017 (ver anexo 7: Resultados de laboratorio); se muestra una tabla comparativa y gráficas estadísticas donde se plotea los valores de los parámetros pH, temperatura, conductividad, STD, turbidez, SO<sub>4</sub>, Fe, Cu, Cr<sup>6+</sup>, NO<sub>3</sub> y Al, correspondiente a cada manantial y comparándolos con el límite máximo permisible del ECA para agua.

Tabla 18. Análisis físico químico de aguas termales.

PARÁMETROS	Estándares de calidad ambiental del agua. DS N°004-2017-MINAM	MUESTRAS EN CADA MANANTIAL TERMAL					
		MAT-1	MAT-2	MAT-3	MAT-4	MAT-5	MAT-6
pH	6.5 - 8.5	6	6	5.9	5.87	5.87	5.83
Temperatura	-	35.4	36.2	37	37	40.5	49
Conductividad (uS/cm)	1500	2975	2945	1900	1830	1768	1704
Sólidos Totales Disueltos STD (mg/l)	1000	1450	1400	1375	1290	970	840.3
Turbidez (UNT)	5	8.2	8	7.8	7.3	6.7	6.1
Sulfatos SO <sub>4</sub> (mg/l)	250	0.5	1.8	7.7	13.8	18.9	24.6
Hierro Fe (mg/l)	0.3	1.94	2.5	2.7	2.9	3	3.3
Cobre Cu (mg/l)	2	0.098	0.18	0.24	0.3	0.35	0.397
Cromo Cr <sup>6+</sup> (mg/l)	0.05	0.8	0.5	0.18	0.088	0.067	0.047
Nitrato NO <sub>3</sub> (mg/l)	50	0.4	1.3	1.45	1.9	1.9	2.2
Aluminio Al (mg/l)	0.9	0.037	0.035	0.028	0.022	0.021	0.019

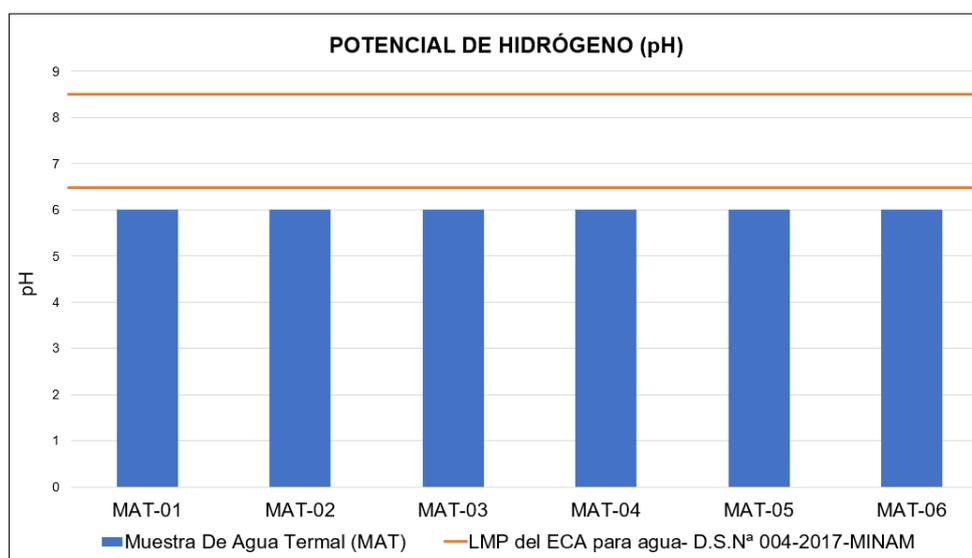


Figura 15. Valor de Potencial de Hidrógeno (pH) comparado con el LMP del D.S.N° 004-2017-MINAM para el ECA de agua.

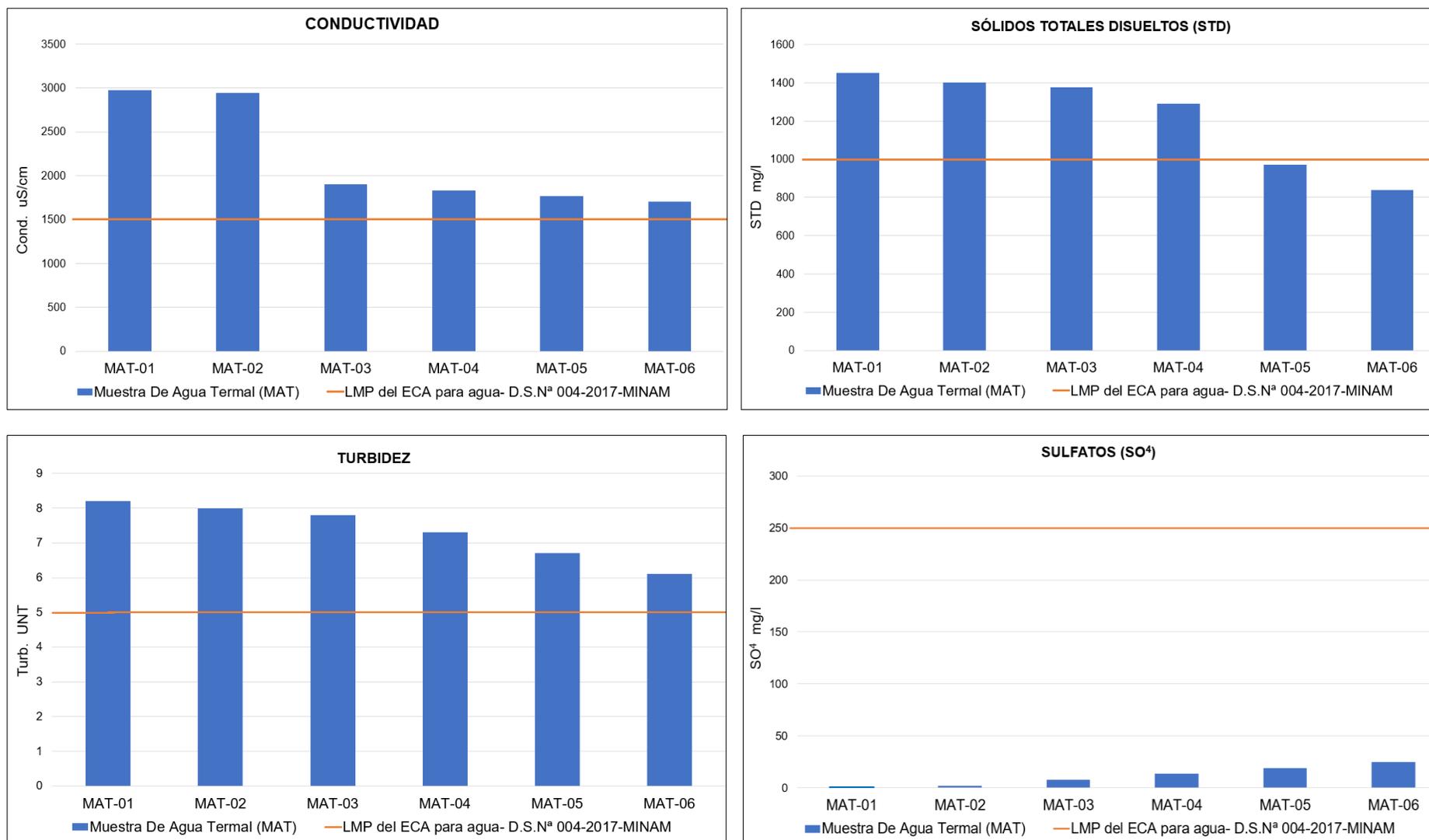


Figura 16. Valores de conductividad, Sólidos Totales Disueltos, turbidez y Sulfatos comparados con el LMP del D.S.N° 004-2017-MINAM para el ECA de agua.

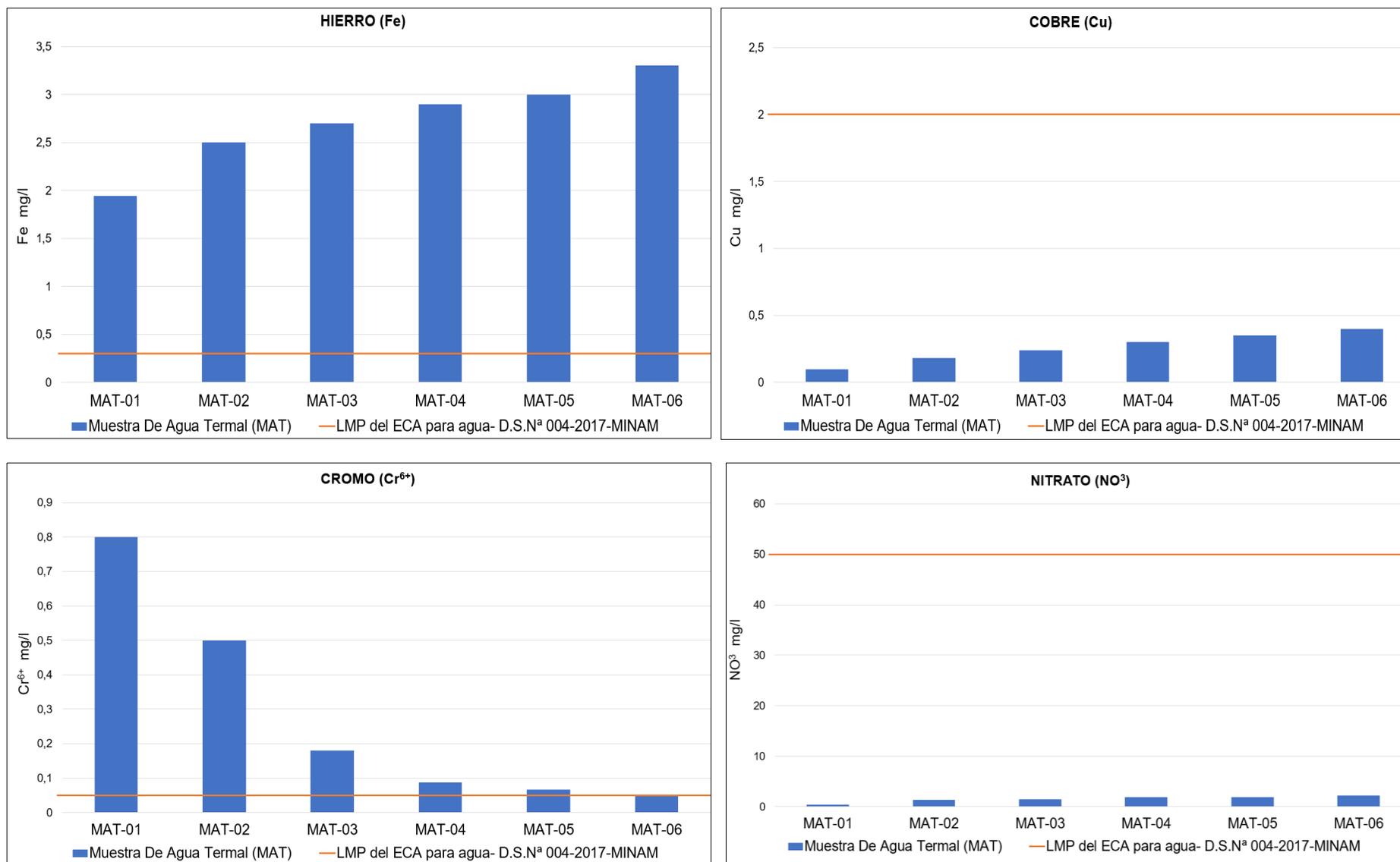


Figura 17. Valores de Hierro, Cobre, Cromo, Nitrato comparado con el LMP del ECA de agua\_ D.S.N° 004-2017-MINAM

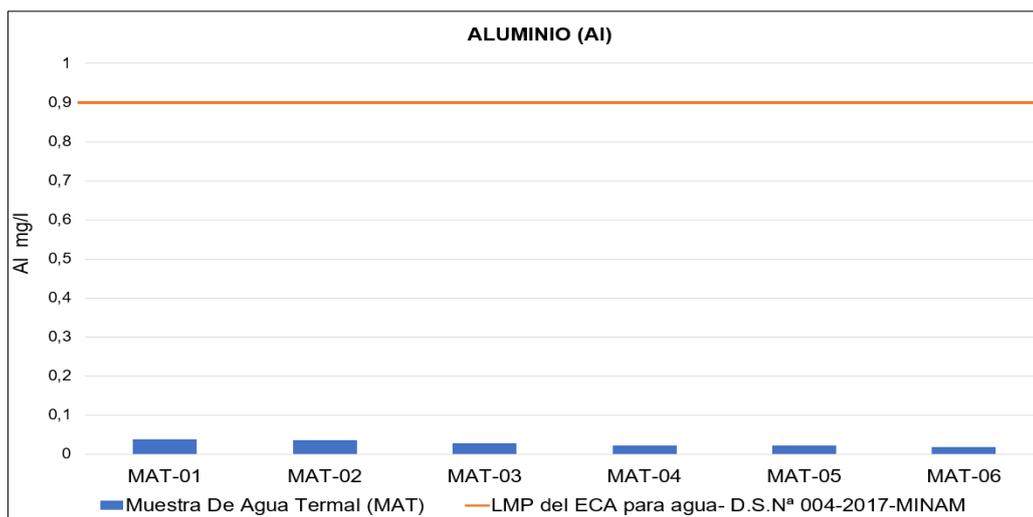


Figura 18. Valores de Aluminio comparado con el LMP del ECA de agua\_ D.S.N° 004-2017-MINAM.

Apoyándonos con las gráficas estadísticas observamos primero que los valores de Conductividad, STD, Turbidez, Fe, Cr sobrepasan los valores normales de concentración para ser agua de consumo humano de acuerdo al ECA promulgado en el D.S N° 004-2017-MINAM.

Los manantiales en el norte se encuentran emergiendo por medio de planos de estratificación y diaclasas en afloramientos superiores de la Formación Chimú, y en el Sur circulan por el plano de falla que fractura estratos de la Formación Carhuaz y Farrat, con lo cual realizamos las siguientes interpretaciones: en la parte sur el agua aumenta su temperatura demostrando que emerge desde una mayor profundidad por lo que también aumenta sus concentraciones de sulfato, hierro, cobre, nitrato ya que circula por estratos donde existe la presencia de estos minerales y al interactuar con ellos los transporta en forma iónica.

Una característica particular que se puede resaltar en cuanto a los valores de los siguientes parámetros: sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad eléctrica, Cromo y Aluminio es que su contenido es mayor en los manantiales del norte comparándolos con los manantiales al sur de área, esto se debe a que en el norte el agua termal entra en contacto directo con mantos de carbón cerca de la superficie, lo cual por proceso erosivo del agua sobre el carbón eleva su contenido de los parámetros ya mencionados.

En superficie de todos los manantiales identificados se observa que producto de la interacción agua – roca se forma pátinas de óxidos de hierro con coloraciones rojizas y el agua desprende un olor a azufre lo cual viene a ser una característica típica de las aguas termales.

Enlazando los datos estratigráficos, litológicos, estructurales, hidrogeológicos podemos idear un modelo conceptual de la zona termal Piñipata describiéndolo de la siguiente manera: la zona de recarga del sistema termal se encuentra en las partes altas de la cuenca, esta agua meteórica se infiltra siguiendo el patrón de fracturamiento en las rocas de las diversas formaciones descritas en los apartados anteriores, dicho patrón de fracturamiento tiene dirección NE-SO. Debido a que no se ha encontrado evidencia de procesos magmáticos y/o volcánicos en la zona ni cercano a ella, se asume que el sistema termal es controlado por fallas profundas y gradiente geotérmico, donde la transmisión de calor se hace por proceso conductivo, en el cual el agua meteórica infiltrada por medio de fracturas de las rocas llega a una determinada profundidad entre alrededor de 1500 m bajo la superficie hasta alcanzar el acuífero en la Formación Chimú donde se almacena ya que en la base tiene un nivel impermeable que en este caso sería el techo de la Formación Chicama constituido de arcillitas negras. El agua circulante a esta profundidad es calentada debido al fenómeno de gradiente geotérmico generando un flujo convectivo al circular en todo el medio por donde se transporta, el cual explica que a menor profundidad el agua es más fría y conforme profundiza su temperatura aumenta. Al cambiar de temperatura su densidad disminuye e intenta emerger hacia superficie encontrándose con agua más fría y volviendo a circular y nuevamente regresa hacia la profundidad, en el acuífero su temperatura alcanza un grado máximo y fluye hacia superficie por medio de la falla sinistral inversa cuyo plano actúa como conducto de transporte que se encuentra en la margen izquierda del río Llaucano. Las evidencias superficiales del proceso geotermal son los manantiales termales encontrados a lo largo de la margen izquierda aguas abajo del río los cuales presentan un rango de temperatura que varía desde 35.4°C al norte hasta 49.0°C al sur de campo geotérmico. Estos datos permiten interpretar que al sur el agua alcanza mayor profundidad debido a la configuración estratigráfica de las formaciones cuyos estratos tienden a buzarse hacia el sur.

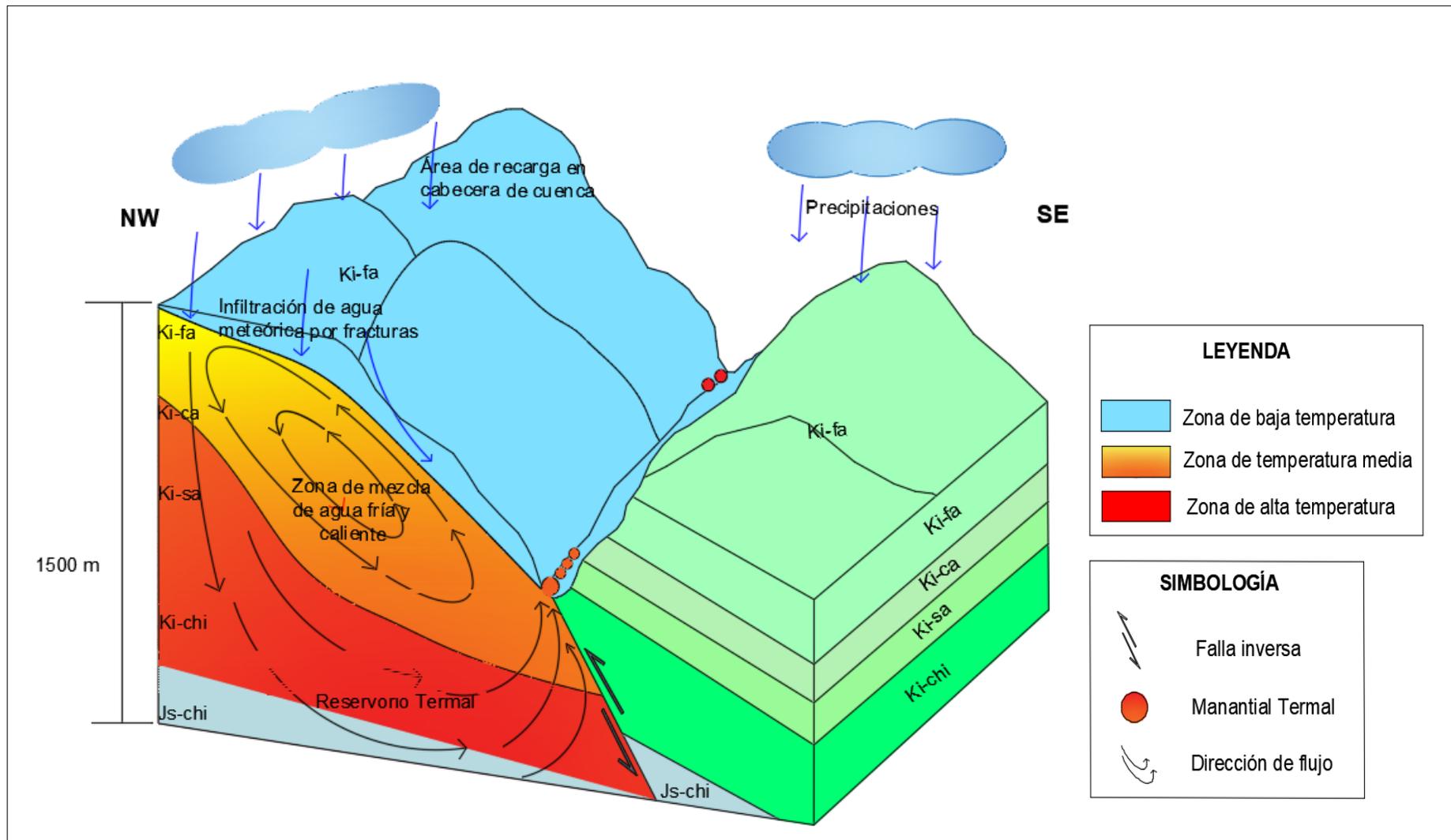


Figura 19. Modelo esquemático de la zona geotermal Piñipata.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

La característica geológica de la zona termal Piñipata es que el sistema geotérmico tiene su área de recarga ubicado en las partes altas de la cuenca desde donde el agua meteórica se infiltra por medio de rocas fracturadas hasta el acuífero de la Formación Chimú, se calienta por gradiente geotérmico y asciende a superficie como agua termal aprovechando los planos de estratificación de areniscas cuarzosas en el norte y la falla sinistral inversa que corta al Grupo Goyllarisquizga en el sur.

Mediante el análisis de datos estructurales se concluye la existencia de dos eventos tectónicos, el primero se observa en una falla inversa con dirección NW-SE y el segundo en la falla sinistral inversa SO-NE; además, el patrón de fracturamiento con orientación NO- SE.

Las surgencias de aguas termales se caracterizan por la presencia de pátinas oxidadas, olor a azufre y temperatura superficial mínima de 35.4°C al norte y 49 °C el sur, su pH de 5.83- 6 es moderadamente ácido.

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

Realizar estudios geofísicos con el fin de corroborar la profundidad a la que se encuentra el reservorio del sistema geotermal lo cual ayude a determinar y aprovechar el potencial geotérmico que tiene la zona de Piñipata.

Realizar estudios hidrogeoquímicos para tener un mejor conocimiento de la composición química y el dinamismo de circulación de las aguas termales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN. 2012. Plan maestro para el desarrollo de la energía geotérmica en el Perú. Informe Final para la República del Perú, MEM; p. 48-53.
- ARAPA, V. 2018. Manual de prácticas de Petrología. Universidad Nacional de Cajamarca; 23 p.
- BARTON, C., HICKMAN, S., MORIN, R., ZOBACK, M., FINKBEINER, T., SASS, J., BENOIT, D. 1997. Fracture permeability and its relationship to in-situ stress in the Dixie Valley, Nevada, geothermal reservoir. Proceedings, 22nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, SGP-TR-155, p. 147-152.
- BEARDSMORE, G.R. AND CULL, J.P. 2001. Crustal Heat Flow: A Guide to Measurement and Modelling. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 321 p.
- BECERRA, I. 2017 Caracterización Estructural de la Cuenca Mesozoica Arequipa en Pachía (36v) y Palca (36x) Mediante Análisis Microtectónico e Integración con Información Sísmica del Subsuelo. 165 p.
- BENAVIDES, V., (1956) – Cretaceous System in northern Perú. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. New York, vol. 108 p.
- BERTANI, R. 2010. WORLD GEOTHERMAL GENERATION IN 2010. Proceedings from WGC 2010, Bali. 10 p
- BERTANI, G., CASININ, M., GIANELLI, G., AND PANDELLI, E. 2006. Geological Structure of a long-living geothermal system, Larderello, Italy. Terra Nova, 18, p.163-169.
- BUNI, S. 2014. Los Retos para el Desarrollo de la Geotermia, 55 p.
- CAMARGO, J. 2015. Fallas y Fallamiento. Universidad Sur-colombiana, 94 p.
- CHAMORRO, G., CAMAZÓN, C. 2009. Energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos. Estado actual y perspectivas a nivel mundial. Vol. 84; p. 44-51.

- CRAW, D., KOONS, P.O., ZEITLER, P.K., AND KIDD, S.F. (2005). Fluid evolution and thermal structure in the rapidly exhuming gneiss complex of Namche Barwa-Gyala Peri, Eastern Himalayan syntaxis. *Journal of Metamorphic Geology*, p. 829–845.
- COE, A., ARGLES, T., ROTHERY, D., SPICER, R. 2010. *Geological Field Techniques*. Department of Earth and Environmental Sciences, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, UK; 337 p.
- CORONADO, Y., GARCIA, A., MARTÍNEZ, D. 2015. Metodología para la elaboración de un modelo conceptual a partir de datos geológicos, geofísicos y geoquímicos en la fase de reconocimiento y pre factibilidad de un proyecto geotérmico; 55 p.
- CUENOT, N., FAUCHER, J., FRITSCH, D., GENTER, A., SZABLINSKI, D. 2008. The European EGS project at Soultz-sous-Forets: from extensive exploration to power production. IEEE Power and Energy Society General Meeting. Pittsburg, 20-24 July 2008, 21 p.
- CUMMING, W. 2009. Geothermal resource conceptual models using surface exploration data. In *Proceedings*; 50 p.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M. 1996. *Hidrología subterránea*. 2a. ed. Barcelona: Omega; 100 p.
- CRUZ, V., VARGAS V., 2014. Geothermal Country Update for Perú; p. 6-7.
- DAVIS, A., MICHAELIDES, E. 2009. Geothermal power production from abandoned oil wells. *Energy*, Vol. 34; p. 866-872.
- DAVILA, J. 2011. *Diccionario Geológico*. INGEMMET; 901 p.
- DE VICENTE, G., MUÑOZ, A., GINER, J. 1992. El uso del método de los diedros rectos: Implicaciones a partir del modelo de deslizamientos del análisis poblacional de fallas. *Rev. Soc. Geol. España*; p. 25.
- DICKSON, M., FANELLI, M. 2005. *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Earthscan Publications Ltd.; 226 p.

- DOBLAS, M. 1998. Slickenside Kinematic indicators. Elsevier. Tectonophysics 295; p. 187-197.
- FARFÁN J., DE LA CRUZ C., LÓPEZ, N. 2015. Integración de datos geológicos y geoquímicos de un área geotermal, caso de estudio Colca - Perú. 92 p.
- FAULDS, J.E., COOLBAUGH, M., BOUCHOT, V., MOECK, I., AND OGUZ, K. 2010. Characterizing structural controls of geothermal reservoirs in the Basin and Range, USA, and western Turkey: Developing successful exploration strategies in extended terranes. Proceedings of World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010; paper 1163: 11 p.
- FAULDS, J.E., BOUCHOT, V., MOECK, I., AND OGUZ, K. 2009. Structural controls of geothermal systems in Western Turkey: A preliminary report. GRC Transactions, p 33, 375 - 383.
- FAULDS, J.E., HINZ, N., AND KREEMER, C. 2012. Structural and tectonic controls of geothermal activity in the Basin and Range province, Western US. Proceedings of New Zealand Geothermal Workshop, November 2012, Auckland, NZ, p 19-21
- FRIDLEIFSSON, G., ELDERS, W. 2005. The Iceland Deep Drilling Project: A search for deep unconventional geothermal resources. Geothermics, Vol. 34, p. 269-285.
- FLORES, R.; ROSAS, J. 1992. Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico La Primavera, Jal., México. 12 p.
- FLUQUER, P. 2015. Modelo hidrogeológico de las fuentes termales de Baños del Inca - Cajamarca. 45 p.
- FLYNN, G. AND GHUSN, G. JR. 1983. Geologic and hydrogeologic research in the Moana geothermal system, Washoe County, Nevada. GRC Transactions, p. 7, 417-421.
- GEHRINGER, M. AND LOKSHA V. 2012. Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation, published by ESMAP / World Bank, Washington DC, 2012. Available at [www. Esmap.org](http://www.Esmap.org). 25 p.

- GENTER, A., EVANS, K., CUENOT, N., FRITSCH, D., AND SANJUAN, B. 2010. Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). *Comptes Rendus Geosciences*, p. 342, 502-516.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2002. *Ingeniería Geológica*, Editorial PEARSON - Madrid – España; p. 178-180.
- HARVEY, C.C. AND HARVEY, M.C. 2010. The Prospectivity of Hotspot Volcanic Islands for Geothermal Exploration *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, April 25-29, 2010. P. 47-50.
- HOCHSTEIN, M.P., ZHENG, K., PASVANOGLU, P., AND VIVIAN-NEAL, P. 2013. Advective (heat sweep) geothermal systems. *Proceedings, 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Sanford, CA, Feb 11-13, 2013, SGP-TR-198. 8 p.
- HUAMANÍ, A. 2000. Aguas termales y minerales en el Norte del Perú, *INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales*, p. 40 – 54.
- HUI, L.; QINGJUN, Z.; PUYUAN, T. & WENQUANG, H. 2015. Technologies and applications of geophysical exploration in deep geothermal resources in China. En: *World Geothermal Congress, Melbourne, Victoria, 2015. Proceedings*. Bochum: International Geothermal Association, 8 p.
- INGEBRITSEN, S.E. AND SOREY, M.L. 1988. Vapor-dominated zones within hydrothermal systems; evolution and natural state. *Journal of Geophysical Research*, v. p. 93, 126-351- 365.
- ISCOCK, K. 2005. *Hydrogeology Principles and Practice* School of Environmental Sciences University of East Anglia United Kingdom, 405 p.
- JORQUERA, C. 2019. Presentación: Mas halla de la electricidad - Asociación Internacional de Geotermia -IGA. En *Congreso Anual de Geotermia -Offenburg, Alemania*. 14 p.
- KAGEL, A., GAWELL, K. 2005. Promoting geothermal energy: Air emissions comparison and externality analysis. *The Electricity Journal*, Vol. 18, p. 90-99.

- LOPEZ, J., LARA, A., SANZ, L. 2012. Atlas de rocas sedimentarias, p. 104.
- LLOPIS, G., RODRIGO, V. 2008. Guía de la Energía Geotérmica. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Consejería de Economía y Consumo. Comunidad de Madrid. 186 p.
- LUND, J., FREESTON, D., BOYD, T. 2005. World Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005. Proc. of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, April 2005, p. 120-140.
- MARTINEZ, F. 2003. Geología Estructural y Dinámica Global. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca; p 431.
- MEJÍA, E., VELANDIA, F., ZULUAGA, C., LOPEZ, J., CRAMET, T. (2012). Análisis estructural Noreste del volcán del Ruiz, Colombia- Aporte a la exploración geotérmica; p. 31 - 39.
- MARTINI, S. 2008. Sistemas Estructurales y Recursos Geotermales en la Cordillera Principal de Chile Central. (32°30' - 34°00' de Latitud Sur); p. 44 - 73.
- MEJÍA E., VELANDIA F., ZULUAGA, C., LÓPE, J., CRAMER, T. 2012. Análisis Estructural al Noreste del Volcán Nevado del Ruíz, Colombia- Aporte a la Exploración Geotérmica. 16 p.
- MCCOY-WEST, A., MILICICH, S., ROBINSON, T., BIGNALL, G., AND HARVEY, C.C. 2011. Geothermal resources in the Pacific Islands: The potential of power generation to benefit indigenous communities. Proceedings, 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA, Jan 31-Feb 2, 2011, SGP-TR-191. 75 p.
- MOECK, I. 2012. Iterative development of stress models for deep geothermal reservoirs. Proceedings of the 74th EAGE Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, June 4-7, 2012. 5 p.
- MOECK, I. 2013. Classification of geothermal plays according to geological habitats. IGA Academy. Report 0101-2013; p. 56 - 70.
- MOECK, I. 2014. Catalog of geothermal play types based on geologic controls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 37, 867-882.

- MORELL, I. 1995. Origen del Termalismo. Geotermómetros en Algunas peculiaridades hidrogeoquímicas de las Aguas Termales. Grupo Nacional de Termalismo. Santa Clara, Cuba; p. 28 - 36.
- MURPHY, H., NIITSUMA, H. 1999. Strategies for compensating for higher costs of geothermal electricity with environmental benefits. *Geothermics*, p. 693-711.
- MUÑOZ, F., HICKSON, C., CRUZ, V., MENDOZA, M., CARDOZO, M., DE LA MATA, U., BONA, P. 2012. Desarrollo Geotérmico En Perú: Oportunidades, Conceptos, Acciones, Resultados Y Recomendaciones; 42 p.
- MURAOKA, L., ZAPATA, F. 1998. Energías Renovables, Barcelona; 186 p.
- MURAOKA, H., UCHIDA, T., SASADA, M., YAGI, M., AKAKU, K., SASAKI, M., YASUKAWA, K., SAITO, TANAKA, S. 1998. Deep geothermal resources survey program: igneous, metamorphic and hydrothermal processes in a well encountering 500°C at 3729 m depth, Kakkonda, Japan. *Geothermics*, Vol. 27; p. 507 - 534.
- NORDEN, B. AND FÖRSTER, A. 2006. Thermal conductivity and radiogenic heat production of sedimentary and magmatic rocks in the Northeast German Basin. *AAPG Bulletin*, p. 90, 939-962.
- PAJUELO, D., CRUZ, V., CONDORHUAMÁN, A. 2016. Características geológicas de la zona geotérmica de Piñaya - Región Puno; 5 p.
- PEÑA, F. 2017. Modelo hidrogeológico de las fuentes termales de Baños del Inca-Cajamarca; p. 8 – 28.
- PEÑA, F., BARATOUX, L. 2006. Hidrogeología de las fuentes termales de Cajamarca y Churín para el desarrollo de aguas termales y minerales. 120 p.
- POEHLS, D., SMITH, G. 2009. *Encyclopedic dictionary of Hydrogeology*; 527 p.
- REED, M.J. 1983. Assessment of low-temperature geothermal resources of the United States. *USGS Circular 1983:892*, 73 p.
- ROWLAND, M. 2007. *Structural Analysis & Synthesis- A Laboratory course in Structural Geology*. Third Edition; 322 p.

- ROWLANDS, J.V. AND SIBSON, R.H. 2004. Structural controls on hydrothermal flow in a segmented rift system, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geofluids*, p. 259-283.
- RYBACH, L. 1981. Geothermal systems, conductive heat flow, geothermal anomalies. In: Rybach, L. & Muffler, L.J.P. (Eds.). *Geothermal Systems: Principles and Case Histories*. John Wiley & Sons; Chichester (U.K.), p 3 - 31.
- RUMAY, S. 2017. Caracterización hidrogeológica de las principales fuentes termales en el departamento de Cajamarca. 116 p.
- SAEMUNDSSON, KRISTJÁN, GUDNI AXELSSON, AND BENEDIKT STEINGRÍMSSON. 2011. *Geothermal Systems in Global Perspective*. ÍSOR— Iceland GeoSurvey, January. 36 p.
- SALLEY, R.C. 2000. *Applied Sedimentology*, 2nd Edition. Academic Press; San Diego (CA), London (UK), Burlington (MA). 523 p.
- SANYAL, S.K. 2010. Future of geothermal energy. Proc. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California; 6 p.
- STEFANSSON, V. 2005. Geothermal Assessment. Proc. of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, April, 2005; p. 3 – 7.
- STEFANSSON, V. 1999. Economic Aspects of Geothermal Development. Ljubljana, Slovenia, International Workshop on Direct Use of Geothermal Energy; p. 4 - 7.
- STRUCKMEIER, W. F. & MARGAT, J. 1995. Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. Hannover: International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology; 193 p.
- TESTER, J., BLACKWELL, D., ANDERSON, B., AUGUSTINE, CH., DIPIPO, R., GARNISH, J. 2007. The future of geothermal energy: an assessment of the energy supply potential of engineered geothermal systems (EGS) for the United States. Proc. of the Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA; 10 p.
- TESTER, J.W., ANDERSON, B.J., BATCHELOR, A.S., BLACKWELL, D.D., DIPIPO, R., AND DRAKE, E.M. 2007. Impact of enhanced geothermal

systems on US energy supply in the twentyfirst century. *Philosophical Transactions of the Royal Society A, Mathematical, Physics & Engineering Science*, p.1057-1094.

TWISS, R., MOORES, E. 2007. *Structural Geology*. Second edition. W.H. Freedman and Company. New York. 742 p.

TOTH, J. 2009. *Gravitational Systems of Groundwater Flow – Theory, Evaluation, Utilization*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 297 p.

TOWNEND J.; SUTHERLAND R., JEPSON T., MORALES L.; HARTOG T.; NITSCH O.; SAUER K. (2017) *Petrophysical, Geochemical, and Hydrological Evidence for Extensive Fracture-Mediated Fluid and Heat Transport in the Alpine Fault's Hanging-Wall Damage Zone*. 35 p

URBANI, F. 1991. *Fuentes de Aguas Termales de Venezuela, Geotermia*. 68 p.

VARGAS, V., CRUZ, V. 2010. *Geothermal maps of Peru*. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, April 2010. 5 p.

VELANDIA, F. 2003. *Informe técnico cartografía geológica y estructural sector sur del municipio de Paipa- Colombia*; p. 20 - 29.

VILLANUEVA, R., PROL-LEDESMA, R., TORRES-VERA, M., CANET, C., ARMIENTA, M., 2006. Comparative study of sampling methods and in situ and laboratory analysis for shallow-water submarine hydrothermal systems. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 89; p. 414 -419.

WOHLETZ, K., HEIKEN, G., 1992. *Volcanology and Geothermal Energy (Los Alamos Series in Basic and Applied Sciences)*. University of California Press. 450 p.

WILLIAMS, C.F., REED, M.J., AND ANDERSON, A.F. 2011. Updating the classification of geothermal resources. Proceedings, Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 31 - February 2, 2011. 7 p.

WOLFGRAMM, M., OBST, K., BRANDES, J., KOCH, R., RAUBBACH, K., AND THORWART, K. 2009. *Produktivitaet tsprognosen geothermischer Aquifere in*

Deutschland. In: Der Geothermiekongress. Bochum Germany; 2009  
Conference Proceedings. German. 8 p.

WYBORN, D. 2010. Update of the development of the Innamincka granite n  
geothermal field, South Australia. Proceedings, World Geothermal Congress,  
Bali, Indonesia, April 25-30, 2010. 5 p.

ZHENG, K. AND DONG, Y. 2008. The possible role of geothermal energy to the  
Chinese energy development. Proceedings, 8th Asian Geothermal Symposium,  
Dec 9-10, 2008, Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources,  
Hanoi, Vietnam 80 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1. PLANO DE UBICACIÓN**

**ANEXO N°2. PLANO GEOLÓGICO**

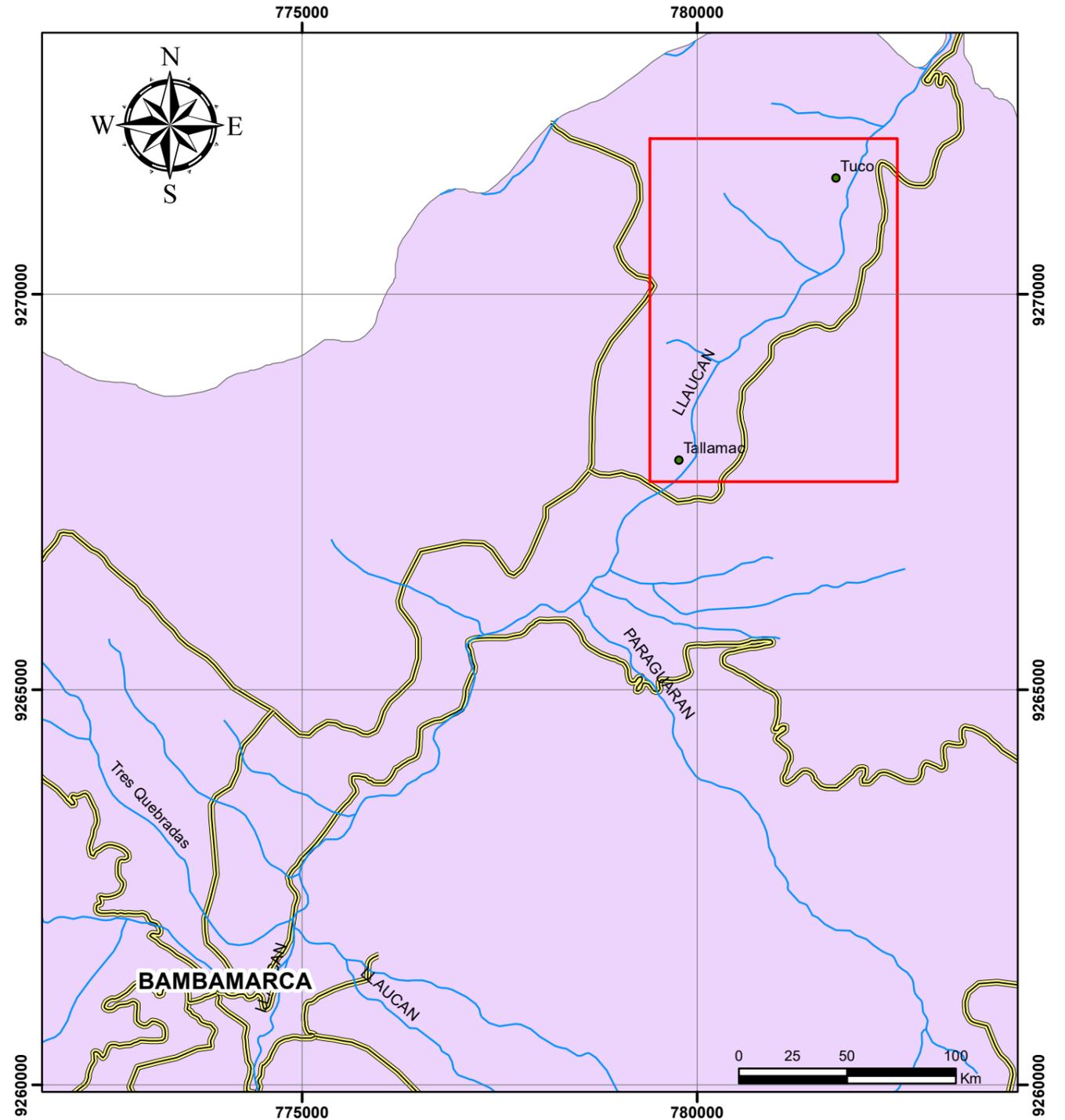
**ANEXO N°3. PLANO GEOTERMICO**

**ANEXO N°4. PERFIL A - B**

**ANEXO N°5. PEREFIL C – D**

**ANEXO N°6. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

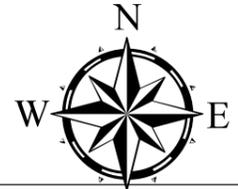
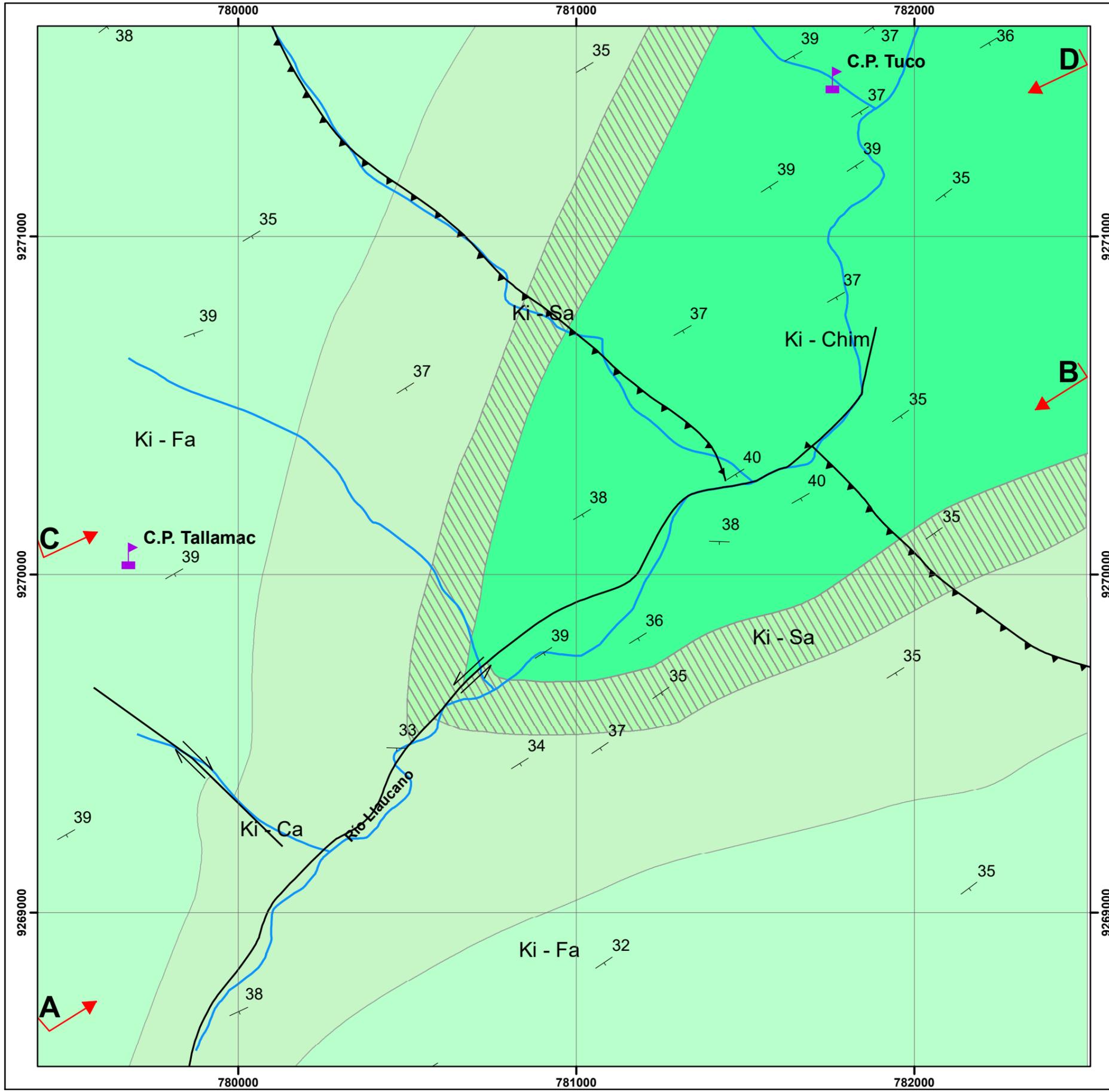
**ANEXO N°7. RESULTADOS DE LABORATORIO**



**LEYENDA**

- Distritos
- Área
- Vías

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	<b>TESIS:</b> CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA		
PLANO DE UBICACIÓN			
TESISTA:	Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO		ESCALA:
ASESOR:	Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA		Fecha Septiembre del 2019



**LEYENDA**

- linea

**Formación**

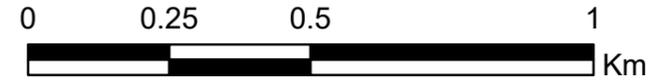
- Ki - Fa
- Ki - Ca
- Ki - Sa
- Ki - Chim

**SIMBOLOGÍA**

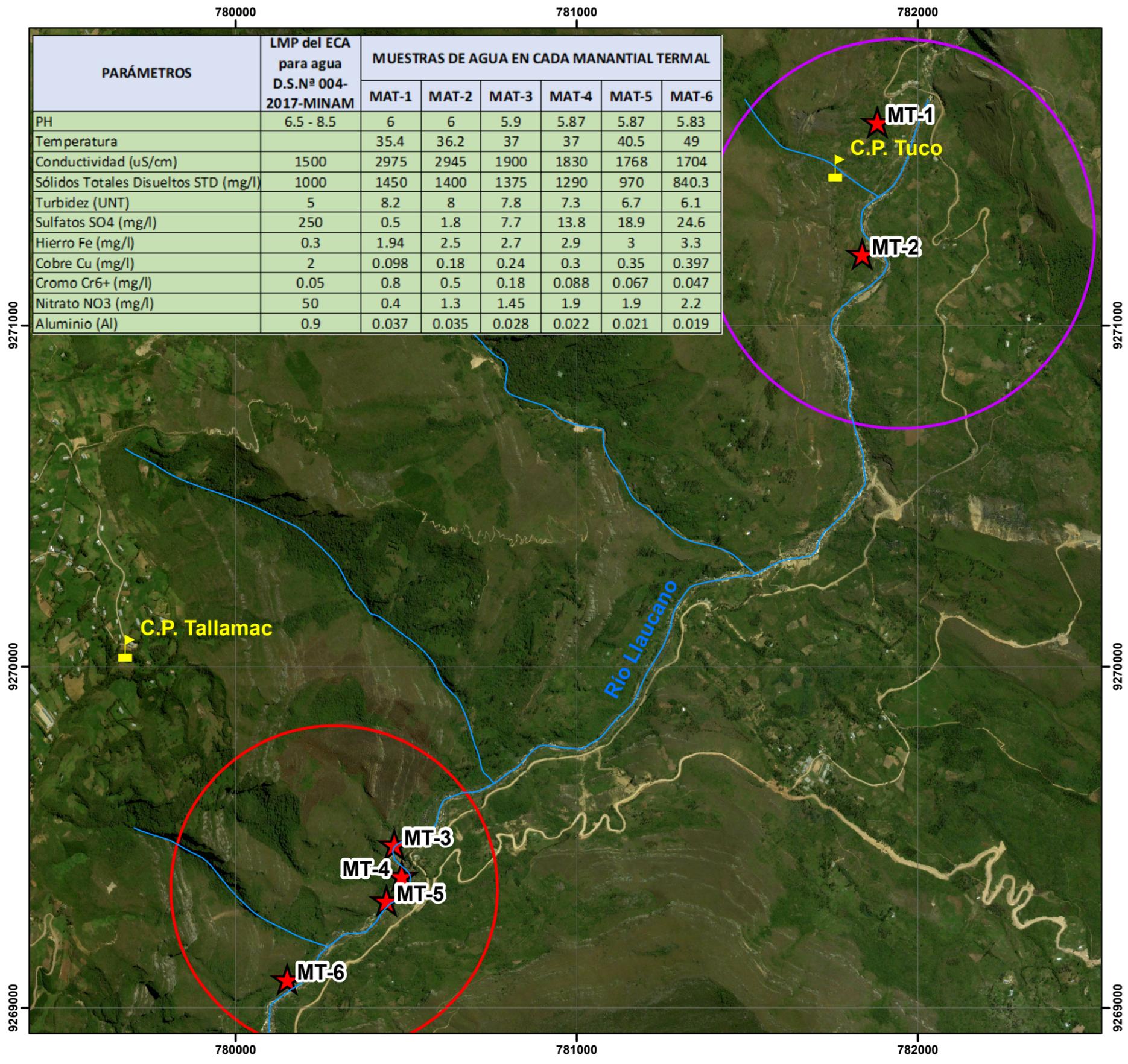
- Azimut y Buzamiento
- Centros Poblados
- Líneas de Perfil
- Drenaje

**Fallas**

- Dextral
- Inversa
- Sinistral



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	<b>TESIS:</b> CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA	
<b>PLANO GEOLÓGICO</b>		
TESISTA:	Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO	ESCALA: 1:12500
ASESOR:	Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	Fecha: Mayo del 2021

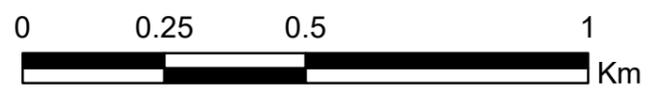


PARÁMETROS	LMP del ECA para agua D.S.Nº 004-2017-MINAM	MUESTRAS DE AGUA EN CADA MANANTIAL TERMAL					
		MAT-1	MAT-2	MAT-3	MAT-4	MAT-5	MAT-6
PH	6.5 - 8.5	6	6	5.9	5.87	5.87	5.83
Temperatura		35.4	36.2	37	37	40.5	49
Conductividad (uS/cm)	1500	2975	2945	1900	1830	1768	1704
Sólidos Totales Disueltos STD (mg/l)	1000	1450	1400	1375	1290	970	840.3
Turbidez (UNT)	5	8.2	8	7.8	7.3	6.7	6.1
Sulfatos SO4 (mg/l)	250	0.5	1.8	7.7	13.8	18.9	24.6
Hierro Fe (mg/l)	0.3	1.94	2.5	2.7	2.9	3	3.3
Cobre Cu (mg/l)	2	0.098	0.18	0.24	0.3	0.35	0.397
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.05	0.8	0.5	0.18	0.088	0.067	0.047
Nitrato NO3 (mg/l)	50	0.4	1.3	1.45	1.9	1.9	2.2
Aluminio (Al)	0.9	0.037	0.035	0.028	0.022	0.021	0.019

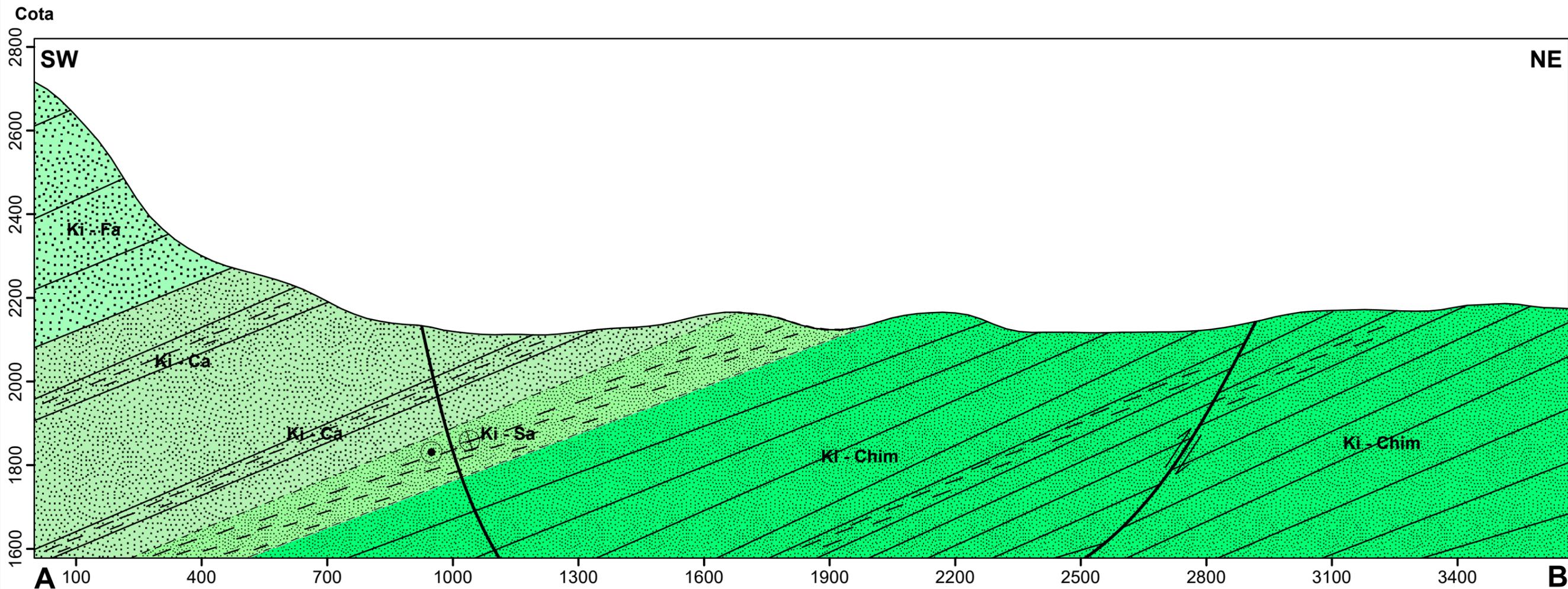


### SIMBOLOGÍA

- Zona geotérmica Norte
- Zona Geotérmica Sur
- Manantial Termal (MT)
- Drenaje
- Centros Poblados



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA	
	PLANO DE ZONIFICACIÓN GEOTÉRMICA	
TESISTA:	Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO	ESCALA: 1:12500
ASESOR:	Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	Fecha: Mayo del 2021



### LEYENDA

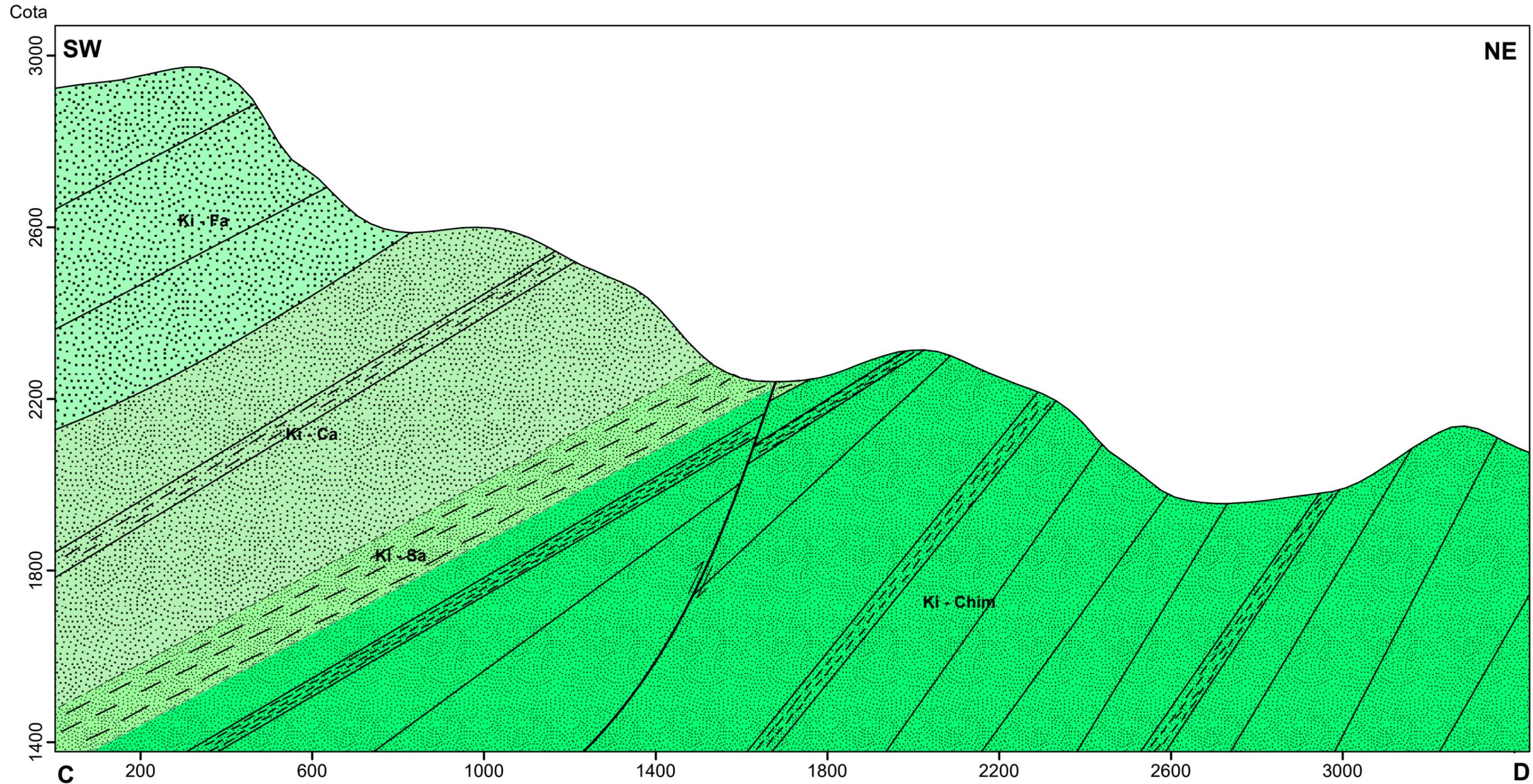
Formación

-  Ki - Fa
-  Ki - Ca
-  Ki - Sa
-  Ki - Chim

### SIMBOLOGÍA

-  Falla Inversa
-  Falla Sinistral

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	<b>TESIS:</b> CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA		
	PERFIL A-B		
	TESISISTA:	Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO	
ASESOR:	Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA		
Escala H: 1:10 000	Escala V: 1:10 000	Fecha: Junio del 2021	



**LEYENDA**

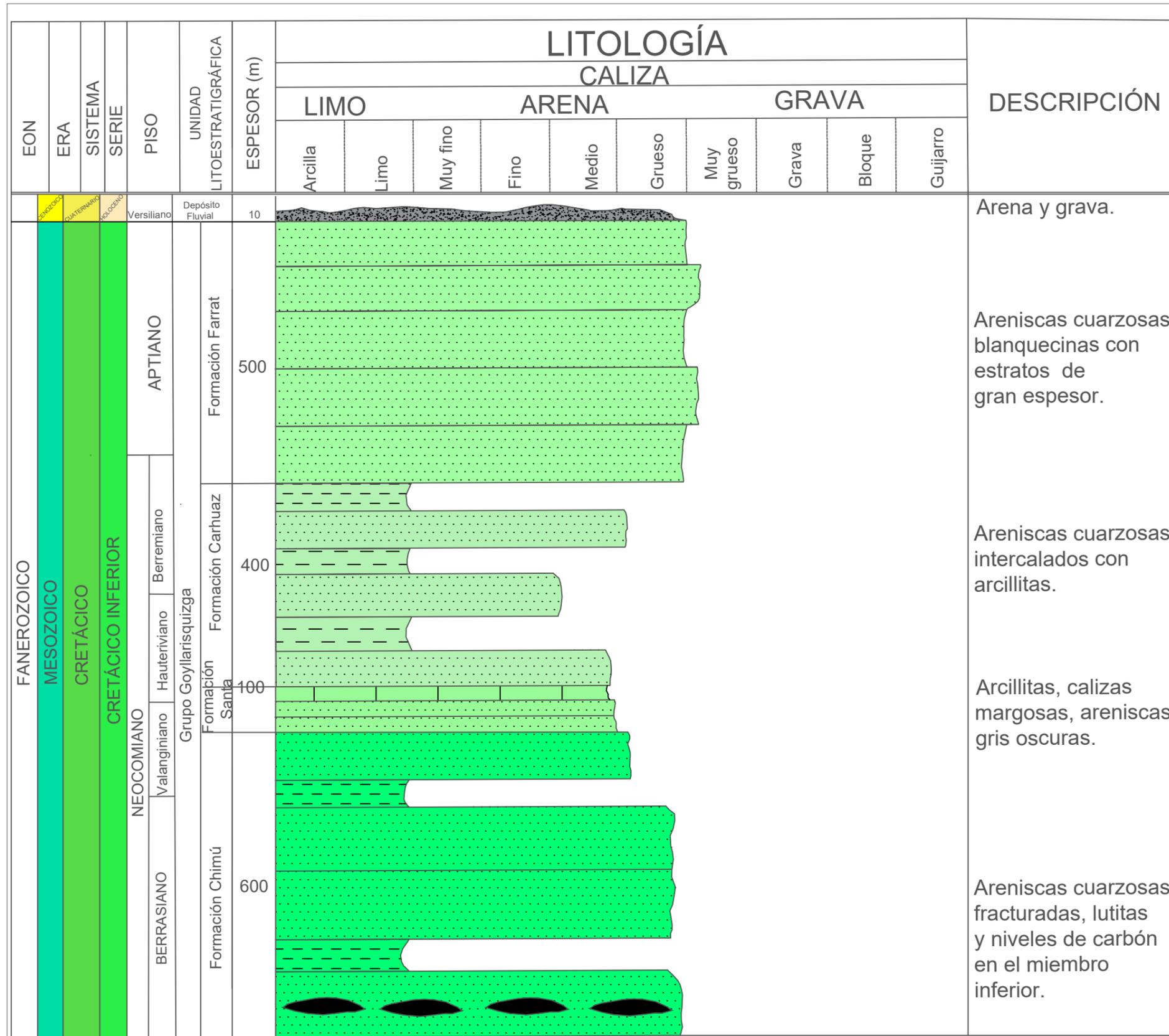
Formación

	Ki - Fa
	Ki - Ca
	Ki - Sa
	Ki - Chim

**SIMBOLOGÍA**

	Falla Inversa
--	---------------

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	<b>TESIS:</b> CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA	
PERFIL C-D		
TESISTA:	Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO	
ASESOR:	Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	
Escala H: 1:10 000	Escala V: 1:10 000	Fecha: Junio del 2021



**LEYENDA**

	Arenisca		Caliza
	Arcillita		Manto de carbon

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA TERMAL PIÑIPATA ENTRE LOS CENTROS POBLADOS TUCO Y TALLAMAC - BAMBAMARCA		
	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA		
	TESISITA: Bach. DARWIN YOBERLÍ RAMOS VIGO	ASESOR: Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	



"Año de la Universalización de la Salud"

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

<b>Solicitante: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>			
<b>Dirección: Jr. Leoncio Prado N° 327</b>			
<b>DATOS DEL MUESTREO ( datos por el solicitante)</b>		<b>CONTROL DE LABORATORIO</b>	
<b>Procedencia de la muestra: Agua Subterránea- Termal</b>		<b>Fecha/hora de recepción: 15/02/2020 - 08:30 h</b>	
<b>Fecha/ hora de muestreo: 14/02/20 - 09:45 h</b>		<b>Fecha de inicio de ensayo: 15/02/2020</b>	
<b>Muestreado por: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>		<b>Comprobante de pago: EXONERADO</b>	
<b>Localidad: Piñipata</b>		<b>DATOS DE MUESTRA</b>	
<b>Distrito: Bambamarca</b>		<b>Código de Laboratorio:-----</b>	
<b>Provincia: Hualgayoc</b>		<b>Código dado por el solicitante: M -1</b>	
<b>Departamento: Cajamarca</b>		<b>Punto de muestreo: Manantial 1</b>	
<b>Ensayos</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"</b>	<b>Método de ensayo</b>
pH (35.4°C)	6	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	2975	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	1450	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	8.2	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	0.5	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	1.94	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.098	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.8	0.05	1,5 Diphenylcarbohydrazide Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato NO3 (mg/l)	0.4	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.037	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.

Cajamarca, 19 de febrero del 2020

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA  
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL



"Año de la Universalización de la Salud"

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

<b>Solicitante: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>			
<b>Dirección: Jr. Leoncio Prado N° 327</b>			
<b>DATOS DEL MUESTREO (datos por el solicitante)</b>		<b>CONTROL DE LABORATORIO</b>	
<b>Procedencia de la muestra: Agua Subterránea -Termal</b>		<b>Fecha/hora de recepción: 15/02/2020 - 08:30 h</b>	
<b>Fecha/ hora de muestreo: 14/02/20 - 10:30 h</b>		<b>Fecha de inicio de ensayo: 15/02/2020</b>	
<b>Muestreado por: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>		<b>Comprobante de pago: EXONERADO</b>	
<b>Localidad: Piñipata</b>		<b>DATOS DE MUESTRA</b>	
<b>Distrito: Bambamarca</b>		<b>Código de Laboratorio:-----</b>	
<b>Provincia: Hualgayoc</b>		<b>Código dado por el solicitante: M -2</b>	
<b>Departamento: Cajamarca</b>		<b>Punto de muestreo: Manantial 2</b>	
<b>Ensayos</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"</b>	<b>Método de ensayo</b>
pH (35.4°C)	6	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	2945	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	1400	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	8	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	1.8	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	2.5	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.18	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.5	0.05	1,5 Diphenylcarbohydrazide de Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato NO3 (mg/l)	1.3	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.035	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.



“Año de la Universalización de la Salud”

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

Solicitante: Darwin Yoberlí Ramos Vigo			
Dirección: Jr. Leoncio Prado N° 327			
DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)		CONTROL DE LABORATORIO	
Procedencia de la muestra: Agua Subterránea- Termal		Fecha/hora de recepción: 15/02/2020 - 08:30 h	
Fecha/ hora de muestreo: 14/02/20 - 11:50 h		Fecha de inicio de ensayo: 15/02/2020	
Muestreado por: Darwin Yoberlí Ramos Vigo		Comprobante de pago: EXONERADO	
Localidad: Piñipata		DATOS DE MUESTRA	
Distrito: Bambamarca		Codigo de Laboratorio:-----	
Provincia: Hualgayoc		Código dado por el solicitante: M -3	
Departamento: Cajamarca		Punto de muestreo: Manantial 3	
Ensayos	Resultados	LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"	Método de ensayo
pH (35.4°C)	5.9	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	1900	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	1375	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	7.8	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	7.7	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	2.7	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.24	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.18	0.05	1,5 Diphenylcarbohydrazide de Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato NO3 (mg/l)	1.45	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.028	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.

Cajamarca, 19 de febrero del 2020

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA  
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL



“Año de la Universalización de la Salud”

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

<b>Solicitante:</b> Darwin Yoberlí Ramos Vigo			
<b>Dirección:</b> Jr. Leoncio Prado N° 327			
<b>DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</b>		<b>CONTROL DE LABORATORIO</b>	
<b>Procedencia de la muestra:</b> Agua Subterránea- Termal		<b>Fecha/hora de recepción:</b> 15/02/2020 - 08:30 h	
<b>Fecha/ hora de muestreo:</b> 14/02/20 -14:25 h		<b>Fecha de inicio de ensayo:</b> 15/02/2020	
<b>Muestreado por:</b> Darwin Yoberlí Ramos Vigo		<b>Comprobante de pago:</b> EXONERADO	
<b>Localidad:</b> Piñipata		<b>DATOS DE MUESTRA</b>	
<b>Distrito:</b> Bambamarca		<b>Código de Laboratorio:</b> -----	
<b>Provincia:</b> Hualgayoc		<b>Código dado por el solicitante:</b> M -4	
<b>Departamento:</b> Cajamarca		<b>Punto de muestreo:</b> Manantial 4	
Ensayos	Resultados	LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"	Método de ensayo
pH (35.4°C)	5.87	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	1830	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	1290	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	7.3	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	13.8	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	1.94	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.3	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.088	0.05	1,5 Diphenylcarbohidrazi de Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato NO3 (mg/l)	1.9	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.022	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.

Cajamarca, 19 de febrero del 2020

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD CAJAMARCA  
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL  
Dra. Jorge Blas Carrasco  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL



"Año de la Universalización de la Salud"

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

<b>Solicitante: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>			
<b>Dirección: Jr. Leoncio Prado N° 327</b>			
<b>DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</b>		<b>CONTROL DE LABORATORIO</b>	
<b>Procedencia de la muestra: Agua Subterránea - Termal</b>		<b>Fecha/hora de recepción: 15/02/2020 - 08:30 h</b>	
<b>Fecha/ hora de muestreo: 14/02/20 - 15:30 h</b>		<b>Fecha de inicio de ensayo: 15/02/2020</b>	
<b>Muestreado por: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>		<b>Comprobante de pago: EXONERADO</b>	
<b>Localidad: Piñipata</b>		<b>DATOS DE MUESTRA</b>	
<b>Distrito: Bambamarca</b>		<b>Código de Laboratorio:-----</b>	
<b>Provincia: Hualgayoc</b>		<b>Código dado por el solicitante: M -5</b>	
<b>Departamento: Cajamarca</b>		<b>Punto de muestreo: Manantial 5</b>	
<b>Ensayos</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"</b>	<b>Método de ensayo</b>
pH (35.4°C)	5.87	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	1768	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	970	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	6.7	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	18.9	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	1.94	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.35	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.067	0.05	1,5 Diphenylcarbohydrazide de Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato NO3 (mg/l)	1.9	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.021	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.

Cajamarca, 19 de febrero del 2020

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD  
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL  
Dra. Yoberlí Ramos Vigo  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL



"Año de la Universalización de la Salud"

## LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUAS

<b>Solicitante: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>			
<b>Dirección: Jr. Leoncio Prado N° 327</b>			
<b>DATOS DEL MUESTREO (dados por el solicitante)</b>		<b>CONTROL DE LABORATORIO</b>	
<b>Procedencia de la muestra: Agua Subterránea - Termal</b>		<b>Fecha/hora de recepción: 15/02/2020 - 08:30 h</b>	
<b>Fecha/ hora de muestreo: 14/02/20 - 16:45 h</b>		<b>Fecha de inicio de ensayo: 15/02/2020</b>	
<b>Muestreado por: Darwin Yoberlí Ramos Vigo</b>		<b>Comprobante de pago: EXONERADO</b>	
<b>Localidad: Piñipata</b>		<b>DATOS DE MUESTRA</b>	
<b>Distrito: Bambamarca</b>		<b>Codigo de Laboratorio:-----</b>	
<b>Provincia: Hualgayoc</b>		<b>Código dado por el solicitante: M -6</b>	
<b>Departamento: Cajamarca</b>		<b>Punto de muestreo: Manantial 6 - Piscina el Bom Bom</b>	
<b>Ensayos</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMP DEL D.S.N° 004-2017-MINAM "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias"</b>	<b>Método de ensayo</b>
pH (35.4°C)	5.83	6.5 - 8.5	Método electrométrico parte 4500-H B SMEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Conductividad (uS/cm)	1704	1500	Método de laboratorio Parte 2510b MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Sólidos Totales Disueltos	840.3	1000	Gravimétrico Parte 2540C MEWW APHA-AWWA-WEF-22TH Ed.
Turbidez (UNT)	6.1	5	MEWW APHA-AWWA-WEF Part 2130B, 22nd Edición 2012 Turbidity
Cloro (mg/l)	-	-	Colorímetro, Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas
Sulfatos SO4 (mg/l)	24.6	250	Sulfa Ver 4 Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Hierro Fe (mg/l)	3.3	0.3	Ferro Ver Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.
Cobre Cu (mg/l)	0.397	2	Bicinchoninate Method Adaptado de Nakato, S (Chemical Abstracts, 583390e
Cromo Cr6+ (mg/l)	0.047	0.05	1,5 Diphenylcarbohydrazil de Method Adaptado de Standard Methods para
Nitrito NO2 (mg/l)	-	1	Diazotization Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Nitrato (mg/l)	2.2	50	Cadmium Reduction Method (Powder Pillows or Accu Vac Ampuls)
Aluminio (Al)	0.019	0.9	Aluminon Method Adaptado de Standard Methods para análisis de aguas.

Cajamarca, 19 de febrero del 2020

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD  
DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SALUD AMBIENTAL