

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE
SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO**

PRESENTADO POR:

- Br. BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA
- Br. JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓLOGO**

ASESOR:

Ing. Mgt. JOSE DIONICIO CARDENAS ROQUE

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UVORMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO.

presentado por: BRAYSON EDUARDO CASHUZA VIZCARRA con DNI Nro.: 71805981 presentado por: JHON ALEX JIHUALLARICA KAMARI con DNI Nro.: 75231436 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 21 de NOVIEMBRE de 2024



Firma

Post firma JOSE DIONICIO CARDENAS ROQUE

Nro. de DNI 23873595

ORCID del Asesor 0000 - 0002 - 5261 - 419X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:407715462

NOMBRE DEL TRABAJO

**HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMA
LES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI
, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENT**

AUTOR

Breyson Cahuana

RECuento DE PALABRAS

46808 Words

RECuento DE CARACTERES

253344 Characters

RECuento DE PÁGINAS

254 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.8MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 20, 2024 8:51 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 20, 2024 8:54 PM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres, Verona Emilia Valenzuela Cconuma y Eduardo Cahuana Vera por su amor incondicional, su apoyo constante y enseñarme que los sueños se logran con esfuerzo y perseverancia.

A mis hermanos, Redin, Nury Victoria y Eliana Verónica por su compañía y apoyo en los momentos difíciles y su aliento constante que me motivó a seguir adelante.

De manera muy especial a mi abuelita difunto, Victoria Cconuma H. que Dios lo tiene en su gloria y ahora es una luz en mi camino.

A mis amigos, quienes fueron mi fuente de motivación, paciencia y comprensión en cada paso de este trabajo de investigación. Y a todas las personas que me apoyaron y me impulsaron a ser ingeniero geólogo.

Breyson Eduardo Cahuana Valenzuela

Con todo el corazón y amor a mi padre Ever Jihuallanca Tinta quien con su esfuerzo y sacrificio hizo posible por mi educación e inculcarme buenos hábitos y valores. A mi madre Graciela Mamani Arce quien es el amor de mi vida, mi consejera, amiga, mi motivo, mi todo y estuvo como sostén durante mi formación universitaria.

A mis hermanas Yadira, Yurema por su apoyo, amistad y compañía incondicional durante el proceso de formación. Son el mejor regalo que la vida me dio.

También le dedico a mis abuelitos(as) por su amistad , apoyo y los consejos que me guiaron en esta travesía.

Y a todas aquellas personas que alguna vez me supieron guiar.

Jhon Alex Jihuallanca Mamani

INDICE

DEDICATORIA	i
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES	3
1.1 INTRODUCCION	3
1.2 UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
1.2.1 UBICACIÓN POLITICA.....	3
1.2.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA	4
1.2.3 UBICACIÓN HIDROGRAFICA.....	4
1.2.4 ACCESIBILIDAD.....	6
1.3 ASPECTOS GEOGRAFICOS.....	8
1.3.1 CLIMA	8
1.3.2 VEGETACION	8
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	9
1.4.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	9
1.5 OBJETIVOS.....	10
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.5.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	10
1.6 JUSTIFICACION.....	10
1.7 FORMULACION DE HIPOTESIS	11
1.7.1 HIPOTESIS GENERAL.....	11
1.7.2 HIPOTESIS ESPECIFICO.....	11
1.8 VARIABLES	12
1.9 METODOLOGIA DE TRABAJO	12
1.9.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.10 ETAPAS DE ELABORACIÓN DE ESTUDIO.....	13
1.11 EQUIPOS Y MATERIALES	14
1.12 MARCO TEORICO	15
1.12.1 MARCO REFERENCIAL	15
1.12.2 MARCO CONCEPTUAL	17

CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA	32
2.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	32
2.2 ANALISIS DE PENDIENTES	37
2.3 GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	39
2.4 GEOLOGÍA REGIONAL.....	45
2.4.1 PALEOZOICO.....	45
2.4.2 MESOZOICO.....	46
2.4.3 CENOZOICO	48
2.5 GEOLOGIA LOCAL	53
CAPITULO III: GEOLOGIA ESTRUCTURAL	70
3.1 TECTONICA REGIONAL.....	70
3.1.1 ZONA SUROESTE.....	70
3.1.2 ZONA ANTICLINAL DEL VILCANOTA.....	71
3.1.3 ZONA DEL SINCLINORIO CRETACICO	72
3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL	74
3.2.1 ESTRUCTURAS PRIMARIAS	74
3.2.2 ESTRUCTURAS SECUNDARIAS.....	81
CAPITULO IV: HIDROLOGIA	100
4.1 UBICACIÓN HIDROGRAFICA DE LA CUENCA	100
4.2 MORFOMETRIA DE LA CUENCA	103
4.2.1 PARAMETROS GENERALES	103
4.2.2 PARAMETROS DE FORMA.....	103
4.2.3 PARAMETROS DE RELIEVE	104
4.3 INFORMACION HIDROMETEREOLOGICA.....	109
4.3.1 PRECIPITACION(P)	110
4.3.2 TEMPERATURA.....	119
4.3.3 EVAPOTRANSPIRACION(EVT)	120
4.4 ESCORRENTIA SUPERFICIAL	122
4.5 INFILTRACION.....	122
4.6 BALANCE HIDRICO	123
CAPITULO V: PROSPECCION GEOFISICA.....	125
5.1 GENERALIDADES.....	125

5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO GEOFISICO (Tomografía Eléctrica)	125
5.1.2 METODOLOGIA DE CAMPO	126
5.2 METODO UTILIZADO DE LA PROSPECCION GEOFISICA	129
5.2.1 METODO WENNER.....	129
5.3 DESCRIPCION DE LAS SECCIONES GEOFISICAS	130
5.3.1 ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELECTRICA.....	130
5.3.2 UBICACIÓN DE LAS LINEAS DE SECCION DE TOMOGRAFIA	130
5.4 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFIA ELECTRICA.....	133
5.4.1 LINEA DE SECCION TOMOGRAFICA A-A'	133
5.4.2 LINEA SECCION TOMOGRAFICA B-B'	137
5.4.3 LINEA SECCION TOMOGRAFICA C-C'	141
CAPITULO VI: HIDROGEOLOGIA	146
6.1 GENERALIDADES.....	146
6.2 REGISTRO DE MANANTES.....	146
6.2.1 IDENTIFICACION DE FUENTES DE AGUA FRIA SUBTERRANEA	146
6.2.2 IDENTIFICACION DE FUENTE DE AGUA TERMAL SUBTERRANEA.....	147
6.2.3 CLASIFICACION DE LOS MANANTES SEGÚN LOS CAUDALES	147
6.3 PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS.....	150
6.3.1 PERMEABILIDAD.....	150
6.3.2 POROSIDAD	156
6.3.3 TRANSMISIVIDAD.....	158
6.3.4 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.....	160
6.4 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS .	161
6.4.1 ACUIFEROS SEDIMENTARIO	161
6.4.2 ACUITARDO DE ROCAS SEDIMENTARIAS.....	165
6.4.3 ACUIFEROS NO CONSOLIDADOS DE DEPOSITOS CUATERNARIOS	166
CAPITULO VII: HIDROGEOQUIMICA.....	169
7.1 GENERALIDADES.....	169
7.2 PARAMETROS FISICO-QUIMICO	169
7.2.1 pH	169
7.2.2 TEMPERATURA.....	171
7.2.3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	172

7.2.4 SALES SOLUBLES.....	174
7.3 MUESTREO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES	175
7.4 RESULTADOS QUIMICOS	179
7.5 EVALUACION DE RESULTADOS QUIMICOS	180
7.5.1 BALANCE IONICO	181
7.6 CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS	182
7.6.1 CLASIFICACION POR IONES DOMINANTES.....	183
CAPITULO VIII: MODELO Y RESULTADOS.....	200
CONCLUSIONES	209
RECOMENDACIONES.....	211
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	212
ANEXOS	215

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Mapa de Ubicación Político de las Aguas termales de Uyurmiri	5
Figura 1.2	Mapa de ubicación de las aguas termales de Uyurmiri.....	7
Figura 1.3	Vegetación de Ichu, árboles en la quebrada Uyurmiri.....	8
Figura 1.4	Formación de aguas termales.....	17
Figura 1.5	Esquema de origen meteórico de las aguas termales	18
Figura 1.6	Esquema de origen juvenil de las aguas termales.....	18
Figura 1.7	Esquema de origen mixto de las aguas termales.....	19
Figura 1.8	Diagrama de la circulación hidrotermal en una dorsal mediooceánica.	20
Figura 1.9	Clasificación de acuífero.....	24
Figura 1.10	Tipos de pliegues	25
Figura 1.11	Tipos de fallas	26
Figura 1.12	Tipos de diaclasas	26
Figura 1.13	Diagrama de Pipper.....	29
Figura 1.14	Distribución del diagrama de Stiff.....	30
Figura 1.15	Modelamiento hidrogeológico	31
Figura 2.1	Cauce del rio Vilcanota	32
Figura 2.2	Mapa geomorfológico regional.....	36

Figura 2.3	Gráfico de porcentaje de pendiente de la quebrada Uyurmiri	37
Figura 2.4	Mapa de pendientes.....	38
Figura 2.5	Carcavas en la quebrada Uyurmiri.....	40
Figura 2.6	Cono aluvial principal en la quebrada Uyurmiri.....	40
Figura 2.7	Terrazas aluviales de la quebrada Uyurmiri	41
Figura 2.8	Colinas Bajas en el cerro Jururu	42
Figura 2.9	Cimas de Montaña (Mo-ci) del cerro Jururu.....	42
Figura 2.10	Vertiente de Montaña en las faldas del cerro Jururu.....	43
Figura 2.11	Mapa Geomorfológico Local.....	44
Figura 2.12	Mapa geológico regional.....	50
Figura 2.13	Sección geológica regional A-A'	51
Figura 2.14	Columna estratigráfica regional.....	52
Figura 2.15	A) Afloramiento del Grupo Mitu Superior en contacto con la Formación Muni. B y C) Vista in-situ del contacto en discordancia erosional.....	53
Figura 2.16	Grupo Mitu Superior ubicado al SE de la surgencia del agua termal. A) Afloramiento de la arenisca perteneciente a la primera secuencia del Grupo Mitu superior. B) Muestra de mano donde podemos observar una arenisca $Fr > Qz > Fd$	54
Figura 2.17	A) Afloramiento de la brecha con clastos de epidota, laumontita. B) Muestra de mano con predominancia de los clastos de epidota y zonas de erosión de la calcita.	55
Figura 2.18	Afloramiento de la formación Muni ubicado al NE de la surgencia del agua termal. A) Podemos observar intercalaciones de arcosas y lutitas. B) Muestra de mano donde predomina el $Fd > Fr > Qz$ (subarcosa). C) Presencia de óxidos de hierro(hematita).....	56
Figura 2.19	A) Podemos observar intercalaciones de limoarcillitas y lutitas con lentes de yeso. B) Muestra de mano donde se observa lentes de yeso con limoarcillita.	57
Figura 2.20	Contacto de la formación Muni, Huancané y Viluyo	58
Figura 2.21	Areniscas cuarzosas de la formación Huancané en la cuenca Uyurmiri. A y B) Afloramiento de areniscas cuarzosas con alto grado de fracturamiento.....	58
Figura 2.22	A) Afloramiento de areniscas cuarzosas con laminación paralela B) Muestra de areniscas cuarzosas con laminación paralela	59
Figura 2.23	Contacto de las formaciones Huancané, Viluyo, Ayabacas	60
Figura 2.24	A) Afloramiento de la Formación Viluyo. B y C) Muestra de mano de la Formación Viluyo.....	60
Figura 2.25	Afloramiento de la Formación Ayabacas A) Afloramiento de la Formación Ayabacas B) Muestra In-situ C) Muestra de mano de la caliza micríticas	62
Figura 2.26	Contacto de la Formación Vilquechico y Huancané en el cerro cielo K'awarina ..	63

Figura 2.27	Identificación de lutitas de color marrón rojizo y verde oscuro	63
Figura 2.28	Deposito aluvio-fluvial en la quebrada Uyurmiri	64
Figura 2.29	Deposito coluvio-aluvial	64
Figura 2.30	Deposito deluvial	65
Figura 2.31	Geología Local de la cuenca Uyurmiri	67
Figura 2.32	Columna estratigráfica de la sección A-A'	68
Figura 2.33	Columna estratigráfica de la sección B-B'	69
Figura 3.1	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación del Grupo Mitu Superior, Visualización en 3D.....	75
Figura 3.2	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Muni, Visualización en 3D.....	76
Figura 3.3	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Huancané. (a) Formación Huancané en contacto con el paleozoico superior (b) Formación Huancané en contacto con el Terciario.....	77
Figura 3.4	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Viluyo y Visualización en 3D.....	79
Figura 3.5	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Ayabacas y Visualización en 3D.....	80
Figura 3.6	Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Vilquechico y Visualización en 3D	81
Figura 3.7	Ventana estructural del Grupo Mitu Superior.....	82
Figura 3.8	Planos de fracturas del Grupo Mitu Superior y Visualización en 3D.....	82
Figura 3.9	Ventana estructural de la Formación Muni.....	84
Figura 3.10	Planos de fracturas de la Formación Muni y visualización en 3D.....	84
Figura 3.11	Ventana estructural de la Formación Muni.....	85
Figura 3.12	Planos de fracturas de la Formación Muni y visualización en 3D.....	86
Figura 3.13	Ventana estructural de la Formación Viluyo	87
Figura 3.14	Planos de fracturas de la Formación Viluyo	87
Figura 3.15	Ventana estructural de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario).....	88
Figura 3.16	Planos de fracturas de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario) y visualización en 3D	89
Figura 3.17	Ventana estructural de la Formación Ayabacas.....	90
Figura 3.18	Planos de fracturas de la Formación Ayabacas y visualización en 3D.....	90
Figura 3.19	Ventana estructural de la Formación Vilquechico.....	91

Figura 3.20	Planos de fracturas de la Formación Vilquechico y visualización en 3D.....	92
Figura 3.21	Falla normal presente en la Formación Ayabacas y visualización en 3D.....	92
Figura 3.22	Falla normal presente	93
Figura 3.23	Falla normal presente en las formaciones Viluyo, Huancané, Muni y visualización en 3D	94
Figura 3.24	Presencia de la Falla Normal y visualización en 3D.....	94
Figura 3.25	Presencia de la falla inversa y visualización en 3D	95
Figura 3.26	Visualización de las fallas locales en 3D con el programa Stereonet.....	95
Figura 3.27	Mapa estructural local de la cuenca de Uyurmiri	96
Figura 3.28	Sección Geológica A-A'	97
Figura 3.29	Sección Geológica B-B'	98
Figura 3.30	Sección Geológica C-C'	99
Figura 4.1	Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca hasta el séptimo nivel	101
Figura 4.2	Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca hasta el noveno nivel	102
Figura 4.3	Áreas parciales de la cuenca Uyurmiri	105
Figura 4.4	Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca Uyurmiri.....	107
Figura 4.5	Hidrografía de la cuenca Uyurmiri	108
Figura 4.6	Pendiente del río Oscuna.....	109
Figura 4.7	Ubicación de la estación Sicuani con referencia a la zona de estudio	110
Figura 4.8	Diagrama de precipitación media mensual de la Estación Sicuani.....	110
Figura 4.9	Serie históricas de la estación Sicuani.....	111
Figura 4.10	Diagrama de análisis de doble masa estación Sicuani, Combapata, La Raya	114
Figura 4.11	Diagrama de análisis de doble masa de la estación Sicuani	116
Figura 4.12	Diagrama corregido de la estación de Sicuani.....	119
Figura 4.13	Diagrama de temperaturas media, mínima y máxima	120
Figura 4.14	Diagrama de balance hídrico cuenca Uyurmiri	124
Figura 5.1	Esquema básico del método de resistividad.....	125
Figura 5.2	Instalación del equipo de tomografía eléctrica	126
Figura 5.3	Adquisición de datos de la tomografía eléctrica	127
Figura 5.4	Esquema de tomografía eléctrica	128
Figura 5.5	Equipo de prospección eléctrica de tomografía eléctrica	129
Figura 5.6	Resistividades características de las aguas y rocas más usadas.	130

Figura 5.7	Mapa de ubicación de las líneas de secciones Tomográficas de las aguas termales de Uyurmiri.....	132
Figura 5.8	Sección tomográfica eléctrica A-A'.....	135
Figura 5.9	Sección tomográfica eléctrica procesada A-A'.....	136
Figura 5.10	Sección tomográfica eléctrica B – B'	139
Figura 5.11	Sección tomográfica eléctrica procesada B – B'	140
Figura 5.12	Seccion tomografica electrica C-C'	143
Figura 5.13	Seccion tomografica electrica procesada C-C'	144
Figura 6.1	Diagrama de clasificación de manantes por su productividad.....	148
Figura 6.2	Mapa de distribución de los manantes de la cuenca Uyurmiri	149
Figura 6.3	Prueba de infiltración en materiales no consolidados.....	153
Figura 6.4	Valores de permeabilidad efectiva según la litología	153
Figura 6.5	Valores de permeabilidad para materiales consolidados	155
Figura 6.6	Valores de porosidad de materiales consolidados y no consolidados.....	158
Figura 6.7	Diferencias de acuífero libre y cautivo con referencia al coeficiente de almacenamiento	160
Figura 6.8	Acuífero fisurado volcánico-sedimentario Mitu.....	162
Figura 6.9	Acuífero confinado fisurado Huancané en la quebrada Uyurmiri	163
Figura 6.10	Acuífero Kárstico Ayabacas en la quebrada Uyurmiri	164
Figura 6.11	Acuífero libre fisurado de la Vilquechico en la quebrada Uyurmiri	164
Figura 6.12	Acuitardo muni en la quebrada Uyurmiri	165
Figura 6.13	Acuitardo Viluyo en la quebrada Uyurmiri	166
Figura 6.14	Acuífero poroso de depósito aluvió – fluvial en la quebrada Uyurmiri	166
Figura 6.15	Acuífero poroso de depósito coluvio – aluvial en la quebrada Uyurmiri	167
Figura 6.16	Acuífero poroso de depósito deluvial en la quebrada Uyurmiri	167
Figura 6.17	Unidades hidrogeológicas de la cuenca Uyurmiri	168
Figura 7.1	Medición del pH Pampa Pujio III	170
Figura 7.2	Histograma comparativo de los valores de pH de las fuentes termales y aguas superficiales	170
Figura 7.3	Medición de temperatura Pampa Pujio I.....	171

Figura 7.4	Histograma comparativo de los valores de temperatura de las fuentes termales y aguas superficiales	172
Figura 7.5	Medición de la conductividad eléctrica Pampa Pujio II	173
Figura 7.6	Histograma comparativo de los valores de conductividad eléctrica de las fuentes termales y aguas superficiales.....	173
Figura 7.7	Medición de las sales solubles Pampa Pujio III.....	174
Figura 7.8	Histograma comparativo de los valores de contenido de sales de las fuentes termales y aguas superficiales	175
Figura 7.9	Muestreo de aguas termales y aguas superficiales fría.	176
Figura 7.10	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de aguas subterráneas.....	178
Figura 7.11	Ecuación del porcentaje de error.....	181
Figura 7.12	Diagrama de Piper Hill Langelier	183
Figura 7.13	Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio I.....	184
Figura 7.14	Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio II	185
Figura 7.15	Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio III	186
Figura 7.16	Análisis por el diagrama de Piper del agua superficial fría	187
Figura 7.17	Análisis por el diagrama de Piper de las muestras de agua	188
Figura 7.18	Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio I	189
Figura 7.19	Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio II.....	190
Figura 7.20	Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio III	190
Figura 7.21	Análisis por el diagrama de Stiff del agua superficial frío.	191
Figura 7.22	Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio I	192
Figura 7.23	Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio II.....	193
Figura 7.24	Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio III	194
Figura 7.25	Análisis por el diagrama de Schoeller del agua superficial fría.....	195
Figura 7.26	Análisis por el diagrama de Schoeller de las muestras de agua.....	196
Figura 7.27	Análisis del diagrama de Scatter-Mifflin de las muestras de agua	197
Figura 7.28	Gráfico de clasificación de aguas según Armijo (2009).....	199
Figura 8.1	Modelo hidrogeológica 3D sección regional.....	200
Figura 8.2	Modelo hidrogeológico en 3D de la quebrada Uyurmiri	201
Figura 8.3	Dinámica de flujo subterráneo 3D en la quebrada Uyurmiri	202
Figura 8.4	Modelo hidrogeológica local	203
Figura 8.5	Modelo hidrogeológico 3D final de la surgencia del agua termal	204

Figura 8.6	Diagrama de Piper de Callanca.....	206
Figura 8.7	Diagrama de Stiff de Callanca	207
Figura 8.8	Análisis de aguas termales de termales de Uyurmiri y Callanca	207

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Ubicación Política de la quebrada Uyurmiri	3
Tabla 1.2	Ubicación Geográfica de las aguas termales de Uyurmiri	4
Tabla 1.3	Ubicación hidrográfica de la cuenca Uyurmiri del rio Osccuna	4
Tabla 1.4	Cuadro de accesibilidad al área de estudio	6
Tabla 1.5	Cuadro de operacionalización de variables	13
Tabla 2.1	Distribución de pendientes cuenca Patahansa.....	37
Tabla 2.2	Distribución de unidades geomorfológicas	39
Tabla 2.3	Descripción macroscópica muestra M-01	54
Tabla 2.4	Descripción macroscópica muestra M-02	55
Tabla 2.5	Descripción macroscópica muestra M-03	57
Tabla 2.6	Descripción macroscópica muestra M-04	59
Tabla 2.7	Descripción macroscópica muestra M-05	61
Tabla 2.8	Descripción macroscópica muestra M-06	62
Tabla 2.9	Distribución de las unidades geológicas de la cuenca Uyurmiri	65
Tabla 2.10	Cuadro de las líneas de sección de columnas estratigráficas	66
Tabla 3.1	Datos de los planos de estratificación del Grupo Mitu.....	74
Tabla 3.2	Datos de los planos de estratificación de la Formación Muni.....	75
Tabla 3.3	Datos de los planos de estratificación de la Formación Huancané.....	76
Tabla 3.4	Datos de los planos de estratificación de la Formación Viluyo	78
Tabla 3.5	Datos de los planos de estratificación de la Formación Ayabacas	79
Tabla 3.6	Datos de los planos de estratificación de la Formación Vilquechico	80
Tabla 3.7	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica del Grupo Mitu Superior	81
Tabla 3.8	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Muni	83
Tabla 3.9	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Huancané.....	85
Tabla 3.10	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Viluyo	86

Tabla 3.11	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario).....	88
Tabla 3.12	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Ayabacas...	89
Tabla 3.13	Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Vilquechico	90
Tabla 3.14	Datos de las fallas locales	92
Tabla 4.1	Codificación de la cuenca Uyurmiri según Pfafstetter.....	100
Tabla 4.2	Parámetros generales de la cuenca	103
Tabla 4.3	Parámetros de forma de la cuenca	104
Tabla 4.4	Áreas parciales de la cuenca Uyurmiri	104
Tabla 4.5	Pendiente media de la cuenca Uyurmiri	106
Tabla 4.6	Hidrografía de la cuenca Uyurmiri	107
Tabla 4.7	Coordenadas de la estación meteorológica Sicuani.....	109
Tabla 4.8	Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación	112
Tabla 4.9	Precipitaciones acumuladas invertidas (2023-1964)	114
Tabla 4.10	Cálculo de las 4 pendientes identificadas	117
Tabla 4.11	Precipitación acumuladas invertidas y corregidas	117
Tabla 4.12	Temperatura media mensual	120
Tabla 4.13	Evapotranspiración potencial de la cuenca Uyurmiri	121
Tabla 4.14	Balance hídrico de la cuenca Uyurmiri.....	123
Tabla 5.1	Coordenadas de inicio y fin de las secciones geofísicas.....	131
Tabla 6.1	Inventario de fuentes de agua fría subterránea.....	146
Tabla 6.2	Inventario de fuentes de agua termal subterránea.....	147
Tabla 6.3	Clasificación de manantes por su productividad	148
Tabla 6.4	Resultado del ensayo de permeabilidad de materiales no consolidados.....	151
Tabla 6.5	Resumen de pruebas de infiltración para materiales no consolidados.....	153
Tabla 6.6	Valores de promedio de apertura y espaciado de las formaciones geológicas.....	154
Tabla 6.7	Cuadro resumen de los valores de permeabilidad de las formaciones geológicas	155
Tabla 6.8	Valores de transmisividad de los puntos de manantes captados.....	159
Tabla 6.9	Valores de transmisividad para puntos de caudales	159
Tabla 7.1	Parámetros fisicoquímicos tomados en campo del pH.....	169
Tabla 7.2	Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de temperatura.....	171

Tabla 7.3	Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de conductividad eléctrica.....	172
Tabla 7.4	Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de contenido de sales.....	174
Tabla 7.5	Parámetros fisicoquímicos tomados en campo.....	175
Tabla 7.6	Datos de los puntos de muestreo en campo.....	177
Tabla 7.7	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio I.....	179
Tabla 7.8	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio II	179
Tabla 7.9	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio III	180
Tabla 7.10	Resultados de laboratorio de las muestras de agua superficial fría.	180
Tabla 7.11	Error aceptable según la sumatoria de aniones	181
Tabla 7.12	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio I.....	181
Tabla 7.13	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio II.....	182
Tabla 7.14	Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio III	182
Tabla 7.15	Resultados de laboratorio de las muestras de agua superficial fría.	182
Tabla 7.16	Datos utilizados para la clasificación según el diagrama Piper en meq/l	183
Tabla 7.17	Datos utilizados para el diagrama de Scatter-Mifflin	197
Tabla 7.18	Clasificación por la temperatura según Schoeller.....	198
Tabla 7.19	Clasificación de aguas termales según Armijo	198
Tabla 8.1	Resultado de las aguas termales de Callanca.....	206

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “hidrogeología de las aguas termales de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia Canchis, departamento Cusco”, se realizó con el objetivo de determinar las características hidrogeológicas del agua termal de Uyurmiri, cuya finalidad es el aprovechamiento del agua termal para satisfacer las necesidades de los visitantes; este trabajo de investigación aportará y contribuirá en el desarrollo de futuros proyectos que se realizarán en este sector.

Morfoestructuralmente se encuentra en el altiplano oriental limitado por el Norte por el sistema de falla Sicuani, Urcos que controlan el sinclinorio Cretácico, mientras que por el Sur limita con el anticlinal del Vilcanota; dentro del área de estudio se encuentran unidades litoestratigráficas como: El Grupo Mitu, las formaciones Muni, Huancané, Viluyo, Ayabacas, Vilquechico y Ausangate, estas formaciones geológicas presentan estructuras secundarias (fallas, diaclasas) con dirección (NE-SW y NW-SE).

También se realizó el análisis hidrológico, tomando en cuenta datos de la estación meteorológica Sicuani, lo cual es el más cercano a la zona de estudio, lo que nos permitió establecer una precipitación anual de (702.71), esto nos ayudó a determinar parámetros como la ETR (512.95), una escurrentía de (121.16) y finalmente una infiltración de (66.65); apoyado a esta información se realizó una evaluación de tomografía eléctrica, donde se logró identificar las fallas geológicas locales por donde se desplaza el agua termal que siguen una dirección NE-SW, interceptando con las fallas regionales San Felipe y la falla Sicuani. Además, se realizó el análisis hidrogeológico, mediante un mapeo de ventanas estructurales identificando, familia de fracturas, abertura, relleno, etc. Para poder clasificar cada formación las formaciones geológicas en acuíferos, acuitardos o acuicludos, donde la Formación Ayabacas es el acuífero con el mayor sistema de almacenamiento.

En cuanto a sus propiedades Geoquímicas se realizó el muestreo y análisis correspondiente en los 3 puntos de surgencia de agua termal, evaluando los parámetros fisicoquímicos in-situ y la clasificación mediante los diagramas de Stiff, Piper y Schoeller, donde las aguas termales se clasifican como aguas Carbonatadas Cálcicas, todo el análisis geológico, estructural, geofísico, hidrológico, hidrogeológico, geoquímico, se plasmó mediante un modelo geológico 2D y 3D, lo que nos permitió determinar que es de origen regional.

Palabras claves. Hidrogeología, Hidrogeoquímica, Hidrología, Geofísica.

ABSTRACT

The present research work “Hydrogeology of the Uyurmiri hot springs, district of Sicuani, province of Canchis, department of Cusco”, was carried out with the objective of determining the hydrogeological characteristics of the Uyurmiri hot springs, whose purpose is the use of the hot springs to satisfy the needs of visitors; this research work will contribute to the development of future projects that will be carried out in this sector.

Morphostructurally it is located in the eastern plateau limited to the North by the Sicuani, Urcos fault system that controls the Cretaceous synclinorium, while to the South it is limited by the Vilcanota anticline; within the study area there are lithostratigraphic units such as: The Mitu group, the Muni, Huancané, Viluyo, Ayabacas, Vilquechico and Ausangate formations, these geological formations present secondary structures (faults, joints) with direction (NE-SW and NW-SE).

The hydrological analysis was also carried out, taking into account data from the Sicuani meteorological station, which is the closest to the study area, which allowed us to establish an annual rainfall of (702.71), this helped us to determine parameters such as the ETR (512.95), a runoff of (121.16) and finally an infiltration of (66.65); supported by this information, an electrical tomography evaluation was carried out, where it was possible to identify the local geological faults through which the thermal water moves that follow a NE-SW direction, intercepting with the San Felipe regional faults and the Sicuani fault. In addition, the hydrogeological analysis was carried out, through a mapping of structural windows identifying, family of fractures, opening, filling, etc. In order to classify each formation, the geological formations in aquifers, aquitards or aquicludes, where the Ayabacas Formation is the aquifer with the largest storage system. Regarding its geochemical properties, sampling and corresponding analysis were carried out at the 3 thermal water emergence points, evaluating the in-situ physicochemical parameters and classification using the Stiff, Piper and Schoeller diagrams, where the thermal waters are classified as Calcium Carbonate waters, all the geological, structural, geophysical, hydrological, hydrogeological, and geochemical analysis was captured by a 2D and 3D geological model, which allowed us to determine that it is of regional origin.

Keywords. Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Hydrology, Geophysics.

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

Las aguas termales nacen cuando el agua de lluvia o nieve se infiltra en las capas profundas del suelo y luego brota en zonas de menor altura. Este fenómeno suele ocurrir cuando existen capas impermeables en el subsuelo, que bloquean el paso del agua y la obligan a ascender hacia la superficie. En algunos casos, las fuentes termales no están asociadas a la actividad volcánica, sino a la presencia de fallas geológicas o restos de antiguos cuerpos ígneos.

En el Perú, el vestigio de uso más antiguo y conocido del uso de las fuentes termales, es el caso de las fuentes de Baños del Inca en Cajamarca (Vargas, 2010), las fuentes termales en Perú constituyen un invaluable recurso desde el punto de vista turístico, económico, cultural y social.

En la Comunidad Campesina de Patahansa, ubicada en el Sector de Uyurmiri, Distrito Sicuani, Provincia Canchis, en el Departamento de Cusco, se desconoce el origen de las aguas termales. Por lo tanto, este proyecto de investigación se centrará en la caracterización hidrogeológica de dichas aguas termales. Para ello, se llevará a cabo una descripción geológica que incluirá aspectos de geología, geomorfología y estructural, se determinarán las unidades hidrológicas, se realizará un análisis geofísico e hidrogeoquímico, y finalmente, se desarrollará un modelo hidrogeológico que permita entender el comportamiento estructural de la surgencia de las aguas termales.

1.2 UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.2.1 UBICACIÓN POLITICA

El área de estudio se enmarca geopolíticamente en el Sector de Uyurmiri de la C.C. de Patahansa de Sicuani. El baño termal se encuentra en las faldas del Cerro Apu Jururu, en el extremo Nor-Este de la ciudad de Sicuani. (ver tabla 1.1)

Tabla 1.1 *Ubicación política de la quebrada Uyurmiri*

Región	Provincia	Distrito	Comunidad Campesina	Sector
Cusco	Canchis	Sicuani	Patahansa	Uyurmiri

Fuente: Elaboración propia

1.2.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA

Geográficamente las aguas termales de Uyurmiri se ubica según se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 *Ubicación geográfica de las aguas termales de Uyurmiri*

Sistema	Datum	Componentes	Coordenadas
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 1984	Latitud Sur	14°13'19.38"
		Longitud Oeste	71°12'59.04"
Coordenadas UTM	Horizontal WGS 1984	Norte (m)	8426579
		Este (m)	260828
		Zona	19 L
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	m.s.n.m.	3780

Fuente: Elaboración propia

1.2.3 UBICACIÓN HIDROGRAFICA

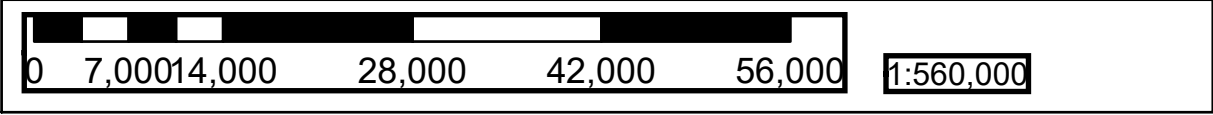
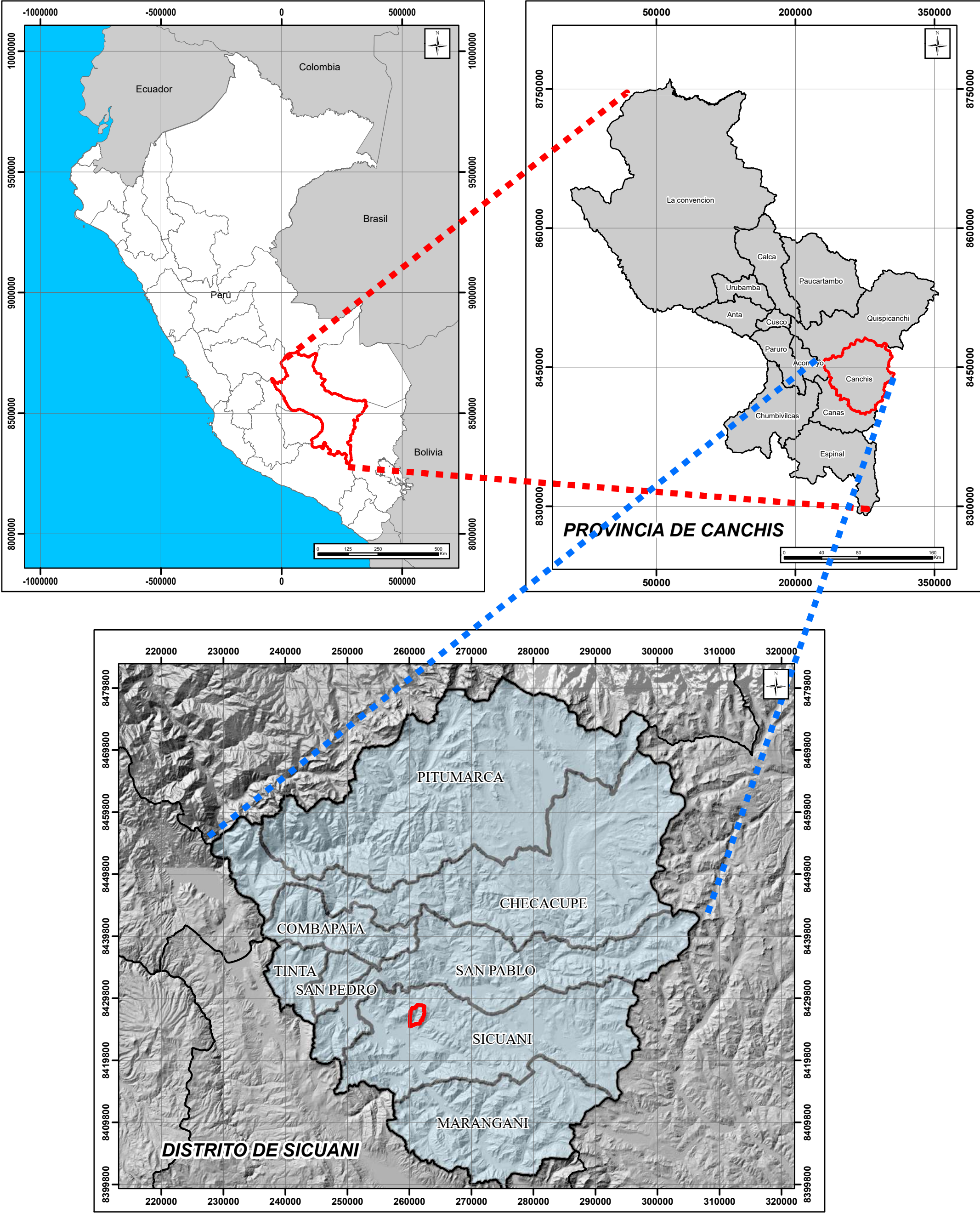
Hidrográficamente la zona de estudio se encuentra: (ver tabla 1.3)

Tabla 1.3 *Ubicación hidrográfica de la cuenca Uyurmiri del río Oscuna*

Unidad	Nivel	Nombre	Codificación
Cuenca mayor	Primer nivel	Región hidrográfica del Amazonas	4
Vertiente	Segundo nivel	Cuenca cabecera del río Amazonas	49
Gran cuenca	Tercer nivel	Cuenca del río Ucayali	499
Cuenca	Cuarto nivel	Cuenca del río Urubamba	4994
Sub cuenca	Quinto nivel	Cuenca del alto Urubamba	49949
Microcuenca	Sexto nivel	Cuenca de la quebrada Uscapata	499498
Quebrada	Séptimo nivel	Cuenca de la cabecera del río Vilcanota	4994983
Micro quebrada	Octavo nivel	Cuenca del río Torcoma	49949836
Cuenca	Noveno nivel	Cuenca del río Oscuna	499498362

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1 Mapa de ubicación política de las aguas termales de Uyurmiri



	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
MAPA DE UBICACIÓN POLITICA			
HIDROGEOLOGÍA DE LAS AGUA TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO			
Asesor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Roque		01
Elaborado por:	Bach. Bryson Eduardo Cahuana Valenzuela Bach. Jhon Alex Jhuallanca Mamani		
Datun horizontal	WGS 1984	Escala	N° de mapa
Sistema de proyeccion	UTM ZONA 19 S	1:560000	

Fuente: Elaboración propia

1.2.4 ACCESIBILIDAD

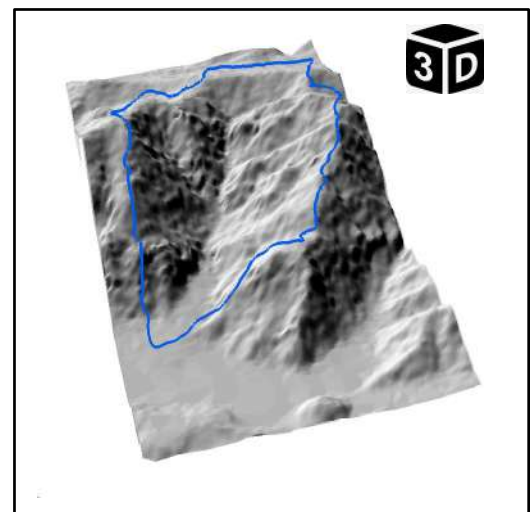
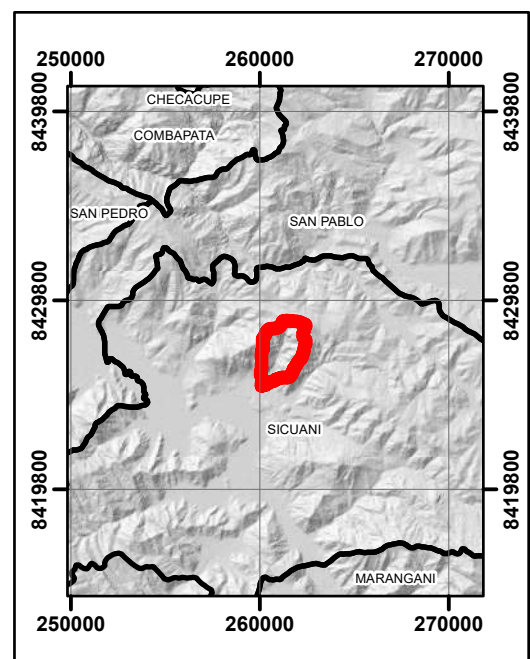
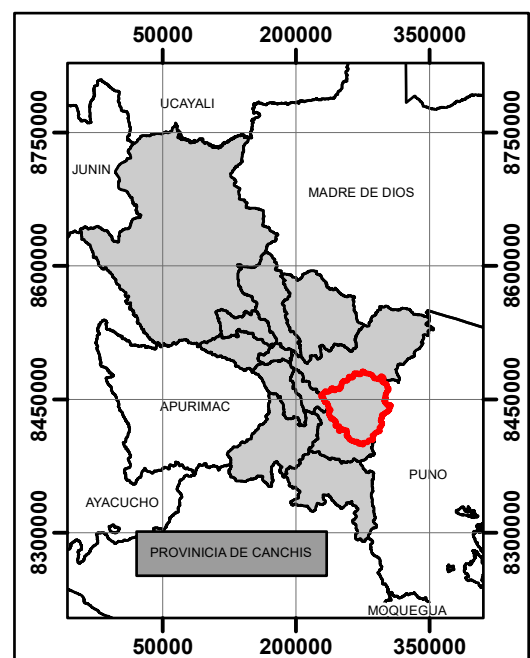
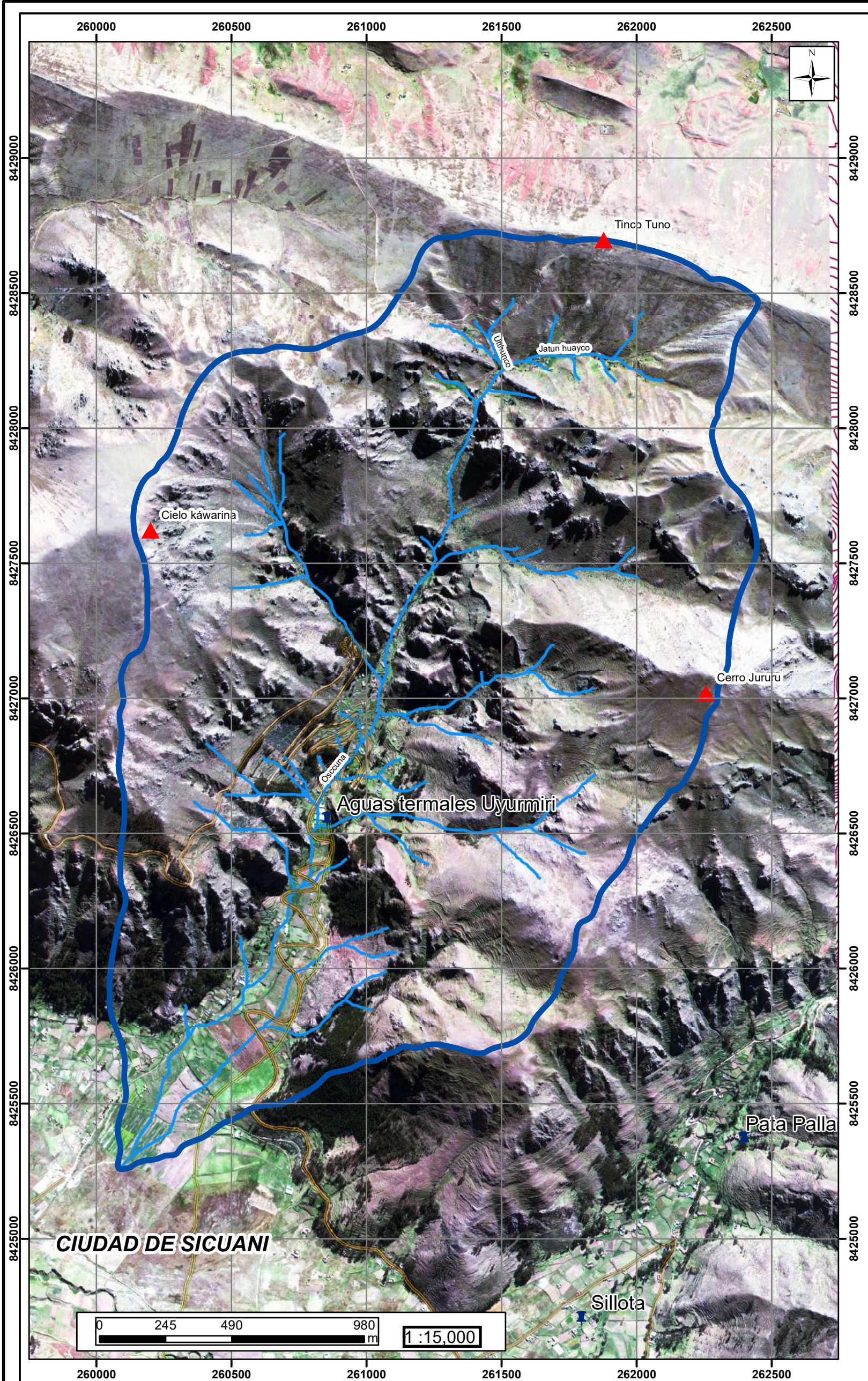
Para llegar a la zona de estudio es por vía terrestre, primero se dirige al terminal de Sicuani en Cusco, luego se sube a los buses hasta llegar a Sicuani, luego subir a las combis de la empresa PJW hasta llegar a Uyurmiri; el cual se especifica en la siguiente Tabla 1.4. También ver Figura 1.2.

Tabla 1.4 *Cuadro de accesibilidad al área de estudio*

N	Ruta	Distancia (Km)	Tiempo	Tipo de Vía
1	Cusco-Sicuani	140 km	2 h 50 min	Asfalto
2	Sicuani-Aguas termales de Uyurmiri	8.74 km	30 min	Trocha-Carrozable

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2 Mapa de ubicación de las aguas termales de Uyurmiri



SIMBOLOGIA

- ▲ Cerros
- ☞ Cuenca
- ✦ Centros poblados
- ~ Camino de herradura
- ~ Trocha carrozable
- ~ Drenajes

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



MAPA DE UBICACIÓN

HIDROGEOLOGÍA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO

Asesor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Roque	
Elaborado por:	Bach. Breyson Eduardo Cahuana Valenzuela Bach. Jhon Alex Jihuallanca Mamani	
Datun horizontal	WGS 1984	Escala
Sistema de proyeccion	UTM ZONA 19 S	1:15000
		Nº de mapa

02

1.3 ASPECTOS GEOGRAFICOS

1.3.1 CLIMA

Nuestra zona de estudio se caracteriza por presentar un clima muy templado con inviernos secos, según la estación Sicuani (SENAMHI), la temperatura media anual es de 7.9 a 12.77 °C y en cuanto a la precipitación media anual es de 508mm a 1469mm, alcanzando precipitaciones máximas registradas entre los meses de noviembre a marzo.

1.3.2 VEGETACION

La vegetación en la zona de estudio es característico de las zonas altoandinas, donde predominan el Ichu, Llaulle y árboles que de cierta manera estabilizan las laderas, también podemos observar áreas de cultivos (ver figura 1.3).

Figura 1.3 Vegetación de Ichu, árboles en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Las aguas termales son aguas minerales que surgen del suelo a temperatura mayor a 5°C, que han sido calentadas por formaciones geológicas subterráneas que se encuentran a mayor temperatura que la ambiental (Zarza, 2021), estas mismas son aprovechadas por el turismo, baños termales, o producción de agua mineral, tomando en cuenta factores como la temperatura, caudal suficiente y accesibilidad.

Para el aprovechamiento de estas aguas como baño termal, es necesario considerar no solo la temperatura y el caudal sino también la composición química de las aguas termales. Las aguas termales a nivel regional se extienden en su mayoría desde el valle sagrado hasta Machupichu, entre los más próximos a nuestra zona de estudio tenemos las aguas termales de San Pedro, dichas aguas se caracterizan por una temperatura promedio de 18°C y su composición sódica, cálcica, clorurada y bicarbonatada; otra fuente próxima son las aguas termales la raya-Canchis están aguas dan origen al importante valle del Vilcanota y se caracteriza por un coloración amarillenta y una temperatura de varía desde los 12°C hasta los 60°C (Waman Adventures, 2020).

En la comunidad campesina de Patahansa, sector de Uyurmiri, distrito Sicuani, provincia Canchis, departamento Cusco, actualmente el aprovechamiento de agua termal se desarrolla como baño termal, sin embargo, se desconoce el origen de las aguas termales, tampoco cuenta con un tratamiento hidroquímico ya que no se realizó un estudio hidrogeológico; por esta razón, este proyecto de investigación tiene como finalidad la caracterización hidrogeológica de dichas aguas termales.

1.4.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.4.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ❖ ¿Cuáles son las características hidrogeológicas del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco?

1.4.2.2 PROBLEMA ESPECIFICO

- ❖ ¿Cuáles son las características geomorfológicas y geológicas del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco?

- ❖ ¿Como es el comportamiento estructural de la surgencia de agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las características Hidrogeoquímica del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuál es el modelo hidrogeológico del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Determinar las características hidrogeológicas del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis y departamento de Cusco.

1.5.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- ❖ Caracterizar las unidades geomorfológicas y geológicas donde se emplaza el agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco.
- ❖ Definir el comportamiento estructural de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de Cusco.
- ❖ Realizar un análisis hidrogeoquímico del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis y departamento de Cusco.
- ❖ Diseñar un modelo de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis y departamento de Cusco.

1.6 JUSTIFICACION

Es preciso realizar este presente proyecto de investigación con la finalidad de conocer las características hidrogeológicas del agua termal, mediante una descripción geológica, estructural, hidrológica, geofísica e hidrogeoquímica, donde podemos plasmar un modelo hidrogeológico estructural que determinará el régimen hidrológico de las aguas termales en superficie, el cual ayudará a la Comunidad Campesina de Patahansa, Sector de Uyurmiri al mejor aprovechamiento del agua termal, también es importante comprender sus características hidroquímicas de las aguas

termales ya que a través de ello podemos reconocer si presentan propiedades terapéuticas y poder contribuir a la salud pública de los usuarios, cabe resaltar que estas aguas pueden potenciar el turismo, generar empleo y desarrollo económico en la comunidad de Patahansa. Por otro lado, se espera poder aportar información en el desarrollo de futuras investigaciones de dichas aguas termales en diferentes áreas; tanto a nivel local, regional y nacional.

Es necesario realizar este trabajo de investigación con el objetivo de obtener el título de Ingeniero Geólogo, ya que forma parte del programa de estudios y a través de ello podemos integrar y aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra formación profesional, en esta investigación se aborda un problema local en la comunidad de Patahansa

1.7 FORMULACION DE HIPOTESIS

1.7.1 HIPOTESIS GENERAL

- ❖ Las características hidrogeológicas, Geológicas (Estructural), Hidrológicas, Hidrogeoquímica y Geofísicas del agua termal de Uyurmiri son de origen regional profundo.

1.7.2 HIPOTESIS ESPECIFICO

- ❖ Las unidades geológicas en la que se emplazan la surgencia de las aguas termales pertenecen al Grupo Mitu (volcanosedimentario) y depósitos cuaternarios.
- ❖ En cuanto al comportamiento estructural la surgencia de agua termal de Uyurmiri está controlada por una falla local.
- ❖ Las aguas termales geoquímicamente a nivel regional tienen una composición bicarbonatada, sódica, cálcica, clorurada según (Cutipa & Porroa, 2016) en Uyurmiri, asumimos que presenta una composición semejante.
- ❖ El modelo hidrogeológico estructural de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, representa a aguas de origen regional profundo.

1.8 VARIABLES

- ❖ Hidrogeología
- ❖ Agua termal

1.9 METODOLOGIA DE TRABAJO

1.9.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método es hipotético-deductivo es uno de los modelos para describir al método científico, basado en un ciclo inducción-deducción-inducción para establecer hipótesis y comprobar o refutarlas (Colomé & Serrano, 2018, p. 10).

ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

El estudio de investigación que se empleara es “mixto”, ya que según Johnson y Onwuegbuzie (2004) “el tipo de estudio donde el investigador mezcla o combina técnicas de investigación, métodos, enfoques, conceptos o lenguaje cuantitativo o cualitativo en un solo estudio”

TIPO DE INVESTIGACION

Se aplicará una investigación **aplicada** ya que según (Ñaupas, 2018) se basan en los resultados de la investigación básica, pura o fundamental, de las ciencias naturales y sociales, que hemos visto, se formulan problemas e hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida social de la comunidad regional o del país.

NIVEL DE INVESTIGACION

El nivel de investigación es **exploratorio** ya que según (Selltiz, 1969) es una búsqueda de información, con el propósito de formular problemas e hipótesis para una investigación más profunda de carácter explicativo; también es una investigación **descriptiva** como dice (R. Gay, 1996) “La investigación descriptiva, comprende la colección de datos para probar hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos del estudio. Un estudio descriptivo determina e informa los modos de ser de los objetos”. (Gay, 1996:249)

Tabla 1.5 *Cuadro de operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Indicador
Hidrogeología	Geología	Unidades litológicas
	Geomorfología	Pendientes, geoformas
	Geología estructural	Fallas, pliegues, fracturas
	Hidroggeoquímica	PH, conductividad, elementos mayoritarios
		Resistividad
	Hidrología	Precipitación, evapotranspiración, escorrentía
Agua termal	Gradiente geotérmico	Temperatura, profundidad
	Gradiente hidráulico	Caudal, Conductividad hidráulica

Fuente: Elaboración propia

1.10 ETAPAS DE ELABORACIÓN DE ESTUDIO

ETAPA DE PRE-CAMPO

- Recopilación y revisión bibliográfica de los antecedentes de la zona de estudio a nivel regional y local
- Recopilación y revisión de libros académicos acerca de hidrogeología, fuentes termales, hidroggeoquímica, entre otros
- Descarga de datos SIG vectoriales y ráster de plataformas GEOCATMIN, ALOS PALSAR-ASF, GLOBAL MAPER, entre otros.
- Elaboración de mapas base como geológico, geomorfológico, hidrológico y accesibilidad.
- Recopilación de datos históricos de cuerpos calientes de la zona estudio.

ETAPA DE CAMPO

- Reconocimiento de las formaciones geológicas y geomorfológicas en la zona de interés.
- Levantamiento de columnas estratigráficas

- Mapeo estructural, reconocimiento de fallas y diaclasas pliegues en nuestra zona de interés.
- Ejecución de los ensayos hidrogeológica de las formaciones geológicas a partir del cartografiado geológico
- Muestreo hidrogeoquímica (toma de muestras de agua) de las aguas termales y aguas subterráneas superficiales.
- Toma de fotografía de carácter geológico, geomorfológico, estructural para afianzar el proyecto de investigación

ETAPA DE GABINETE O POST-CAMPO

- ❖ Envío de muestra a laboratorios especializados para su análisis químico correspondiente
- ❖ Análisis de los datos obtenidos en campo y en laboratorio
- ❖ Administrar de la información recopilada
- ❖ Digitalización de mapas
- ❖ Redacción de la información recopilada y producida acompañado de sus mapas, esquemas e imágenes; así como también las conclusiones, discusiones, recomendaciones, etc.

1.11 EQUIPOS Y MATERIALES

EQUIPOS

Brújula. Se utilizará para la orientación, medir rumbo y buzamientos de estructuras y estratificaciones. Luego se usará el GPS para la ubicación de puntos en la toma de coordenadas, posterior a ello se usará la cinta métrica para medir estratos y estructuras para un correcto cartografiado, luego se utilizará la picota para la extracción de muestras in-situ. Luego se tomará fotos de los afloramientos, estructuras, entre otras con una cámara fotográfica.

Para la toma de datos hidrogeológicos se usará un pluviómetro para la medición de las precipitaciones durante un tiempo determinado con un cronometro para medir el tiempo y Tubos PVC el cual se usará para medir los parámetros hidrológicos.

MATERIALES

- Imagen satelital. Para realizar una correcta fotointerpretación y de mucha ayuda en campo en el mapeo.
- Mapas base: Topográfico, geológico, satelital para delimitar.
- Tableros, colores, portaminas, regla.
- Papel milimetrado. Se utilizará para realizar un correcto cartografiado y secciones geológicas.
- Bolsas para recolección de muestras
- Ácido clorhídrico. Para determinar si contiene carbonatos las muestras
- Lupa, rayador. Para realizar un correcto mapeo con el reconocimiento de las muestras
- Protactor (escalímetro). Para poder ubicarnos en los mapas base.
- Chaleco. Para el mejor manejo de los equipos y materiales en campo
- Ponchos de agua. Para protegernos de la lluvia.

1.12 MARCO TEORICO

1.12.1 MARCO REFERENCIAL

En el papper académico “Génesis geológica e hidrogeológica de la surgencia de aguas termales en los baños de Fortuna”, Se encuentra localizada en Murcia-Almansa-España, realizado por Ignacio Genoves Cardona y Melchor Senent Alonso. Tiene como objetivo principal proponer un modelo que explique de forma razonable las surgencias de aguas termales en los baños de Fortuna. El presente papper académico nos servirá de guía para comprender la relación de las manifestaciones hidrotermales con el grado de fracturamiento que existe en nuestra zona de estudio.

En el papper académico “Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de aguas minerales y termales de la provincia de Málaga” Se encuentra localizada en la prov. Málaga-Andalucía-España, realizado por Juan A. Barberá Fornell: Ander de Abrisqueta Rangel y Bartolomé Andreo Navarro. Este estudio tiene como finalidad analizar la relación entre su composición química y

geología de rocas en la prov. de Málaga, para lo cual se tomó muestras de manantiales y sondeos para su posterior análisis y medidas de parámetros físico-químico in-situ. El presente paper académico nos ayudara a entender la importancia de la hidrogeoquímica en el campo hidrotermal.

En el boletín N 48 Serie C “Estudio geotérmico del campo calientes” donde se describe las fuentes termales de todo el Perú, tiene como finalidad realizar la caracterización de cuerpos calientes en base al conocimiento geológico, geofísico, hidrogeológico y geoquímica, definiendo un modelo de la estructura geotérmica. El presente boletín N 48 Serie C nos ayudara a interpretar la correlación que tiene las manifestaciones termales en las diferentes regiones, aplicando las distintas ciencias geológicas.

En el informe técnico “Estudio hidrogeológico de aguas termales del complejo turístico del Inca y alrededores”. Realizado por (Benavides & Pari, 2003), tiene como objetivo determinar los recursos hidrotermales que se localizan y en su posible ampliación a futuro. La surgencia de las aguas termales se halla controlada por un sistema de fallas de dirección NO - SE (andina), que se intersecan con fallas de dirección NE-SO y que están asociadas a un sistema de pliegues que para el área de estudio corresponde a un anticlinal denominado "Anticlinal baños del Inca". El presente informe técnico nos ayudara a comprender que la surgencia de las aguas termales está controlada por un sistema de fallas y pliegues.

En la tesis “Análisis estructural, hidroquímico y químico de los baños termales de Machacancha Y Minasmoqo, prov. de Calca, region Cusco” realizado por el bachiller Bach. Parra Vera, Gracian y Bach. Requejo Peralta Diego Martín Alfredo, Tiene como objetivo determinar el origen de los baños termales de Machacancha y Minasmoqo en la provincia de Calca, región Cusco mediante un análisis estructural, hidroquímico y químico de metales base. La presente Tesis nos ayudara a entender la importancia de la composición del agua termal con el origen, y la relación que guarda a nivel regional.

En la Tesis “Estudio hidrogeológico de los baños termales de la Raya, distrito de Marangani, provincia de Canchis, Cusco”. Realizado por Bach. Francisco Jhuniór Gutierrez Supa. Tiene como objetivo principal evaluar las características hidrogeológicas de los baños termales de la Raya. Esta presente tesis es de gran importancia para la elaboración de nuestro proyecto de investigación ya que guarda relación con la surgencia de las aguas termales de nuestra zona de estudio.

En el Informe técnico “Geología regional de cuadrángulo de Ocongate 28t y Sicuani 29t” (Etienne Audebaud,1973) Los cuadrángulos de Ocongate y Sicuani abarcan parte de la cordillera oriental y del valle del Vilcanota, al Este-Sureste de la ciudad del Cuzco. La columna estratigráfica del cuadrángulo de Sicuani 29-t comprende unidades desde el Paleozoico inferior hasta el Cuaternario. Este presente informe técnico es de gran ayuda para describir la geológica a nivel regional de nuestra zona de estudio.

1.12.2 MARCO CONCEPTUAL

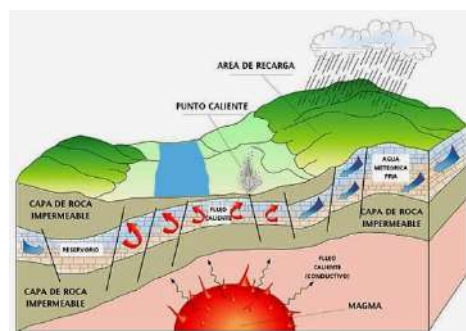
Aguas termales, minerales y termo minerales y aguas minero-medicinales

Se entiende por fuente o manantial a cualquier punto de salida natural de agua subterránea hacia la superficie del suelo. Las aguas termales se clasifican en base a su temperatura, contenido de iones en solución y composición química (Rivera, pág. 270).

- ❖ Fuente termal. Tiene una temperatura que se encuentra entre 6° y 9°C por encima de la temperatura promedio anual del aire.
- ❖ Agua mineral natural. Se define por tener más de 1000 mg/l de sales disueltas o más de 250 mg/l de gases de CO₂.

La mayoría de estas fuentes provienen del enfriamiento de las rocas ígneas, tanto plutónicas como volcánicas. En menor medida, esto se debe al gradiente geotérmico, que establece que, por cada 33 metros de profundidad, la temperatura aumenta en 1°C. Así, cuando el agua subterránea circula a grandes profundidades, se calienta. Si se eleva a la superficie el agua puede emerger como fuente termal (Rivera, pág. 270). (ver figura 1.4)

Figura 1.4 Formación de aguas termales

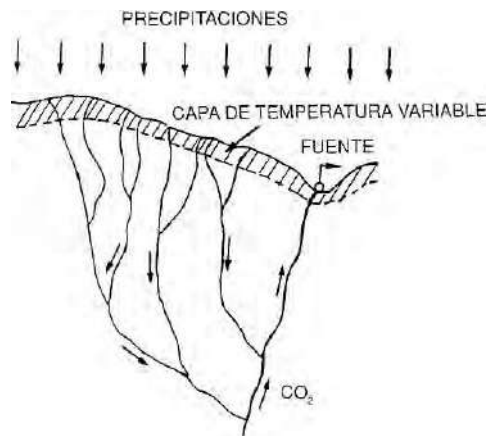


Fuente: Gómez de Beyoda (1765)

Clasificación de aguas termales por su origen

- **Origen meteórico.** El agua meteórica originada por las precipitaciones se filtra en el suelo debido a la gravedad, alcanzando capas profundas donde su temperatura aumenta debido al gradiente térmico. Este no es constante pues depende de las características físicas de los estratos en el interior del planeta. (Castany, 1984). (ver figura 1.5)

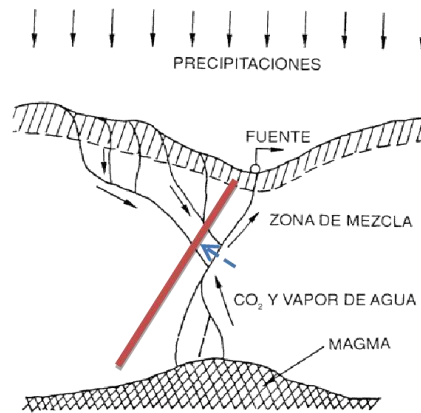
Figura 1.5 Esquema de origen meteórico de las aguas termales



Fuente: Vargas (2010)

- **Origen juvenil o endógeno.** Las propiedades fisicoquímicas, junto con su alta temperatura y su particularidad, se ven influenciadas también por su profundidad. . Por tal circunstancia esta puede ser de origen magmático, volcánico o producidos por reacciones químicas (Castany, 1984). (ver figura 1.6)

Figura 1.6 Esquema de origen juvenil de las aguas termales



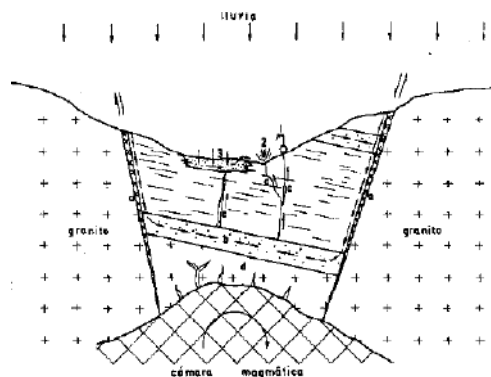
Fuente: Vargas (2010)

- **Origen magmático.** Estas aguas tienen una composición química independiente de la roca de donde han salido, presentan sustancias minerales propias, contenido de sales, temperatura y características hidrológicas que son relativamente constantes de tipo epitermal (Castany, 1984)
- **Origen volcánico.** Proceden de la consolidación de las lavas y el vapor de agua de origen volcánico, destilación de la humedad de las rocas, expulsión del vapor de agua de las capas profundas, esta emisión de vapor de agua va acompañada de gas carbónico, ácido fluorhídrico y dióxido de azufre (Castany, 1984).
- **Origen por reacciones químicas.** Hay que tener en cuenta que ciertas reacciones químicas de carácter intenso en el seno de la corteza terrestre liberan agua, y que algunos sedimentos al depositarse sobre fondos marinos dan lugar a un proceso de oclusión de parte del agua de arrastre, originando las denominadas aguas fósiles, particularmente ricas en cloruro sódico (NaCl), bromo (Br) y Yodo (I) (Castany, 1984).

De manera análoga, las aguas juveniles o endógenas pueden proceder de reacción química que conducen a la consolidación de lavas y de vapor de agua de origen volcánico, acompañados generalmente de gases como el anhídrido, carbónico, nitrógeno, sulfhídrico y fluorhídrico (Pinuaga Espejel, 1984).

- **Origen mixto.** Las Aguas termales pueden tener también un origen mixto, por mezcla de aguas meteóricas de infiltración reciente con aguas endógenas o fósiles (Pinuaga Espejel, 1984). (ver figura 1.7)

Figura 1.7 Esquema de origen mixto de las aguas termales



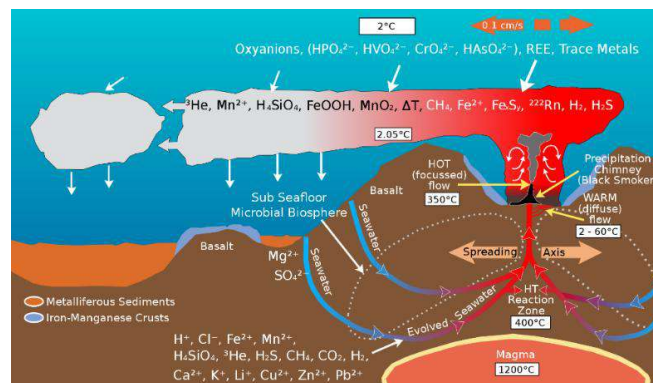
Fuente: Vargas (2010)

- **Aguas fósiles.** En los fondos marinos se depositan sedimentos, lo que evaporados del agua se quedan en parte aprisionados en las rocas a ser formadas, el lavado de las capas sedimentarias por las aguas de infiltración o por aguas endógenas pueden arrastrar aguas fósiles las que modifican su composición química (Castany, 1984).

Áreas Geotérmicas

Según (Custodio & Llamas, 1983)“las áreas geotérmicas, son zonas de la corteza terrestre con un gradiente geotérmico elevado, que implican temperaturas elevadas en profundidad [...]. El conjunto de materiales fluidos en movimiento, fracturas, foco caliente, etc., que intervienen en un área geotérmica forman un sistema geotérmico (ver figura 1.8). Si el sistema geotérmico incluye agua en movimiento se llama también sistema hidrotermal y debe incluir el flujo convectivo de agua fría descendente necesario para mantener la cantidad de agua existente en el sistema. Las áreas con manantiales termales, fumarolas, etc., son la manifestación externa de un sistema hidrotermal, aunque no siempre aparecen estas manifestaciones exteriores.

Figura 1.8 Diagrama de la circulación hidrotermal en una dorsal mediooceánica.



Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (2019)

Surgencia de aguas termales

Las fuentes de agua termal están principalmente relacionadas con el concepto de "ascenso" de aguas subterráneas profundas. Esta condición, que evidencia el importante papel de las fracturas abiertas, limita los tipos de surgencias a estructuras muy particulares, que admiten menos variaciones que las de las aguas subterráneas en general (Pinagua, 2004). Entre los accidentes geológicos que favorecen la circulación del agua se pueden citar:

- ❖ Las diaclasas y pequeñas fisuras.
- ❖ Las fallas y áreas de milonización.
- ❖ Los límites geológicos.
- ❖ Los filones y diques volcánicos.
- ❖ Los filones con minerales metálicos

Mecanismos de surgencia de las aguas termales

Los sistemas de aguas termales dan lugar al nacimiento de fuentes bajo la influencia de factores hidrogeológicos y físicos de los que unos, como el gradiente hidráulico son comunes a todo tipo de circulación subterránea, y otros, son particulares de las aguas termales profundas (Pinagua, 2004, pág.3). Entre estos últimos, se pueden:

- ❖ El gradiente de presión del agua
- ❖ La expansión del vapor de agua
- ❖ El efecto de los gases disueltos y atrapados
- ❖ El impacto de la temperatura

Fuentes termales y aguas calientes en el Perú

Según un estudio del (Benavides & Pari, 2003) se identificó más de 6 regiones geotérmicas de importancia para la energía geotérmica, la sexta de estas regiones se encuentra en la región Cusco-Puno que está controlada por las estructuras geológicas, formaciones y su dinámica de recarga y descarga.

- **Aguas termales en la ciudad de Cusco**

En este sector se observan bloques elevados y hundidos, resultado de compresiones, extensiones y fallamientos longitudinales. Geológicamente, las formaciones rocosas varían desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, y en la parte oriental se encuentran intrusivos.

Las fuentes termales y termo-minerales siguen una orientación noroeste-sureste, alineada con las estructuras andinas. Las fuentes situadas en la zona oriental deben su calentamiento a la influencia de los intrusivos cercanos. Estas aguas emergen de areniscas del Ordovícico (Formación Sandia).

Las fuentes más frecuentes se localizan en la zona central, y se considera que provienen de aguas subterráneas superficiales que penetran a través de rocas permeables, fallas o fracturas. A medida que estas aguas descienden y se calientan debido al gradiente geotérmico, alcanzan un equilibrio hidrogeoquímico. Con temperaturas más altas y menor densidad, las aguas tienden a ascender hacia la superficie, emergiendo por los puntos más favorables, que pueden coincidir con las mismas rutas por las que ingresaron.

. En este caso presumimos por las observaciones de campo y por los elementos traza de Li, Rb, Cs y Sr, que las fuentes mencionadas surgen predominantemente de areniscas, conglomerados y volcánicos del Pérmico (Grupo Mitu); y areniscas cretácico-paleógenas (formaciones Huancané, Cotacucho, Muñani y Grupo Puno)

Clasificación de las aguas Termo minerales

De acuerdo a su temperatura

Con frecuencia se encuentran clasificadas las aguas, por su temperatura, como sigue en (Armijo- Valenzuela y San Martín,1994):

- ❖ Frías: inferiores a 20 °C.
- ❖ Hipotermas: entre 20 y 35 °C.
- ❖ Mesotermas: entre 35 y 45 °C.
- ❖ Hipertermas: superiores a 45 °C y hasta 50 °C. (Reyes, 2015)

De acuerdo a su mineralización

Las clasificaciones de mayor aceptación en todo el mundo son las basadas en la mineralización predominante y especial que pueden contener las aguas. En todas ellas se considera la mineralización total, la predominante y también la especial, dándose carácter de predominante a aquellos gases, aniones o cationes que representan más del 20 % de la masa iónica correspondiente, expresada en mili equivalentes (Valenzuela y San Martín, 1994 p. 11).

De acuerdo con estas normas, que se consideran de alcance internacional, las aguas minerales se pueden clasificar de la siguiente manera:

Sulfatadas: Contienen más de 1 g/l de sustancias mineralizantes, siendo el anión sulfato el predominante. Sus propiedades terapéuticas están influenciadas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro.

Cloruradas: Presentan más de 1 g/l de sustancias mineralizantes, con el ion cloruro generalmente acompañado de sodio en proporciones similares. Estas aguas tienen un origen profundo y reflejan la presencia de antiguos mares. Las fallas y fisuras en el subsuelo facilitan su ascenso hacia la superficie. Se dividen en fuentes (más de 50 g/l), medianas (entre 10 y 50 g/l) y débiles (menos de 10 g/l).

Bicarbonatadas: Contienen más de 1 g/l de sustancias mineralizantes, con el ion bicarbonato acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros elementos. Estas aguas cuando poseen gran cantidad de ácidos libres (CO_2 mayor de 250 mg/L), también se denominan carbónicas o carbogaseosas. (Reyes,2015)

Geomorfología. Las distintas unidades que conforman el paisaje o el terreno son objeto de estudio de la geomorfología y se conocen como geoformas. Su definición responde a un concepto amplio que engloba todas las formas del relieve, sin importar su origen, tamaño o grado de abstracción, de manera similar a cómo se emplean los términos suelo en pedología o planta en botánica.

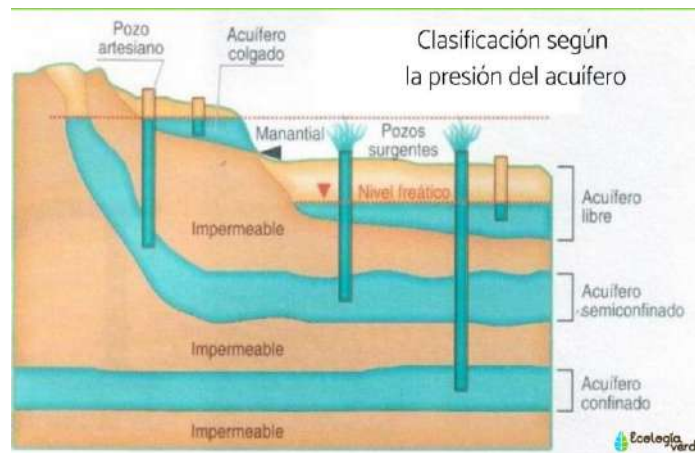
Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas o las aguas que circulan por el subsuelo que realizan acciones de erosión, transporte y sedimentación y sobre las rocas químicamente que no se observan en la superficie.

Clasificación de unidades geológicas según el comportamiento hidrogeológico

Según Martínez (2006), desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, las formaciones geológicas se clasifican en: acuíferos, acuitardo, acuicludos y acuífugos. Los acuíferos son formaciones que tienen la capacidad de almacenar y transportar grandes cantidades de agua. Los acuitardos también almacenan agua, pero lo hacen de manera más lenta. Por otro lado, los acuicludos pueden almacenar agua, aunque no son capaces de transmitirla. Finalmente, los acuíferos no tienen ni la capacidad de almacenar ni de transmitir agua (ver figura 1.9).

Figura 1.9 Clasificación de acuífero



Fuente: Andrea Márquez, 2020

Clasificación de acuíferos según su porosidad

- **Acuífero poroso**

Este tipo de porosidad es característico de las rocas detríticas no consolidadas. En estas rocas, los poros forman una compleja red de pequeños canales por donde circula el agua subterránea. Generalmente esta red de canales está distribuida por todo el volumen de la roca (Martínez, & Castaño, 2006, pág. 82).

- **Acuífero fisurado**

Este tipo de porosidad es común en las rocas sedimentarias consolidadas, plutónicas y metamórficas. Debido a diversos procesos tectónicos, estas rocas exhiben una red de fisuras que varían en tamaño y densidad. Las fisuras no suelen estar distribuidas homogéneamente en todo el volumen de la roca en donde generalmente se encuentran zonas fisuradas junto a zonas en las que la ausencia de fisuras es total (Martínez, & Castaño, 2006, pág. 84).

- **Acuífero kárstico**

Es la porosidad de los medios kársticos en los que a partir de pequeñas fisuras y planos de estratificación el agua va disolviendo la roca y acaban por formarse verdaderas redes de drenaje tridimensionales por las que pueden circular auténticos ríos de agua subterránea (Martínez, & Castaño, 2006, pág. 84).

Geología estructural

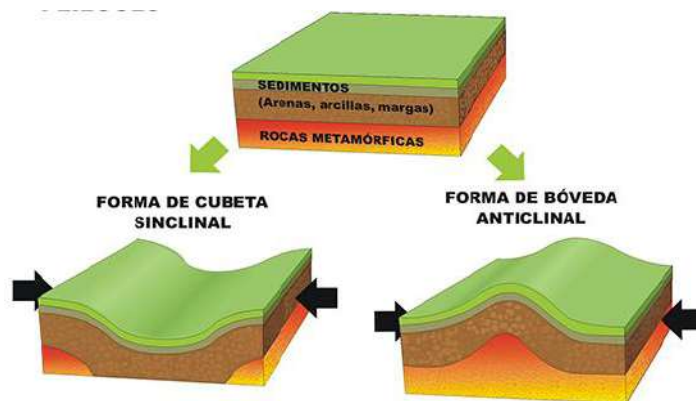
La geología estructural se enfoca en el estudio de los pliegues, fallas y otras formaciones estructurales de la litosfera, analizando su aparición, formación y los procesos que dieron lugar a ellas. Las estructuras, que abarcan desde elementos de cientos de kilómetros de longitud hasta detalles microscópicos, se dan en muchos entornos diferentes y han experimentado cambios en la tensión y el esfuerzo. (Fossen, 2016).

Estructuras geológicas secundarias

Son aquellas que se generan como resultado de un proceso de deformación que experimenta la roca una vez que ya se ha formado. Se tiene: pliegues, fallas, diaclasas.

- ❖ **Pliegue:** Un pliegue es una estructura secundaria que se forma cuando una superficie inicialmente plana se inclina o curva debido a una deformación dúctil no homogénea, lo que da lugar a una o varias ondulaciones en sus componentes originales. Cuando esto ocurre, las rocas experimentan una modificación en su geometría (ver figura 1.10), la que se reconoce cuando los cuerpos rocosos presentan algún rasgo plano o lineal rectilíneo antes de la deformación, el rasgo previo más común es la estratificación. (Arellano Gil, 2002).

Figura 1.10 Tipos de pliegues

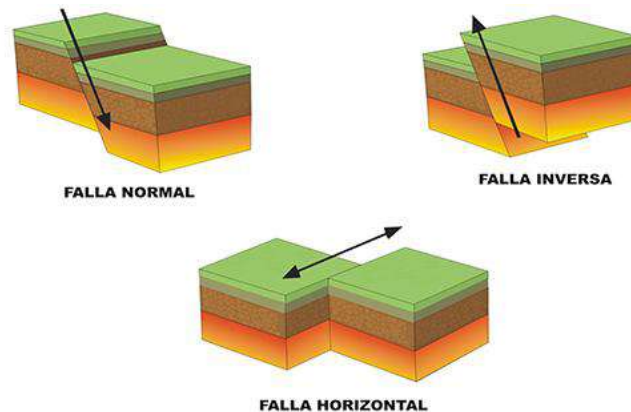


Fuente: Bermúdez, 2010

- ❖ **Falla:** Una falla se define como cualquier superficie o área estrecha que presenta un desplazamiento por cizalladura claramente observable a lo largo de su extensión. Esta definición es prácticamente equivalente a la de una fractura por cizalladura, y algunos

geólogos emplean ambos términos de manera intercambiable. En ocasiones, los geólogos también se refieren como microfallas a las fracturas por cizalladura con desplazamientos de magnitud milimétrica o centimétrica (ver figura 1.11). Sin embargo, la mayoría de los geólogos restringirían el término fractura de cizalla a las estructuras de pequeña escala y reservarían el término falla a las estructuras de pequeña escala. (Fossen, 2016).

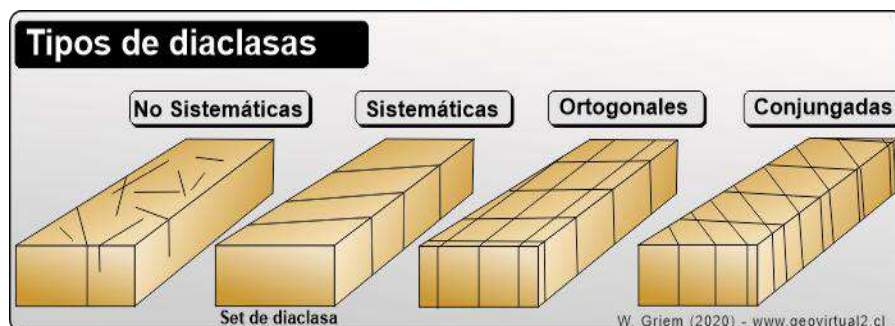
Figura 1.11 Tipos de fallas



Fuente: Bermúdez, 2010

✓ **Diaclasas:** En el ámbito de la deformación frágil, las rocas se fracturan a lo largo de superficies que suelen ser relativamente planas. Estas superficies de ruptura se conocen como diaclasas cuando no se observa desplazamiento entre los dos bloques separados por la discontinuidad, en dirección paralela a la superficie misma. Las fracturas son discontinuidades aproximadamente planas que separan bloques de roca con desplazamiento perpendicular al plano de ruptura. (Arellano Gil et al., 2002) (ver figura 1.12)

Figura 1.12 Tipos de diaclasas



Fuente: Griem, 2020

Parámetros hidrogeológicos de las formaciones geológicas (González de Vallejo, 2002)

La capacidad de almacenar y transmitir el agua por parte de un acuífero debe ser cuantificada para evaluar las formaciones desde el punto de vista hidrológico.

Porosidad: La porosidad se define como la relación entre el volumen de los vacíos y el volumen total de una roca. Es un parámetro sin dimensiones que depende exclusivamente de la composición de la roca o suelo, es decir, de su textura característica, sin verse afectada por su forma geométrica, el grosor de la formación o su comportamiento hidráulico en la naturaleza.

$$n = \text{volumen de los poros} / \text{volumen total}$$

$$n_e = \text{volumen de poros conectados} / \text{volumen total (Porosidad eficaz)}$$

Permeabilidad: La permeabilidad es el parámetro que mide la capacidad de una formación para transmitir agua, según su textura, sin tener en cuenta su estructura o forma geométrica. La permeabilidad efectiva (k) se define como el volumen de agua que puede atravesar una unidad de sección transversal del acuífero, perpendicular al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Así, depende tanto de las propiedades del medio físico (acuífero) como de las características del fluido que lo atraviesa (agua).

$$k = K \cdot \gamma_w / \mu$$

Donde:

- k = Permeabilidad efectiva
- K = Permeabilidad intrínseca
- γ_w = Peso específico del agua
- μ = Viscosidad dinámica

Transmisividad: La transmisividad T es el parámetro utilizado para medir la capacidad de los acuíferos para transmitir agua, considerando no solo la textura del acuífero y las propiedades del fluido, sino también las características estructurales o geométricas. Se define como el producto de la conductividad hidráulica k y el espesor del acuífero b .

$$T = k \cdot b$$

Coeficiente de almacenamiento: Este coeficiente indica la capacidad de un acuífero para liberar agua. Se define como el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de base unitaria y de altura la del acuífero, cuando desciende 1 m el nivel piezométrico(Contreras Jose, s. f., p. 5). or lo tanto, es un parámetro físico que se refiere al volumen de agua liberado por cada unidad de volumen del acuífero y, al igual que la porosidad, no tiene dimensiones. En los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento S' es igual a la porosidad efectiva ne .

$$S' = ne$$

Diagrama par la clasificación hidroquímico

- **Diagrama Piper**

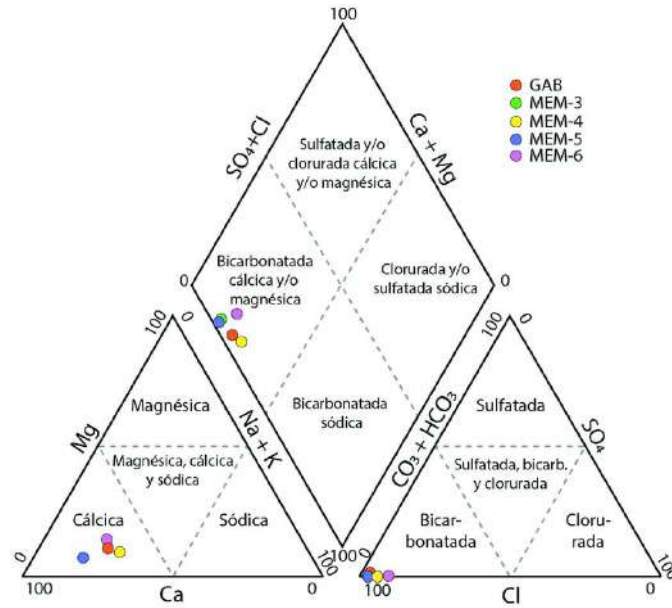
Diagrama de Piper (1944) para la clasificación del agua subterránea en cuatro grupos, según la serie de Chebotarev (1955) conforme aumenta el recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero se da un aumento de la salinidad y el cloro y sulfato se vuelven los aniones predominantes.(Ulloa, 2021)

Es importante tener en cuenta que, para una interpretación detallada, es necesario considerar que los iones deben estar reducidos y expresados en porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) para su construcción.

Es uno de los gráficos más empleados, ya que presenta tanto aniones como cationes de manera simultánea. Este tipo de gráfico facilita la representación de múltiples análisis sin generar confusión. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio 1965).

Consiste en dos triángulos equiláteros, en los cuales se muestran los cationes y aniones predominantes. Los vértices del triángulo de cationes están representados por Ca^{2+} , Mg^{2+} y $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, mientras que los vértices del triángulo de aniones corresponden a SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central (ver figura 1.13) en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes(Villegas, 2011).

Figura 1.13 Diagrama de Piper



Fuente: Chebotarev, 1955

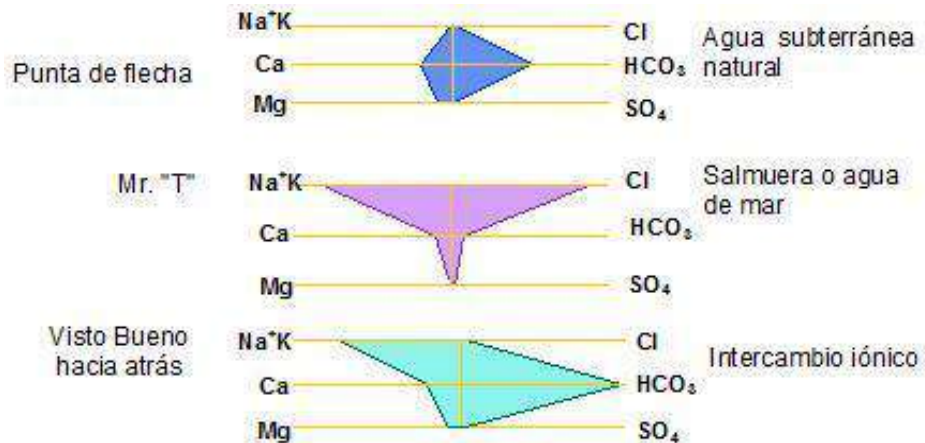
- **Diagrama Stiff**

Este gráfico está formado por tres ejes horizontales, cada uno conectando un catión con un anión. Los cationes se ubican a la izquierda del diagrama, mientras que los aniones se sitúan a la derecha. En el gráfico, el Na⁺ se compara con el Cl⁻, el Ca²⁺ con el HCO₃⁻ y el Mg²⁺ con el SO₄²⁻ (en ocasiones también se incluyen otros iones, como el Fe²⁺ frente al NO₃⁻). Todos los ejes horizontales tienen la misma escala lineal y las concentraciones se expresan en meq/l.

Este tipo de diagrama presenta dos características clave: en primer lugar, permite visualizar claramente distintos tipos de agua, cada una con una configuración específica, y, en segundo lugar, proporciona una indicación del grado de mineralización. En el gráfico siguiente, se muestran ejemplos que ilustran cómo se caracterizan diferentes tipos de aguas. (ver figura 1.14)

Además, este diagrama permite observar las relaciones iónicas respecto a la unidad, así como las variaciones entre cationes y aniones de una muestra. También es posible representar estos datos en un mapa, lo que facilita la visualización de la variación espacial de la mineralización del agua en el acuífero.

Figura 1.14 Distribución del diagrama de Stiff

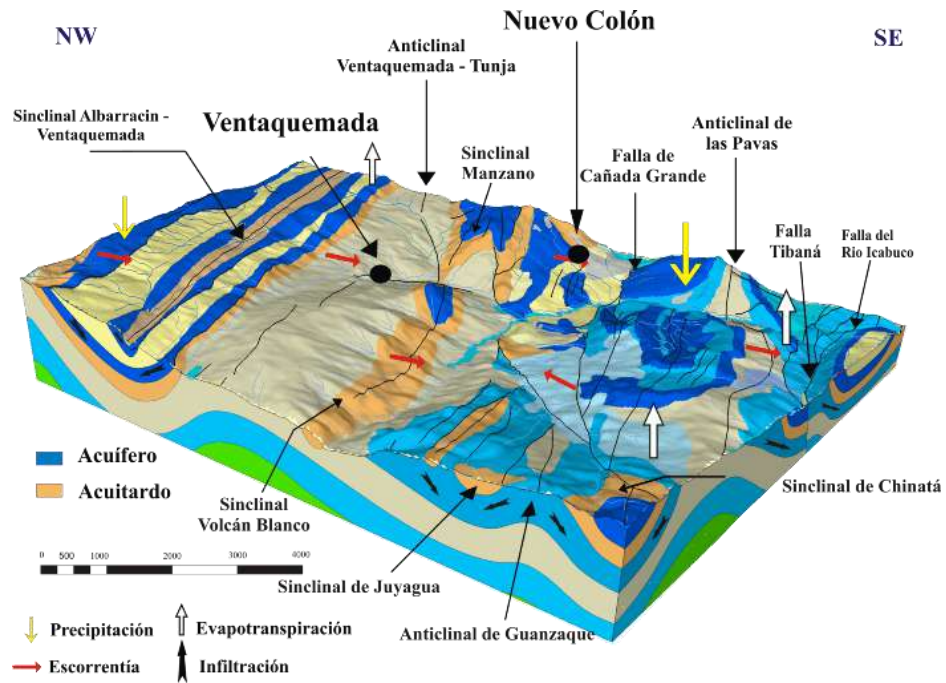


Fuente: Mendoza, 2015

Modelo Hidrogeológico

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones que ilustran las condiciones estáticas y dinámicas de los sistemas hidrogeológicos. Estas representaciones incluyen la geometría de los acuíferos, la delimitación de unidades hidrogeológicas según su capacidad para almacenar y transmitir agua, las características hidráulicas de los acuíferos, la ubicación de los niveles piezométricos, las condiciones del flujo de aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico, así como las características hidroquímicas e isotópicas. Además, se definen las zonas de recarga, tránsito y descarga. En términos generales, estos modelos sintetizan las condiciones fundamentales del estado y la dinámica de las aguas subterráneas en el subsuelo, y su relación con los cuerpos de agua superficial y las aportaciones atmosféricas. Se desarrollan a partir del análisis e interpretación de datos geológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidroquímicas e isotópicos, y proporcionan una visión clara del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos en un área específica, a la escala requerida.

Figura 1.15 Modelamiento hidrogeológico



Fuente: Rodríguez (2014)

CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

2.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio se encuentra al extremo del altiplano oriental, colindando con la cordillera oriental esta geomorfología esta caracterizado por presentar altitudes que varían entre 3500-4400 m.s.n.m. Asimismo, en Nuestra zona de estudio presenta algunas geoformas (Montañas que pueden llegar a altitudes de 4500m.s.n.m, cabe resaltar que estas unidades geomorfológicas están disectadas por innumerables drenajes lo cual están controlados por factores tectónicos y geológicos.

2.1.1 Bofedales (Bo)

Esta unidad geomorfológica regional se ubica al S-W (ver figura 2.2) del área de estudio que aflora en la parte más baja de las montañas, estos bofedales altoandinos se caracterizan por presentar un ambiente saturado donde las aguas subterráneas se encuentran contenidas dentro de los restos vegetales que conforman su turba, presentan una geoquímica sobre su tipo de vegetación (Cooper et al., 2010)

2.1.2 Cauce del río (Río)

Esta unidad geomorfológica se encuentra distribuida a nivel regional, localmente está disecando a nuestra zona de estudio con dirección NE-SW (Ver figura 2.2) afluyendo al río Torcoma y este a su vez afluye con una dirección NEE-SWW (Ver figura 2.2) al río Vilcanota. Arrastrando sedimentos clásticos de depósitos fluviales.

Figura 2.1 Cauce del río Vilcanota



Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Colina en roca intrusiva (RC-ri)

Esta geoforma se ubica al sur-este de nuestra zona de estudio como se observa en nuestro mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), está conformado por laderas muy meteorizadas y se encuentran disectadas por cárcavas que a su vez generan conos de detritos, cabe resaltar que presentan una topografía muy abrupta; litológicamente se encuentran compuestas por rocas intrusivas constituidas por granodioritas y granitos.

2.1.4 Colina en roca sedimentaria (RC-rs)

Esta geoforma se ubicada al SW-NE de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), en cuanto a su topografía se encuentran muy inclinadas. Esta geoforma comprende una altura máxima de 80m y se localiza aledaños a los abanicos fluvio-aluviales; litológicamente está constituido por lutitas, y limolitas grises predominantemente, areniscas.

2.1.5 Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Esta geoforma mayormente se ubicada al Norte de nuestra zona de estudio, según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), aunque también se encuentra en la parte NE-NW; en cuanto a su topografía presenta laderas muy abruptas; litológicamente están compuestas por Formaciones Huancané, Ausangate y la Formación Vilquechico en las cuales predominan las areniscas cuarzosas que se encuentran intercaladas por lutitas y lodolitas.

2.1.6 Montaña en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs)

Esta geoforma se ubica en la parte inferior de nuestra zona de estudio según al mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), que presenta una dirección NW-SE; con respecto a su topografía presenta laderas fuertemente inclinadas, la cual se encuentra muy intemperizadas y fracturadas; litológicamente esta geoforma abarca el Grupo Mitu la cual está constituida por material sedimentario (areniscas y conglomerado) y material volcánico (brechas, lavas y travertino).

2.1.7 Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-RS)

Esta unidad geomorfológica se encuentra la NE-SW de nuestra zona de estudio según nuestro mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), esta geoforma se caracteriza por la existencia de

rasgos estructurales de las fallas, alineamientos y pliegues. El área de trabajo regionalmente tiene el dominio del alineamiento de la falla andina de dirección NW-SE; litológicamente está constituida por la Formación Viluyo, Ausangate, Vilquechico las cuales predominan las areniscas cuarzosas y feldespáticas con intercalaciones de lutitas, limolitas y lodolitas.

2.1.8 Planicie de travertino (Pl-tr)

Esta geoforma topográficamente se caracteriza por presentar pendientes de baja inclinación, por ende, se puede identificar en zonas kársticas cerca de una fuente termal dando origen a la roca sedimentaria travertino. Esta unidad se ubica en la parte inferior de nuestra zona de estudio, según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2).

2.1.9 Terraza aluvial (T-al)

Esta geoforma se ubica en la parte superior e inferior de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), está constituido por pequeñas plataformas sedimentarios que se presentan en los bordes de los cauces de los ríos donde su pendiente es mínima y el relieve allanado.

2.1.10 Terraza indiferenciada (Ti)

Esta unidad geomorfológica se encuentra al noreste de la zona de estudio, según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2). Se distingue por contar con numerosas terrazas de diversas edades, aunque todas pertenecen al mismo ciclo erosivo. Su relieve es predominantemente plano, con una pendiente que varía de leve a ligeramente inclinada.

2.1.11 Valle glaciario (Vl-gl)

Esta unidad geomorfológica se encuentra localizada en pequeños sectores al NW de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), se caracteriza por presentar un perfil transversal en U por el transporte de un glaciar con pendiente ligeramente empinada a moderadamente inclinada.

2.1.12 Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Esta unidad geomorfológica se localiza al SE de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), se distingue por laderas que están expuestas a procesos de movimientos en masa debido al alta pendiente (moderadamente inclinada a fuertemente empinada).

2.1.13 Vertiente glacío-fluvial (V-gfl)

Esta unidad geomorfológica está distribuida en pequeños sectores hacia la norte y al NE de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), son quebradas de poca profundidad de fondo plano que han sufrido erosión fluvial y glaciación con pendiente moderadas a ligeramente inclinadas

2.1.14 Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Esta unidad geomorfológica está distribuida a lo largo del río Patahansa dentro de nuestra zona de estudio y a lo largo del río Torcoma con una dirección NW-SE, según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), se caracteriza por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de aguas, posicionadas al pie de las montañas con una ligera inclinación.

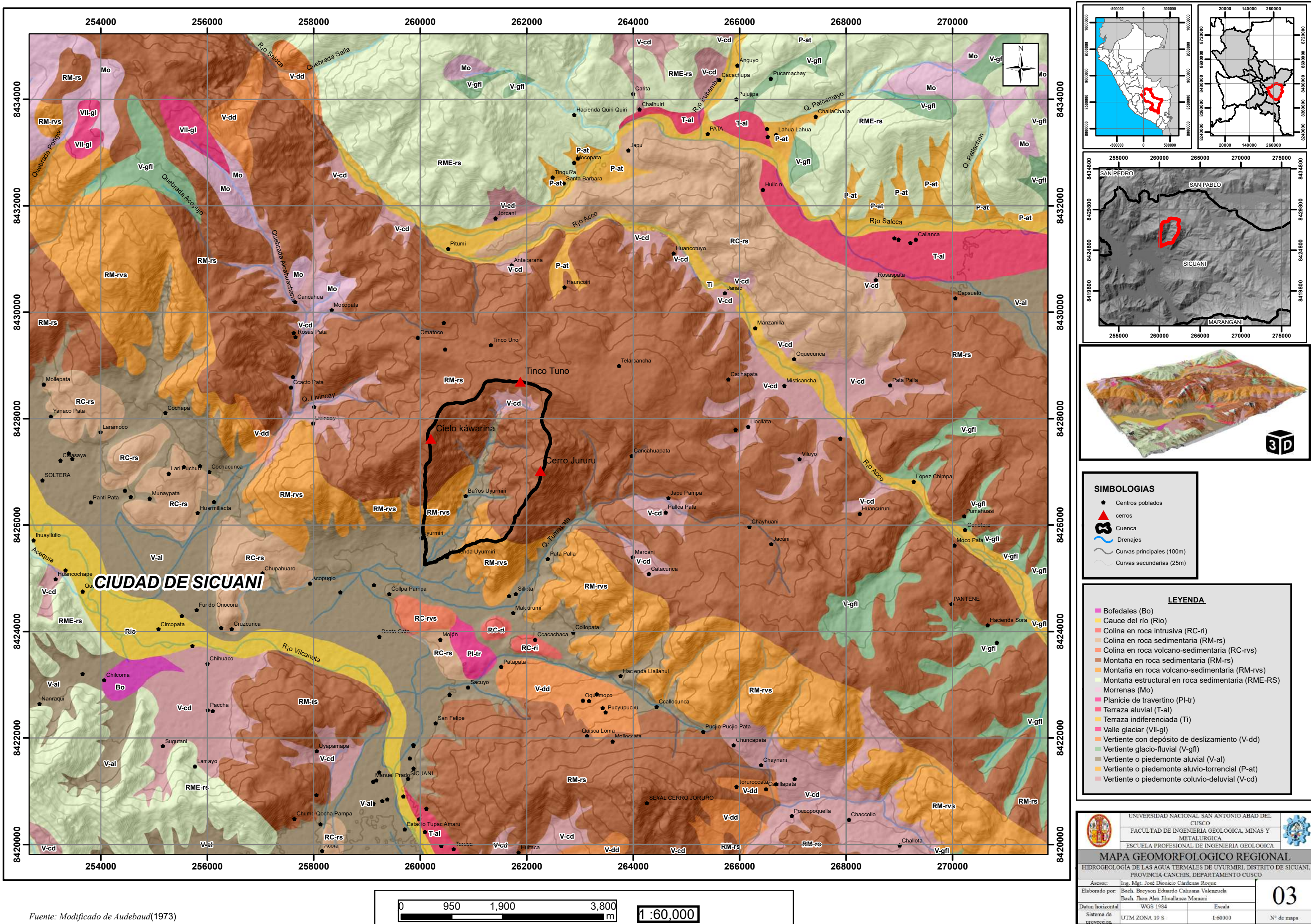
2.1.15 Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Esta unidad geomorfológica está distribuida en pequeños sectores al NE de nuestra zona de estudio según el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2), se identifica en la desembocadura de las quebradas hacia los ríos principales alterando la dirección del curso del río principal con pendientes ligeramente inclinadas.

2.1.16 Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Esta unidad geomorfológica se distribuye en pequeños sectores al noreste y sureste de la zona de estudio, de acuerdo con el mapa geomorfológico regional (ver figura 2.2). Su formación se debe a antiguos movimientos en masa, originados por pendientes de moderada a alta inclinación, que han dado lugar a la acumulación de material coluvio-deluvial al pie de las laderas montañosas.

Figura 2.2. Mapa geomorfológico regional



2.2 ANALISIS DE PENDIENTES

Para el análisis geomorfológico a nivel local, se elaboró un mapa de pendientes, utilizando los parámetros establecidos por la "Food and Agriculture Organization of the United States (FAO)". Para este estudio, se consideraron seis tipos de pendientes: Plana a ligeramente inclinada (0-5), Ligeramente inclinada (5-15), Moderadamente inclinada (15-25), Fuertemente inclinada (25-50), Moderadamente empinada (50-75) y Fuertemente empinada (>75), los cuales se detallan en el siguiente cuadro:

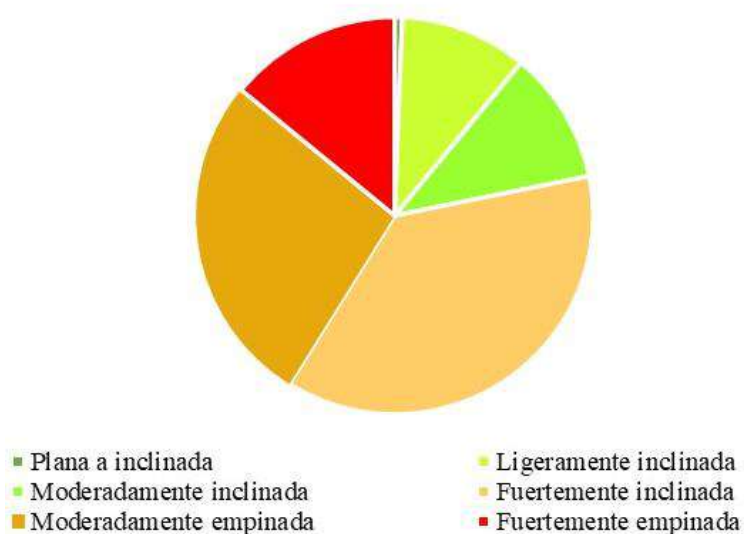
Tabla 2.1 Distribución de pendientes cuenca Patahansa

Termino descrito	Rango (%)	Área (km2)	Área (%)
Plana a inclinada	0-5	0.06	0.61%
Ligeramente inclinada	5-15	1.08	10.38%
Moderadamente inclinada	15-25	1.13	10.80%
Fuertemente inclinada	25-50	3.87	37.09%
Moderadamente empinada	50-75	2.82	27.04%
Fuertemente empinada	> 75	1.47	14.08%

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3 Gráfico de porcentaje de pendiente de la quebrada Uyurmiri

Grafico de porcentaje de pendientes



Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
	MAPA DE PENDIENTES			
HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUA TERMALES DE UYUMBLI, DISTRITO DE SICHUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO				
Aseor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Rojas			
Elaborado por:	Bach. Bryson Eduardo Calusana Velazuela Bach. Jhon Alex Jhuanllanca Mamani			
	WGS 1984		Escala	
Datos horizontal				
Sistema de proyección	UTM ZONA 19 S	1:15000		Nº de mapa

2.3 GEOMORFOLOGIA LOCAL

La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por una marcada variabilidad en el relieve y altas pendientes, las cuales han sido influenciadas por eventos tectónicos durante la formación de la cordillera de los Andes. En cuanto a las formaciones geológicas presentes, el comportamiento de cada unidad geológica frente a procesos exógenos (como la erosión, el intemperismo, etc.) varía según las propiedades de los materiales que componen cada unidad. Estos procesos también juegan un papel crucial en la transformación del relieve.

Localmente se ubica en el Comunidad Patahansa, Sector Uyurmiri se identificaron 4 unidades geomorfológicas que han sido descritas tomando en cuenta la ubicación, elevación, pendiente, litología y relieve dentro de las cuales tenemos.

Tabla 2.2 Distribución de unidades geomorfológicas

Morfo estructura	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorfológica	Código
Altoplanicie	Cárcavas	Cárcavas	Ca
		Conos aluviales	Cn-al
	Terrazas	Terrazas aluviales	T-al
		Colina Bajas	Co-ba
	Montaña	Cima de montaña	Mo-ci
		Vertiente de montaña de pendiente suave	Mo-ve-su
		Vertiente de montaña de pendiente empinada	Mo-ve-em

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Carcavas (Ca)

Esta subunidad geomorfológica se origina por la acción de la precipitación, provocando el arranque y transporte de partículas producidas por erosión fluvial. En nuestra zona de estudio se identificó una quebrada principal con dirección NE-SW con tendencia hacia N, y en ambos flancos de esta quebrada se identifica cárcavas paralelas de menor longitud que afluyen a la quebrada principal.

Figura 2.5 Carcavas en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Conos aluviales (Cn-al)

Esta subunidad geomorfológica se origina en la desembocadura de las quebradas, donde se interceptan las zonas de plana a inclinada 0-5% (ver figura 2.4) con las vertientes de montaña; en nuestra zona de estudio esta geoforma se caracteriza por la acumulación y el transporte de materiales del Grupo Mitu, Formación Muni y Formación Huancané como material cuaternario con clastos angulosos y subangulosos. Es así que se identificó el cono aluvial del río Oscuna (Ver figura 2.6) de la quebrada principal y conos aluviales de menor dimensión de ambos flancos.

Figura 2.6 Cono aluvial principal en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Terrazas aluviales (T-al)

Esta subunidad geomorfológica se forma a lo largo de las riveras del cauce del río en pequeñas plataformas sedimentarias, en el río Oscuna se localizaron varias terrazas aluviales en la parte central inferior pertenecientes a la zona de estudio con pendientes ligeramente inclinada a moderadamente inclinada 5-25% (ver figura 2.4), y estas a su vez están compuestas de depósitos aluviales y coluviales. Cabe resaltar que el agua termal aflora sobre esta geoforma.

Figura 2.7 Terrazas aluviales de la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Colinas bajas (Co-ba)

Esta subunidad geomorfológica se caracteriza por una apariencia ondulada y redondeada con pendientes que varían de ligeramente inclinada a fuertemente inclinada 5 -50% (ver figura 2.4). En nuestra zona de estudio se ubica distribuida al NE y al SE, afloran rocas sedimentarias de la formaciones Muni y Huancané.

Figura 2.8 Colinas Bajas en el cerro Jururu



Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Cima de montaña (Mo-ci)

Esta subunidad geomorfológica se ubica en las partes altas de las montañas, presentan una altitud de 4000 a 4400 m.s.n.m, estas están constituidas por las formaciones Huancané, Ayabacas, Vilquechico y se caracterizado por presentar relieves muy accidentados.

Figura 2.9 Cimas de Montaña (Mo-ci) del cerro Jururu

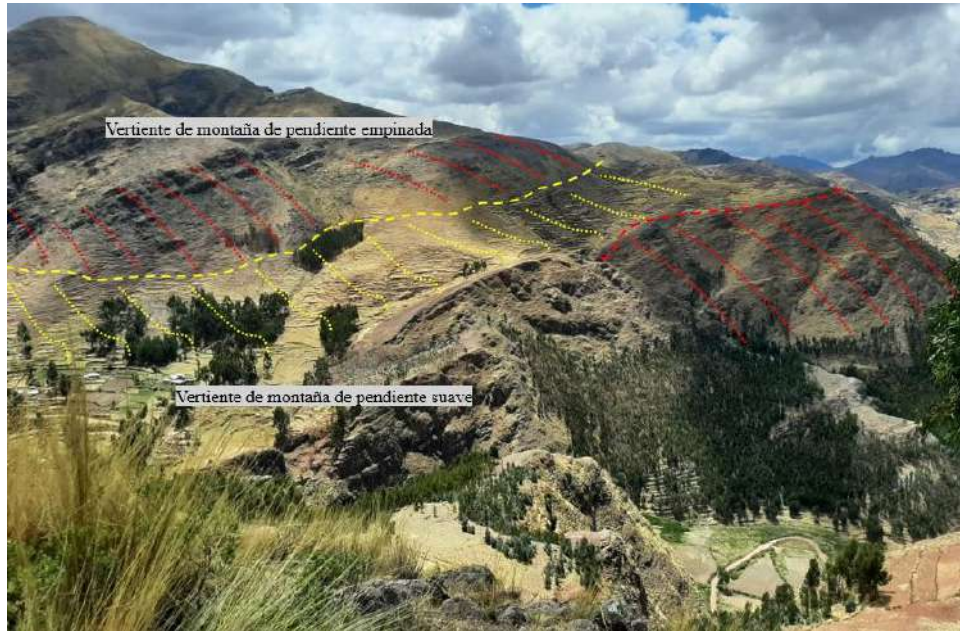


Fuente: Elaboración propia

2.3.6 Vertiente de montaña (Mo-ve)

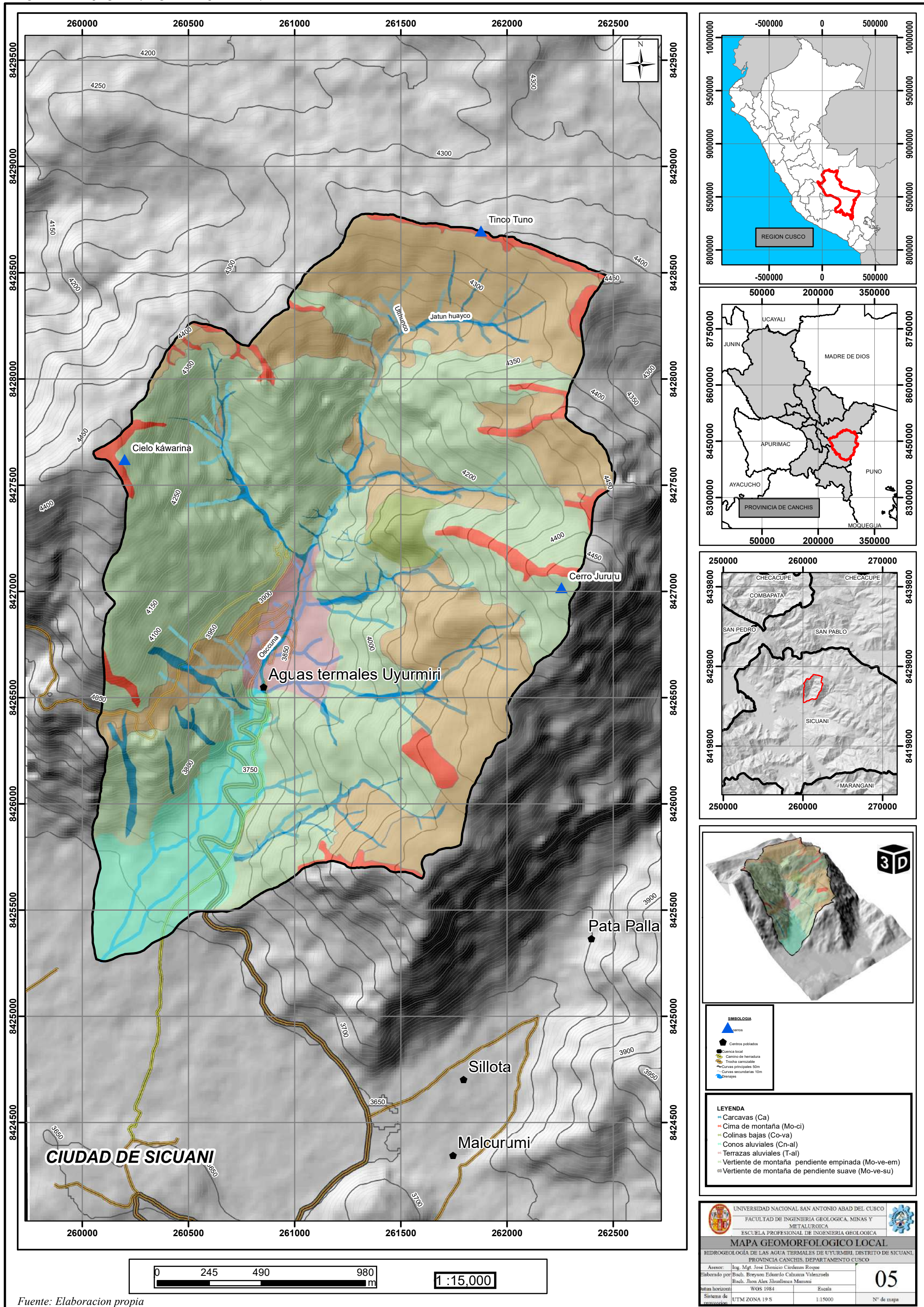
Esta subunidad geomorfológica se origina por el desgaste del material rocoso (acción de erosión), formando relieves muy accidentados con pendientes que varían de fuertemente inclinada a fuertemente empinada 25%-75% (ver figura 2.4), en nuestra zona de estudio se puede observar esta geoforma en ambos flancos de la quebrada del río Oscuna.

Figura 2.10 Vertiente de Montaña en las faldas del cerro Jururu



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.11. Mapa geomorfológico de la quebrada Uyurmiri



2.4 GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente el área de estudio está comprendida por eratemas geológicos, las cuales varían desde rocas del Paleozoico hasta el Cenozoico, para la descripción de las formaciones geológicas que constituyen dichos eratemas se tomó en consideración los trabajos realizados por Audebaud (1973).

2.4.1 PALEOZOICO

Las rocas del paleozoico afloran al SE de la zona de estudio siendo parte de la cordillera Oriental y la Altiplanicie geomorfológicamente, las cuales están conformadas por la Formación Ananea, Grupo Ambo, Tarma-Copacabana y Mitu.

Las rocas de la Formación Ananea (SD-a) pertenecen al sistema Silúrico inferior-Devónico superior (Audebaud, 1973), regionalmente en el área de trabajo (ver figura 2.12) aflora con una dirección NW-SE con espesor aproximado a 800m, está compuesta por lutitas pizarrosas, areniscas esquistosas, laminares y foliadas, con limolitas y areniscas cuarzosas de grano fino, esta unidad sobreyace concordando sobre los niveles de la Formación Sandia e infrayace al Grupo Tarma-Copacabana, pertenece al medio sedimentario de plataforma continental y un ambiente marino (Latorre, O. & Coba, L, 2016).

Al NW y SE del área de trabajo aflora el **Grupo Ambo** (Cm-a), siguiendo irregularmente al valle del Vilcanota (Audebaud, 1973) que pertenece al sistema Carbonífero Inferior, esta unidad se halla truncada por la tectónica y también por la erosión Pre-Permiana (Rodríguez, R., Cueva, E., Carlotto, V. & Baez, D. 2009), con un espesor de 400m-500m; está constituida por conglomerado con clasto de cuarcita, alternado con delgados niveles de arenisca gris sucia y limoarcillita gris oscura, pertenece al medio sedimentario abanicos aluviales, deltaicos, plataforma silicoclástica, infrayace concordando con el Grupo Tarma-Copacabana (Martínez, 2000).

Al NW y SE del área de trabajo podemos observar al **Grupo Tarma-Copacabana** (CpPEc-t,c), que pertenece al sistema Carbonífero Superior, se les agrupa a los 2 debido a la semejanza del miembro inferior del Grupo Copacabana con el Grupo Tarma, estas capas del miembro inferior son discordantes sobre el Paleozoico inferior, que pasan en contacto normal al Grupo Ambo en la base y al miembro superior del Grupo Copacabana en el techo (Audebaud, 1973); estos 2 grupos se caracteriza por presentar calizas micríticas intercaladas con calizas

bioclásticas frecuentemente silicificadas y dolomitizadas, también presenta calcarenitas de color gris amarillento y pertenecen al medio sedimentario Plataforma - Litoral – deltaico (Latorre, O. & Coba, L. 2016). Por otro lado, el miembro Copacabana inferior y el Grupo Tarma representa las primeras transgresiones marinas que dan lugar a sedimentos detríticos (Audebaud, 1973, p. 20). El miembro Copacabana Superior se caracteriza por escarpas calcáreas azuladas o rojizas que tienen una potencia de 250-300m en nuestra área de trabajo, también en este miembro se distingue la profunda erosión causando números fragmentos de calizas para los conglomerados basales del Grupo Mitu

2.4.2 MESOZOICO

Las rocas del Mesozoico afloran en una dirección NW-SE, según el mapa geológico regional (ver figura 2.12). Geomorfológicamente, estas forman parte de la cordillera oriental y la altiplanicie, y están representadas por el Grupo Mitu, la Formación Cay Cay, la Formación Muni, la Formación Huancané, el Grupo Moho y la Formación Vilquechico.

El Grupo Mitu (PET-m) pertenece al sistema Pérmico Superior-Triásico Inferior, regionalmente presenta una orientación NW-SE respecto a las aguas termales (ver figura 2.12); se puede dividir según su litología en 2 secuencias las cuales están definidas por la formación Pisac y Pachatusan. En tectónica, este grupo sirve no solamente como horizonte guía, gracias a sus grandes escarpas rojizas y masivas, sino que también define un horizonte resistente que condiciona y sirve de molde a todas las tectónicas de los niveles cretáceos (Audebaud, 1973, p. 23). La Formación Pisac (Miembro inferior) sobreyace en discordancia erosional al Grupo Copacabana como consecuencia de la tectónica tardiherciniana y está comprendido principalmente por material volcanosedimentario constituido por conglomerados con clastos de caliza, brechas intercaladas con areniscas y limolitas rojas (Carlotto Caillaux et al., 2011). La Formación Pachatusan (Miembro superior) infrayace en discordancia erosional a la Formación Huancané, en cuanto a su litología está constituido por brechas y conglomerados, andesitas, dacitas, riolitas y coladas volcánicas de basalto intercaladas con rocas sedimentarias y en campo se caracteriza por presentan un color rojo violáceo.

La Formación Cay Cay (Jms-cc) pertenece al sistema (Jurásico medio-superior) aflora al SE con respecto a la zona de estudio (ver figura 2.12), esta formación anteriormente ha sido cartografía

como Grupo Mitu o Formación Huancané; esta formación recubre en discordancia de erosión al Grupo Copacabana; litológicamente esta unidad está constituido por arenisca cuarzosa sucia, laminada roja, rosada y blanca en bancos gruesos, masiva y algunos niveles con estratificación cruzada de ambiente sedimentario Fluvial – eólico (Rodriguez, R., Cueva, E., Carlotto, V. & Baez, D. 2009).

La Formación Muni (JsKi-m) pertenece al sistema Jurásico Superior, presenta una dirección NW-SE según el mapa regional (ver figura 2.12), en cuanto a su tectónica cumple un rol muy importante ya que define el nivel de despegue de la Formación Huancané sobre el grupo Mitu(Audebaud, 1973), litológicamente está constituido por limoarcillitas marrón-rojizas y areniscas arcósicas de grano medio a fino, con laminación paralela, de color rojo brunáceo, con lentes y nódulos de yeso en algunos niveles de medio sedimentario fluvial - deltaico, llanura de inundación (Latorre, O. & Coba, L. 2016).

La Formación Huancané (Ki-hua) pertenece al sistema Cretácico Inferior, en nuestra zona de estudio se observa en bloques alargados con dirección NW-SE según el mapa geológico regional (ver figura 2.12), reposa en discordancia erosional sobre el Grupo Mitu; tectónicamente las estructuras se observan plegadas; pero, en general, el estilo es de fracturas simples y fallas inversas(Audebaud, 1973, p. 33), litológicamente están constituidos por Areniscas cuarzosas de color gris blanquecinas de grano fino a grueso con algunas intercalaciones de areniscas y limoarcillitas rojas de un medio sedimentario Fluvial – eólico (Latorre, O. & Coba, L. 2016).

El Grupo Moho pertenece al sistema del Cretácico Inferior-superior, en nuestra zona de estudio se encuentra distribuido en bloques discontinuos con dirección NW-SE (ver figura 2.12), en cuanto a su litología se logró definir en 2 unidades litoestratigráficas. La Formación Viluyo (Capas Rojas) formada por lutitas rojas, limolitas e intercaladas con arenisca arcósicas rojas oscuras, esta secuencia se caracteriza por presentar espesores pequeños(40-100m). La segunda secuencia (Calizas Ayabacas Kis-ayb) están compuestas de calizas azules a gris azulado con alteraciones amarillentas de medio sedimentario Marino (Audebaud, 1973), cabe resaltar que en todas las partes está representada por la secuencia de Ayabacas.

La Formación Vilquechico (Ks-vi) pertenece al sistema Cretácico Superior, está ubicada al Norte de la zona de estudio (ver figura 2.12), sobreyace concordantemente al Grupo Moho e infrayace a las lodolitas de la Formación Ausangate (Monge Miguel & Montoya Perez, 2003),

litológicamente este compuesto por Areniscas cuarzosas y arcosas gris blanquecinas intercaladas con limoarcillitas y calizas laminares, de color gris verdosas, amarillentas, violáceas y oscuras que pertenece al medio sedimentario Fluvial-Lacustre (Latorre, O. & Coba, L. 2016)

2.4.3 CENOZOICO

Las rocas del cenozoico afloran al NE según nuestro mapa geológico regional (ver figura 2.12), geomorfológicamente forma parte de la cordillera oriental y la altiplanicie, las cuales están representadas por la Formación Auzangate, Grupo Puno (Formación Muñani), y depósitos cuaternarios.

Al NW de la zona de estudio se ubica la Formación Auzangate (KsP-a) que pertenece al sistema Paleogeno-Paleoceno, que sobreyace concordantemente a la Formación Vilquechico (Monge Miguel & Montoya Perez, 2003, p. 18), litológicamente está compuesto por intercalaciones de limoarcillitas, limolitas laminares y areniscas arcosas en estratos tabulares de color rojo brunáceo de medio sedimentario Fluvial – aluvial (Latorre, O. & Coba, L. 2016), presenta una potencia aproximada de 800-1200m.

Al SW de nuestra zona de estudio aflora el Grupo Puno-Formación Muñani (P-m) que pertenece al sistema Paleogeno Eoceno, se caracteriza por presentar 3 secuencias litoestratigráficas:

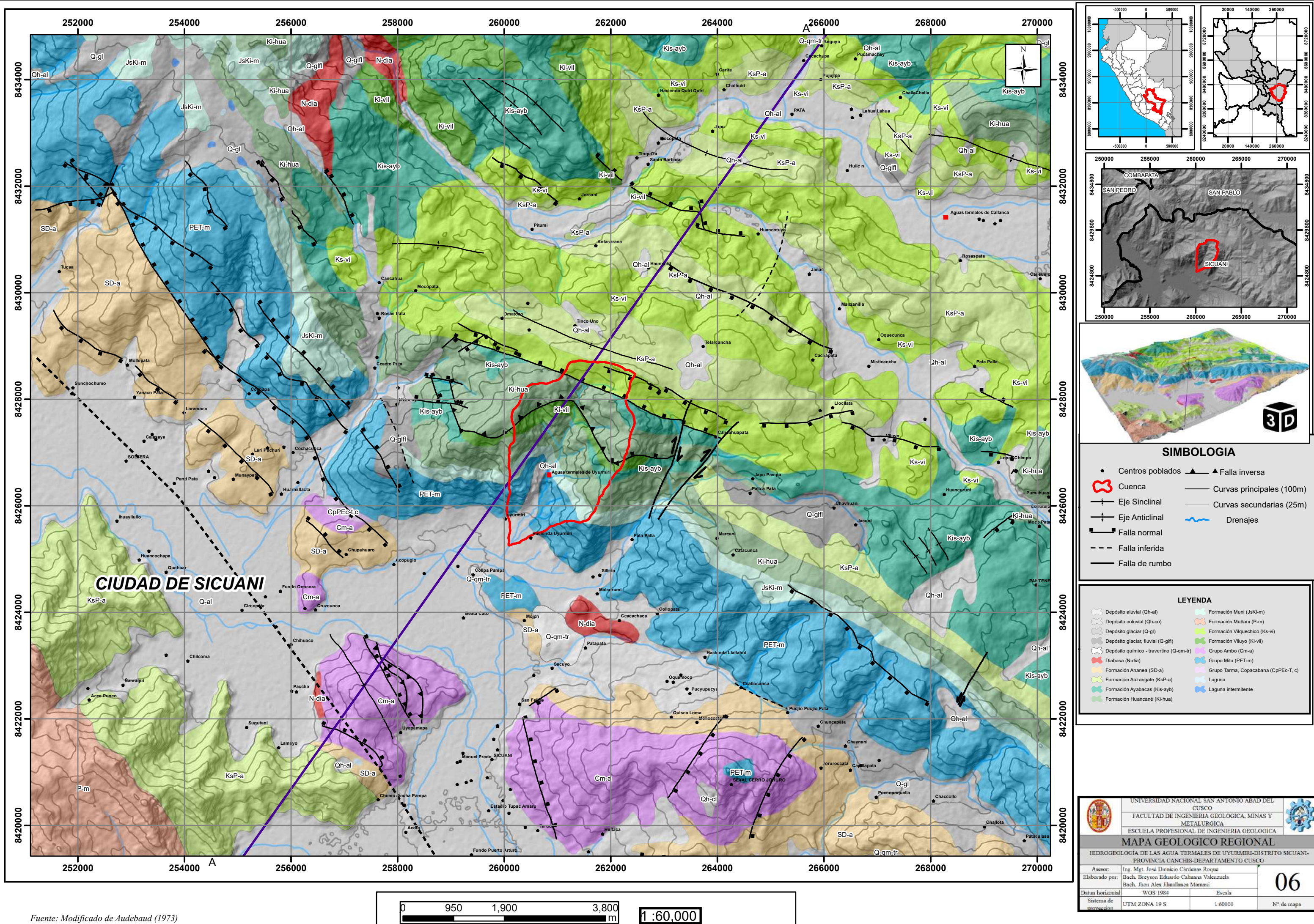
El miembro inferior que proviene de un medio sedimentario fluvio-lacustre está constituido por areniscas arcosas intercaladas por limoarcillitas pardas rojizas y niveles de conglomerados polimicticos con clastos redondeados a subredondeados de calizas, cuarcitas, areniscas rojas en una matriz arenosa, presenta una potencia aproximada de 1000m (Coba, L. & Jaimes, F. 2016). En cuanto al segunda secuencia litoestratigráficas (miembro medio) está constituido por limoarcillitas con niveles de areniscas arcosas de grano fino a medio, ambas de color pardo rojizo, con una potencia aproximada de 600m y por último el miembro superior, está constituido por areniscas feldespáticas de grano fino a medio con niveles de limoarcillitas pardo rojizas y conglomerados, con una potencia aproximada de 1000m.

Diabasa (N-dia) (Neógeno Mioceno). Constituido por el tipo de roca ígnea subvolcanica diabasa

En cuanto a los depósitos cuaternarios cubren superficialmente casi el 100% del área de trabajo, para el cartografiado regional se consideró depósito que tengan una potencia (mayores de 20m), por lo que en nuestra área de trabajo regional podemos destacar los siguientes depósitos cuaternarios:

- Depósito glacial. Bloques, cantos, grava y arenas polimicticos heterométricos angulosos a subredondeados en matriz arenolimososa. Conforman espesores de 5 a 100 m
- Depósito glacial, fluvial(Q-glfl). Grava con clastos polimicticos, heterométricos, redondeados a subredondeados transportados por la corriente de agua que erosionan depósitos glaciales de sistemas montañosos.
- Depósito químico-travertino(Q-qm-tr). Acumulaciones de travertinos asociados a fuentes hidrotermales y fallamiento.
- Depósito aluvial (Qh-al). Cantos, bloques, grava y arenas subredondeados polimicticos en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los ríos y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
- Depósitos coluviales (Qh-cl). Bloques, guijarros, grava y arenas heterogéneas subangulosos a subredondeados en matriz arenolimososa, formando laderas de cerros y valles, en algunos sectores incluye deslizamientos.

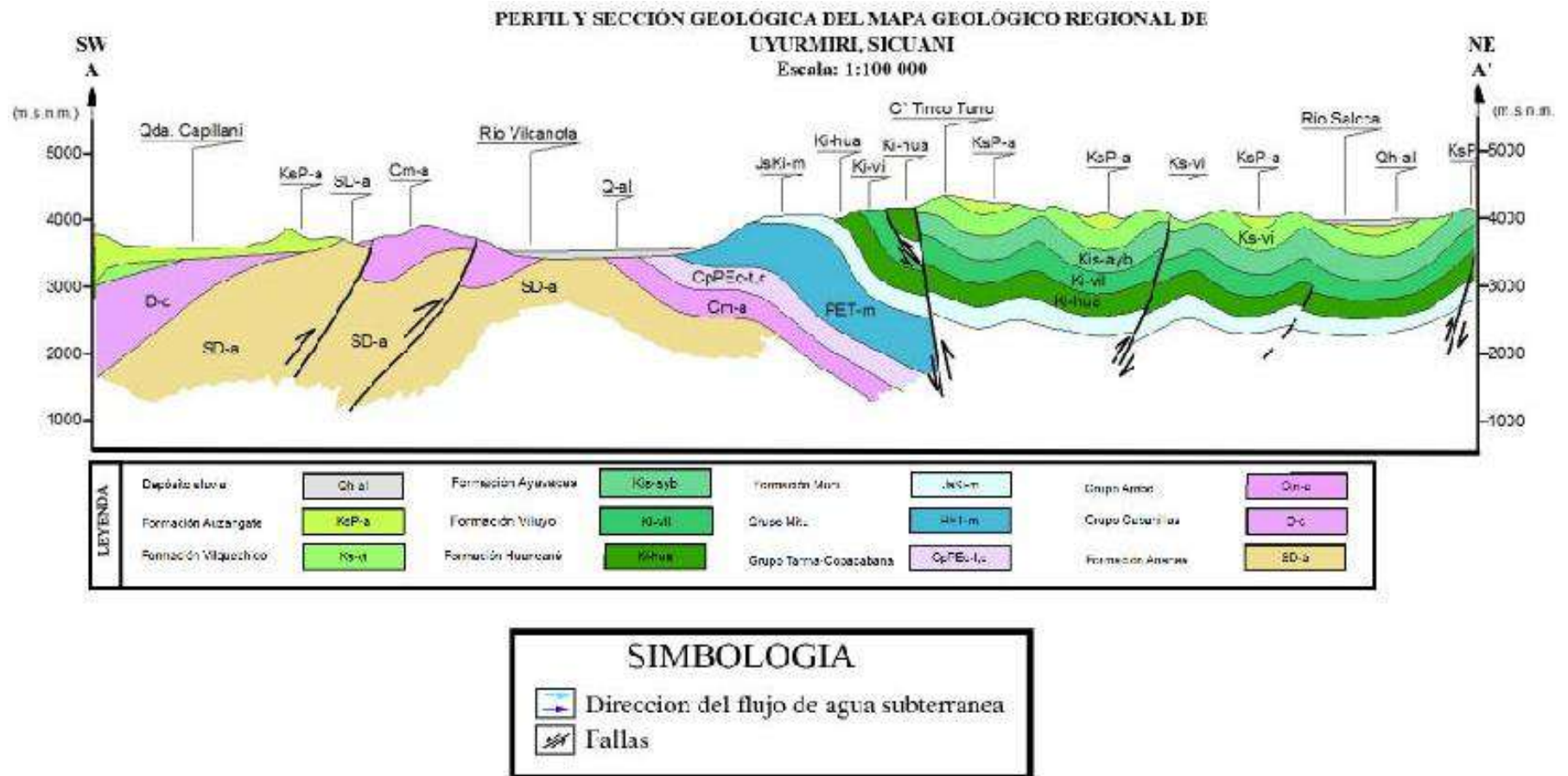
Figura 2.12. Mapa geológico regional



SECCION GEOLOGICA A-A'

Se observa una sección geológica regional que pasa por la zona de estudio.

Figura 2.13 Sección geológica regional A-A'



Fuente: Modificado de Audebaud (1973)

Figura 2.14 Columna estratigráfica regional

ERA/JENA	SISTEMA	SERIE/EPOCA	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	LITOLOGICA	DESCRIPCION LITOESTRATIGRAFICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPOSITO COLUVIAL		Bloques, guijarros, grava y arenas heterogéneas subangulosos a subredondeados en matriz arenolimsa, formando laderas de cerros y valles, en algunos sectores incluye deslizamientos.
			DEPOSITO ALUVIAL		Cantos, bloques, grava y arenas subredondeados polimicticos en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los rios y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales.
			DEPOSITO FLUVIAL		Bolos, gravas y arenas polimicticas redondeadas a subredondeadas en matriz arenolimsa formando el cauce actual de los rios.
			DEPOSITO QUIMICO-TRAVERTINO		Acumulaciones de travertinos asociados a fuentes hidrotermales y fallamiento.
	PLEISTOCENO		DEPOSITO GLACIAR FLUVIAL		Grava con clastos polimicticos, heterométricos, redondeados a subredondeados transportados por la corriente de agua que erosionan depósitos de glaciar de sistemas montañosos.
			DEPOSITO GLACIAR		Bloques, cantos, grava y arenas polimicticos heterométricos angulosos a subredondeados en matriz arenolimsa.
	NEOCENO	PLIOCENO	DIABASA		Roca Diabasa
		MIOCENO			
	PALEOCENO	OLIGOCENO	FORMACION MUÑANI		Constituido por areniscas arcóscas intercaladas por limoarcillitas pardas rojizas y niveles de conglomerados polimicticos con clastos redondeados a subredondeados de calizas, cuarcitas, areniscas rojas en una matriz arenosa.
		EOCENO			
		PALEOCENO	FORMACION AUZANGATE		Compuesto por intercalaciones de limoarcillitas, limolitas laminares y areniscas arcóscas en estratos tabulares de color rojo brunaceo.
MESOZOICA	CRETACIO	SUPERIOR	FORMACION VILQUECHICO		Compuesto por Areniscas cuarzosas y arcóscas gris blanquecinas intercaladas con limoarcillitas y calizas laminares, de color gris verdosas, amarillentas, violáceas y oscuras.
		INFERIOR	GRUPO MEDIO	FORMACION ATIBACAS	Compuestas de calizas azules a gris azulado con alteraciones amarillentas.
			FORMACION VILQUE		Formada por lutitas rojas, limolíticas e intercaladas con areniscas cuarcíticas finas rojas oscuras.
	JURASICO	SUPERIOR	FORMACION MUNI		Esta constituido por limoarcillitas marron-rojizas y areniscas arcóscas de grano medio a fino, con laminación paralela, de color rojo brunáceo, con lentes y nódulos de yeso en algunos niveles.
		MEDIO			
		INFERIOR			
	TRIASICO	SUPERIOR	GRUPO MITU		Esta comprendido principalmente por material volcanosedimentario constituido por conglomerados con clastos de caliza, brechas intercaladas con areniscas y limolitas rojas.
		MEDIO			
		INFERIOR			
	PERMIANO	SUPERIOR	GRUPO TARMA-COPACABANA		Presentar calizas micríticas intercaladas con calizas bioclásticas frecuentemente silicificadas y dolomitizadas, también presenta calcarenitas de color gris amarillento.
		INFERIOR			
PALEOZOICA	CARBONIFERO	SUPERIOR	GRUPO ANIBO		Constituida por conglomerado con clasto de cuarcita, con delgados niveles de arenisca gris sucia y limoarcillita gris oscura.
		INFERIOR			
	DEVONICO	SUPERIOR	FORMACION ANAÑEA		Compuesta por lutitas pizarrosas, areniscas esquistosas, laminares y foliadas, con limolitas y areniscas cuarzosas de grano fino.
		MEDIO			
		INFERIOR			
	SILURICO	SUPERIOR			
		INFERIOR			

Fuente: Modificado de Audebaud (1973)

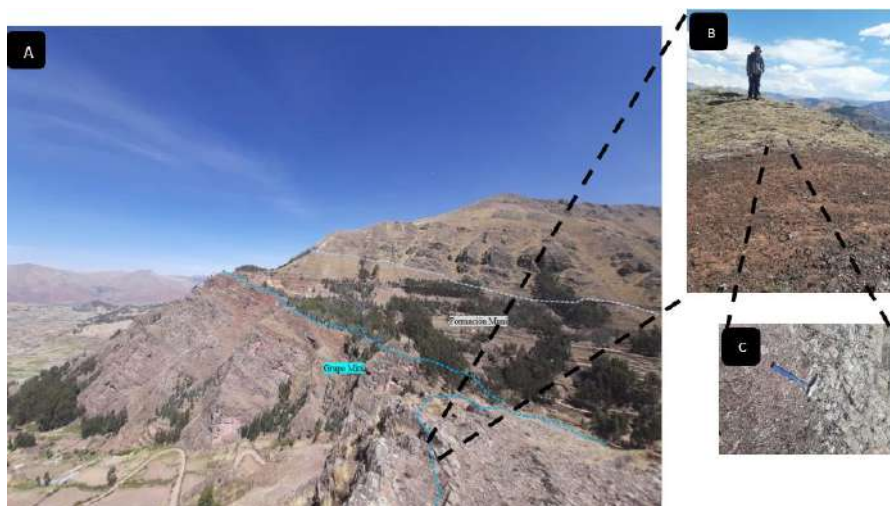
2.5 GEOLOGIA LOCAL

La geología local de las aguas termales de Uyurmiri se cartografió según la delimitación de la cuenca Uyurmiri, que comprende unidades Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas como son el Grupo Mitu, Formación Muni, Formación Huancané, Formación Viluyo, Formación Ayabacas, Formación Vilquechico y depósitos cuaternarios (ver figura 2.33); según información de Audebaud (1973) y posterior corroboración mediante un mapeo detallado in-situ que se describe a continuación.

2.5.1 Grupo Mitu (Triásico Inferior-Superior)

El Grupo Mitu se divide en 2 asociaciones litológicas principales: Terrígenas sedimentarias (Formación Pisac) y volcanoclasticas (Formación Pachatusan); en nuestra zona de estudio aflora la secuencia litológica superior que es de gran importancia para determinar la surgencia de aguas termales. Litológicamente el Grupo Mitu Superior (Formación Pachatusan) se caracteriza por 2 secuencias: La primera está constituida por litoarenita con alto porcentaje de fragmento de roca y un alto grado de fracturamiento del afloramiento, como también se pudo observar venillas de calcita. La segunda secuencia está conformada principalmente por brechas que se caracteriza por presentar clastos de epidota, laumontita en menor proporción, en ciertas zonas se logró observar calcitas en proceso de erosión y fragmento de rocas; en cuanto a su matriz tiene una composición variada, donde se logró distinguir minerales de cuarzo, calcita, clorita y epidota.

Figura 2.15 A) Afloramiento del Grupo Mitu Superior en contacto con la Formación Muni. B y C) Vista in-situ del contacto en discordancia erosional.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.16 Grupo Mitu Superior ubicado al SE de la surgencia del agua termal. A) Afloramiento de la arenisca perteneciente a la primera secuencia del Grupo Mitu superior. B) Muestra de mano donde podemos observar una litoarenita $Fr > Qz > Fd$



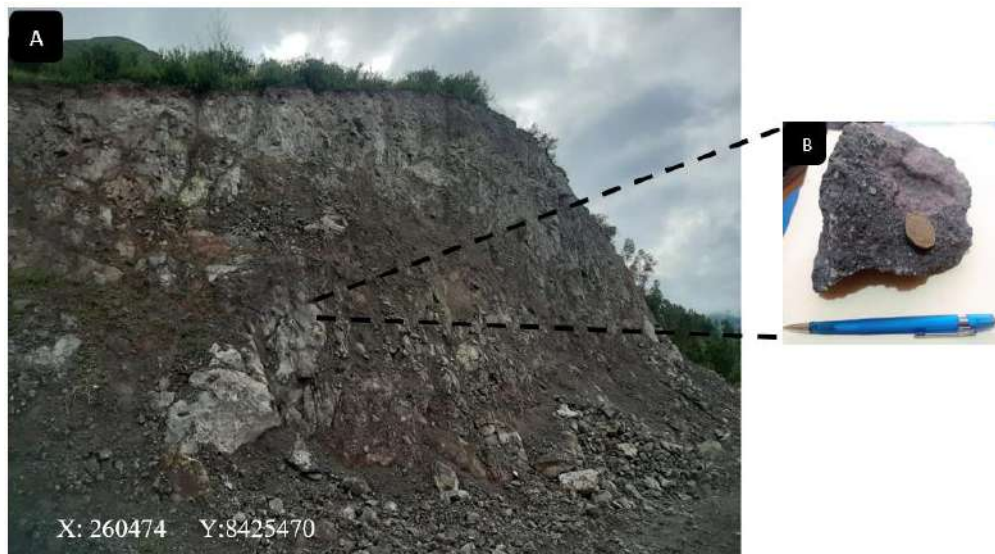
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3 Descripción macroscópica muestra M-01

Descripción macroscópica				
Muestra	M-01	Coordenadas	X	260717
Color	Gris verdoso blanquecino.	Zona	Y	8425779
Tipo	Sedimentario.	19 LWGS 84	Z	3677
Textura	Clástica.			
Ocurrencia	Sedimentación por erosión de la roca preexistente.			
	Fragmento de roca > 70%.			
Composición	Cuarzo > 15%.			
	Feldespato > 10%.			
Alteración	Baja (oxidación).			
Observaciones	Se puede observar una arenisca q tiene un tamaño de grano de fino a medio, y presenta minerales de Fe por lo que muestra presenta nódulos de oxidación.			
Nombre	Litoarenita			

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.17 A) Afloramiento de la brecha con clastos de epidota, laumontita. B) Muestra de mano con predominancia de los clastos de epidota y zonas de erosión de la calcita.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.4 Descripción macroscópica muestra M-02

Descripción macroscópica					
Muestra	M-02	Coordenadas	X	260474	
Color	Gris oscuro verdoso	Zona	Y	8425470	
Tipo	Volcánico	19 LWGS 84	Z	3621	
Textura	Porfiritica				
Ocurrencia	Enfriamiento de flujos lávicos con clastos depositados.				
Composición	Epidota.				Fragmento
	de				roca.
	Cuarzo.				Calcita.
	Vidrio volcánico.				
Alteración	Erosión baja.				
Observaciones	Se puede observar una brecha con clastos de epidota, laumontita (menor proporción), calcita en proceso de erosión dejando cavidades, en una matriz vítrea y en algunos casos se puede observar cuarzo como clastos.				
Nombre	Brecha volcánica				

Fuente: Elaboración propia

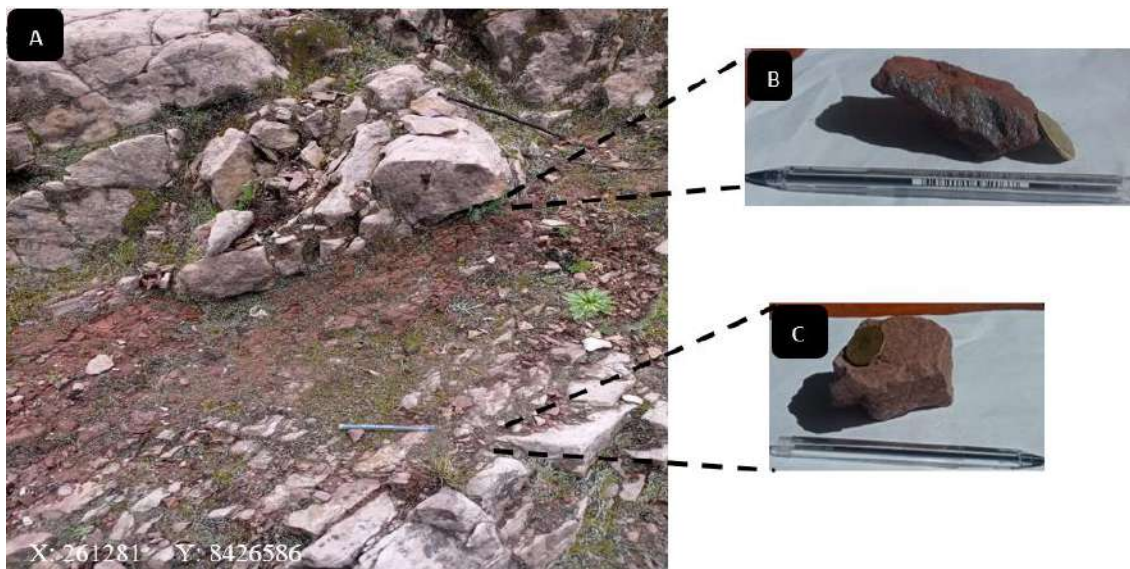
2.5.2 Formación Muni (Jurásico Inferior-Superior)

La Formación Muni presenta 2 secuencias litoestratigráficas caracterizadas: La primera está conformada por areniscas(subarcosa) con un espesor aproximado de 45-50m y la segunda secuencia está confirmada por intercalaciones de lutitas, lodolitas con lentes de yeso.

Litológicamente la secuencia inferior de la Formación Muni está conformada por areniscas de tipo subarcosa que está compuesta principalmente por feldespato > fragmento de roca > cuarzo y algunos minerales accesorios, como arcillas, óxidos de hierro (hematita), etc.

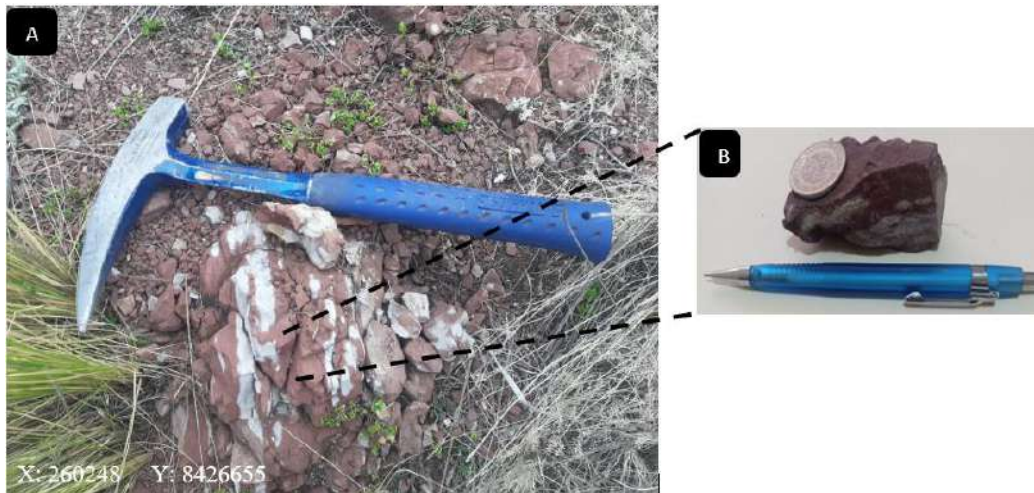
La secuencia superior está constituida por intercalaciones de lutitas, lodolitas y en nuestra zona de estudio se caracteriza por presentar lentes de yeso en porciones escasas.

Figura 2.18 Afloramiento de la formación Muni ubicado al NE de la surgencia del agua termal. A) Podemos observar intercalaciones de arcosas y lutitas. B) Muestra de mano donde predomina el $Fd > Fr > Qz$ (subarcosa). C) Presencia de óxidos de hierro(hematita)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2.19 A) Intercalaciones de limoarcillitas y lutitas con lentes de yeso de la Formación Muni. B) Muestra de mano donde se observa lentes de yeso con limoarcillita.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.5 Descripción macroscópica muestra M-03

Descripción macroscópica				
Muestra	M-03	Coordenadas	X	261281
Color	Marrón rojizo.	Zona	Y	8426586
Tipo	Sedimentario.	19 LWGS 84	Z	4120
Textura	Clástica.			
Ocurrencia	Acumulación de sedimentos fluviales, deltaicos y llanura de inundación.			
	Feldespato.			
Composición	Fragmento de roca. cuarzo. Lentes de yeso.			
Alteración	Precipitación de aguas altamente salinas.			
Observaciones	Se puede observar arenisca con alto contenido de feldespato, lentes de yeso dentro de la arenisca, e intercalas con lutitas y lodolitas.			
Nombre	Sub arcosa			

Fuente: Elaboración Propia

2.5.3 Formación Huancané (Cretácico inferior)

La Formación Huancané en general presenta una secuencia estratigráfica de areniscas cuarzosas blanquecinas con laminación paralela y sesgada con un espesor de 300-400m y está ubicado al norte de la surgencia de agua termal.

Litológicamente estas areniscas cuarzosas en cuanto a su composición predomina el cuarzo > fragmento de roca > feldespatos.

Figura 2.20 Contacto de las formaciones Muni, Huancané y Viluyo



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.21 Areniscas cuarzosas de la Formación Huancané en la cuenca Uyurmiri. A y B) Afloramiento de areniscas cuarzosas con alto grado de fracturamiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6 Descripción macroscópica muestra M-04

Descripción macroscópica				
Muestra	M-04	Coordenadas	X	261381
Color	Gris blanquecino.	Zona	Y	8427108
Tipo	Sedimentario.	19 LWGS 84	Z	4014
Textura	Clástica.			
Ocurrencia	Acumulación de sedimentos fluviales, eólicos.			
Composición	Cuarzo. Feldespato. Fragmento de roca.			
Alteración	Micro óxidos (Hematita).			
Observaciones	Micro oxidación. (Hematita). Se puede observar areniscas ricas en cuarzo con puntos muy pequeños de óxidos (hematita), que le dan el color gris blanquecino.			
Nombre	Areniscas cuarzosas			



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.22 A) Afloramiento de areniscas cuarzosas con laminación paralela de la Formación Huancané B) Muestra de areniscas cuarzosas con laminación paralela



Fuente: Elaboración propia

2.5.4 Formación Viluyo (Cretácico inferior)

En la Formación Viluyo predominan areniscas arcósicas con un espesor de 200-250m y se encuentra ubicado al NW de la surgencia del agua termal.

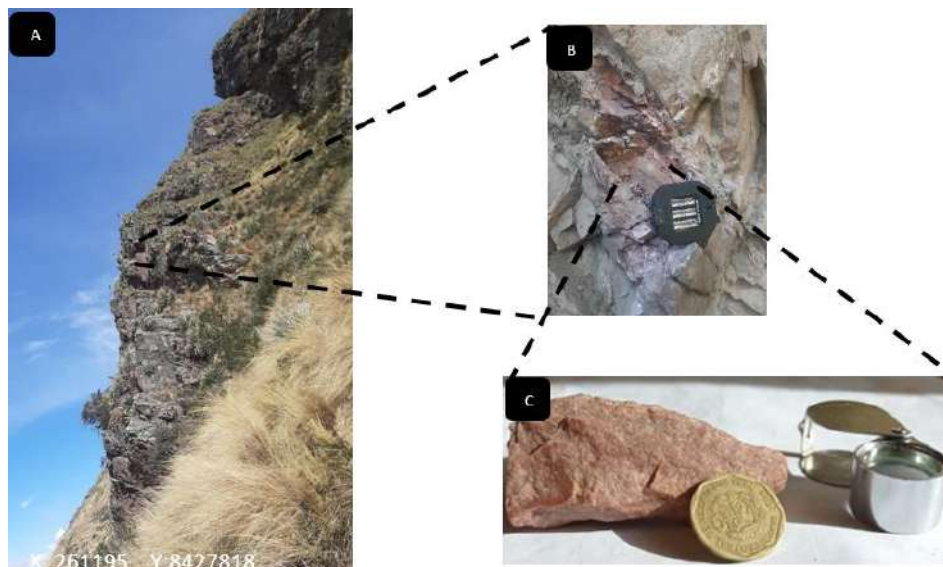
Litológicamente estas areniscas arcósicas está compuesto por Feldespatos > cuarzo > fragmento de roca y son de grano medio a fino.

Figura 2.23 Contacto de las formaciones Huancané, Viluyo, Ayabacas



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.24 A) Afloramiento de la Formación Viluyo. B y C) Muestra de mano de la Formación Viluyo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.7 Descripción macroscópica muestra M-05

Descripción macroscópica				
Muestra	M-05	Coordenadas	X	261195
Color	Marrón rojizo blanquecino.	Zona	Y	8427818
Tipo	sedimentario	19 LWGS 84	Z	4078
Textura	Clástica.			
Ocurrencia	Acumulación de sedimentos fluviales, deltaicos, y llanuras de inundación.			
	Feldespato.			
Composición	Cuarzo. fragmento de roca.			
Alteración	Erosión alta.			
Observaciones	Se puede observar areniscas ricas de feldespato, escaso cuarzo y fragmento de roca, en campo podemos observar que estas rocas sufrieron una alta erosión.			
Nombre	Arcosa			



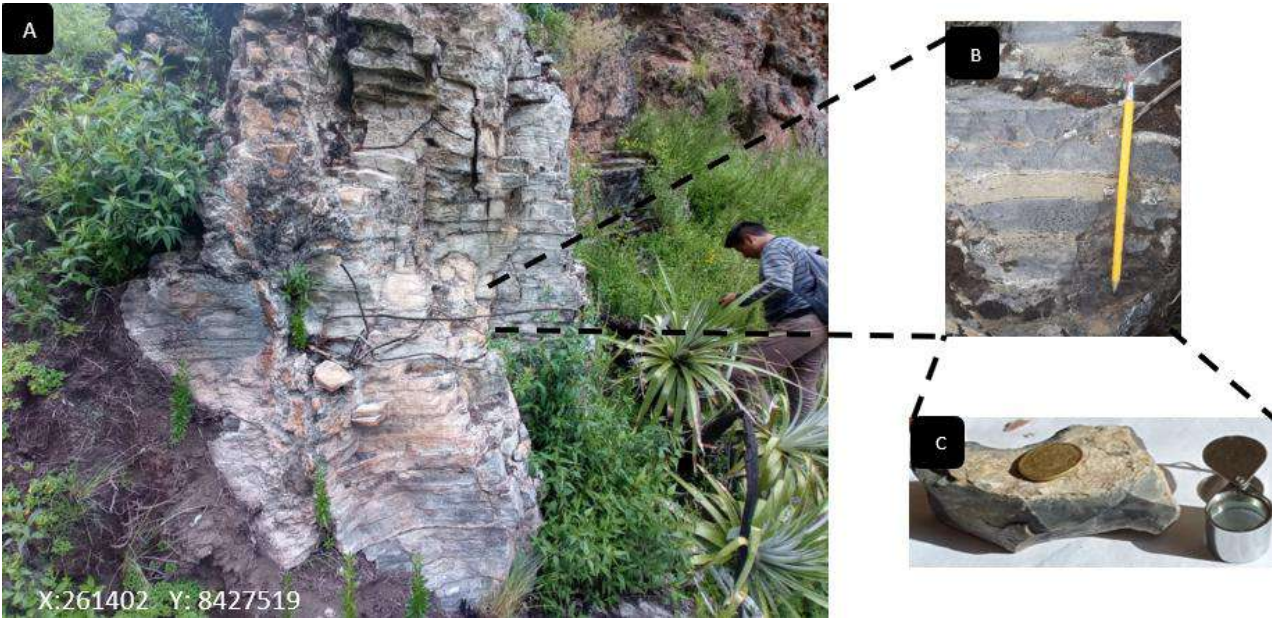
Fuente: Elaboración propia

2.5.5 Formación Ayabacas (Cretácico inferior)

En la Formación Ayabacas predominan las calizas grises micríticas de grano fino con bandeamiento de color gris amarillento con un espesor aproximadamente de 200-230m y se encuentra ubicado al NE de la surgencia del agua termal. Se encuentra distribuida como grandes bloques alargados y es muy caótica.

La Formación Ayabacas aflora en 2 sectores, en el sector superior aflora infrayaciendo al terciario debido a la interacción de la falla normal San Felipe con la falla inversa Sicuani, mientras que en el sector inferior sigue su secuencia con el Grupo Moho suprayaciendo a la Formación Viluyo, este se puede observar en el mapa geológico local (ver figura 2.31).

Figura 2.25 A) Afloramiento de la Formación Ayabacas B) Muestra In-situ C) Muestra de mano de las calizas micríticas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.8 Descripción macroscópica muestra M-06

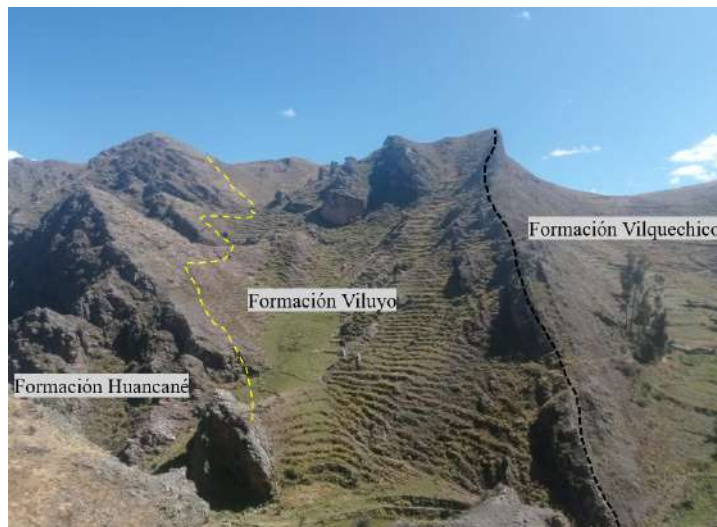
Descripción macroscópica				
Muestra	M-06	Coordenadas	X	261402
Color	Gris oscuro.	Zona	Y	8427519
Tipo	Sedimentario.	19 LWGS 84	Z	4020
Textura	Micrítica			
Ocurrencia	Ambiente marino			
Composición	Extremadamente. pequeños			
Alteración	Erosión baja			
Observaciones	Se pudo observar bandeamiento de color gris oscuro y un color pardo claro, en diferentes puntos la erosión es muy fuerte.			
Nombre	Caliza			

Fuente: Elaboración propia

2.5.6 Formación Vilquechico (Cretácico superior)

La Formación Vilquechico se encuentra ubicada al Norte de la surgencia del agua termal donde predominan las areniscas blanquecinas de grano fino a medio con intercalaciones de lutita de color marrón rojizo a verde oscuro un espesor aproximadamente de 400-500m. Esta formación se caracteriza por el alto buzamiento 75°NE debido a la falla San Felipe que emplaza al sinclinorio Cretácico, es muy importante ya que por esta falla regional circula el agua termal e infiltra el agua fluvial.

Figura 2.26 Contacto de las formaciones Vilquechico, Viluyo y Huancané en el cerro cielo K'awarina



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.27 Identificación de lutitas de color marrón rojizo y verde oscuro



Fuente: Elaboración propia

2.5.7 Deposito Aluvio-fluvial (Q-al-fl)

Este depósito cuaternario se encuentra ubicado al Sur de la surgencia del agua termal en la llanura de la cuenca local, fueron sedimentados a lo largo del río Oscuna, donde se observa espesores de 20 a 40 m estos sedimentos están compuestos por grava, arena, limo, arcilla donde los pobladores de la zona lo usan para su agricultura.

Figura 2.28 Deposito aluvio-fluvial en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

2.5.8 Deposito Coluvio-aluvial (Q-co-al)

Este depósito cuaternario se encuentra alrededor de la surgencia del agua termal, se identificó por la acumulación de sedimentos, producto de procesos erosivos a la cual estuvo expuesto la roca en zonas donde la pendiente es de moderadamente inclinada a alta, estos sedimentos presentan sedimentos clastos angulosos y en ciertos puntos se observa clastos de diámetros mayores de 30cm.

Figura 2.29 Deposito coluvio-aluvial en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

2.5.9 Depósito deluvial (Q-de)

Este depósito cuaternario se ubica al norte de la surgencia del agua termal alrededores de la cuenca local, son acumulaciones de sedimentos a causa de la erosión de la roca que se ubican en pendientes bajas. En la zona de estudio se logró identificar dentro de la formación Huancané y Vilquechico alcanzando espesores 1 a 3m aproximadamente.

Figura 2.30 Depósito deluvial en la ladera cerro Tinco tuno



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.9 Distribución de las unidades geológicas de la cuenca Uyurmiri

Formación geológica	Área (km²)	Porcentaje (%)
Grupo Mitu-Miembro superior (PET-m/s)	0.666	11%
Formación Muni (JsKi-mu)	0.520	9%
Formación Huancané (Ki-hua)	2.069	35%
Formación Viluyo (Kis-vil)	0.563	10%
Formación Ayabacas (Ks-vi)	0.612	10%
Formación Vilquechico (Ks-vi)	0.568	10%
Deposito Aluvio-Fluvial (Q-al-fl)	0.505	9%
Deposito Coluvio-Aluvial (Q-co-al)	0.220	4%
Deposito Deluvial (Q-de)	0.158	3%
	5.88	100%

Fuente: Elaboración propia

Para un mejor entendimiento de la geología local en la zona de estudio, se realizó 2 columnas estratigráficas pertenecientes a las líneas de sección A-A' y B-B' (ver figura 2.32 y 2.33). La sección A-A' se levantó en el flanco derecho de la cuenca local atravesando las fallas regionales San Felipe y Sicuani donde la Formación Ayabacas aflora infrayaciendo a la Formación Viluyo mediante la falla Inversa Sicuani. La sección B-B' se realizó en el flanco izquierdo de la cuenca local, en este sector se aprecia que la Formación Ayabacas no aflora siguiendo la secuencia debido a que fue controlado por las fallas San Felipe y Sicuani.

Tabla 2.10 Cuadro de las líneas de sección de columnas estratigráficas

Ubicación de las columnas estratigráficas		
Sección A-A'	E	N
Inicio	260579	8425500
Final	262272	8428568
Sección B-B'	E	N
Inicio	260095	8425724
Final	261331	8428711
Longitud A-A'	3506.39 m	
Longitud B-B'	3227.21 m	

Fuente: Elaboración propia

En estas columnas estratigráficas (figura 2.31 y 3.232) se observa las litologías que se identificó; como también fracturas y que estas cortan perpendicular a los planos de estratificación; de igual manera también hay datos de permeabilidad y porosidad de cada formación geológica.

Figura 3.27. Mapa geológico local de la quebrada Uyurmiri

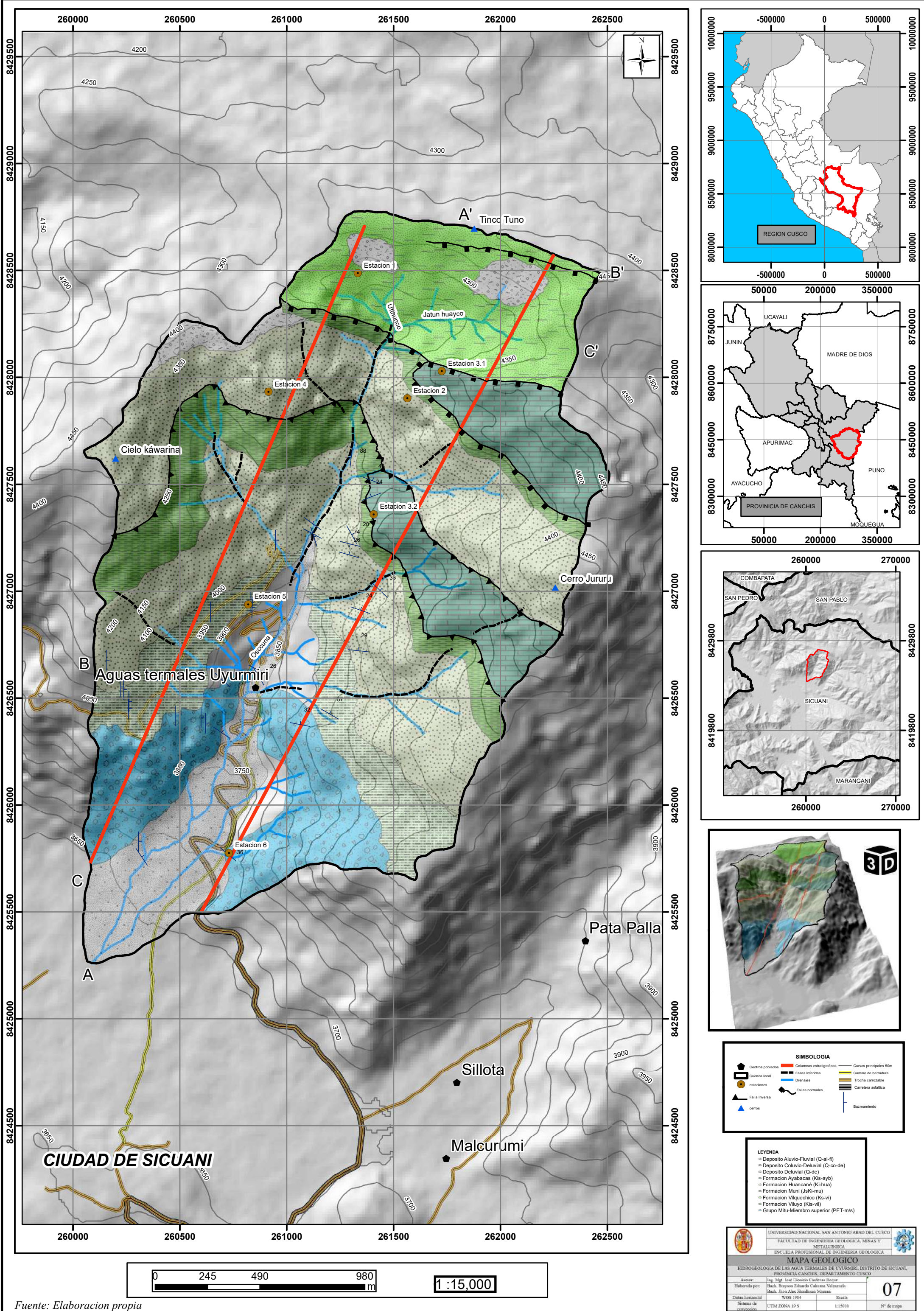
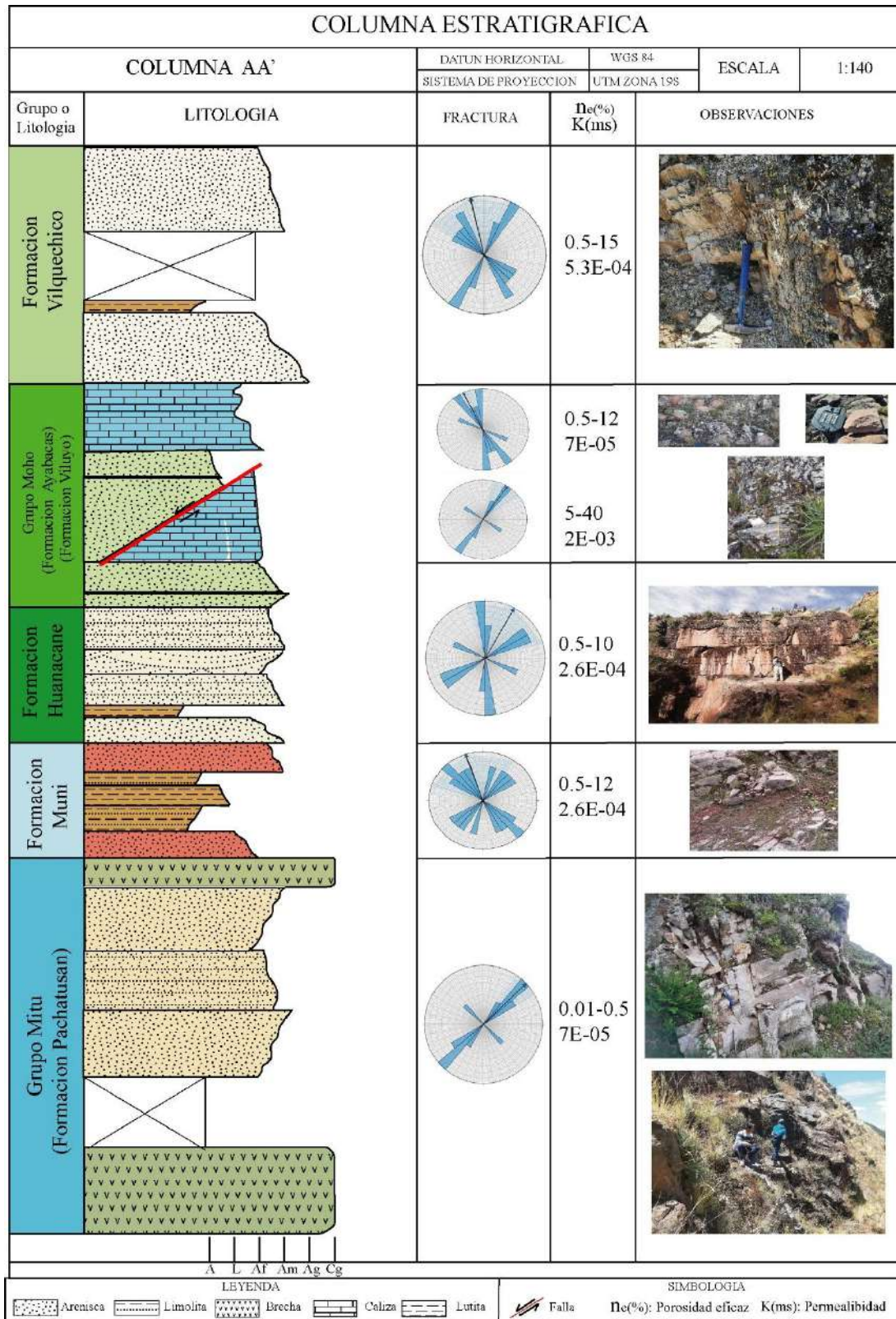
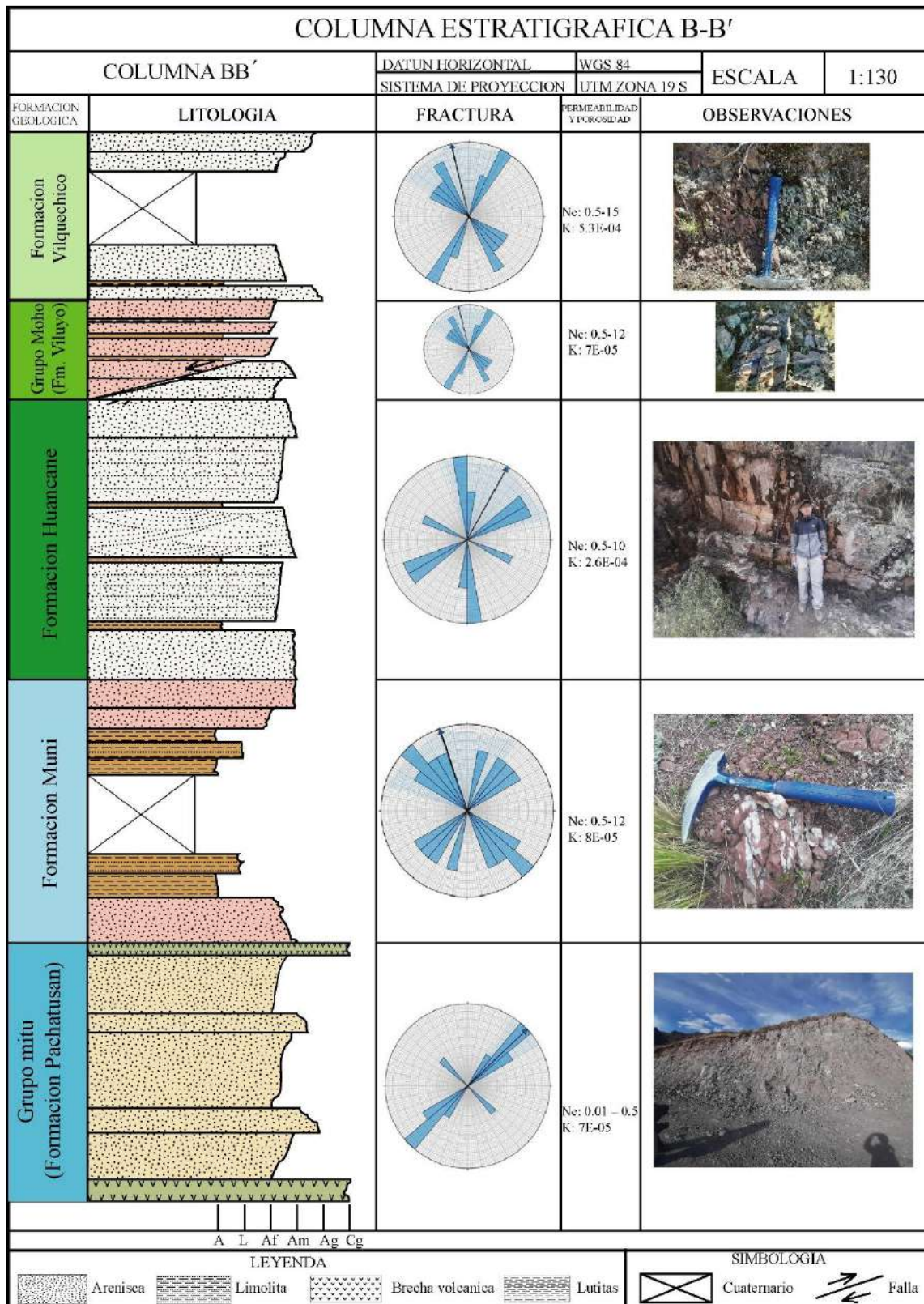


Figura 2.32 Columna estratigráfica de la sección A-A'



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.33 Columna estratigráfica de la sección B-B'



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: GEOLOGIA ESTRUCTURAL

3.1 TECTONICA REGIONAL

En el distrito de Sicuani se pueden distinguir 3 estilos tectónicos diferentes; los cuales están controladas por la interacción del tiempo (periodos de tiempo durante los cuales ocurriendo ciertos movimientos tectónicos significativos) y el espacio(diferencia de profundidad), los cuales son denominados: Tectónica de zócalo o de profundidad (Paleozoico inferior) afectando en el eje de la cordillera oriental , Tectónica de cobertura o intermedia (Cretácico) afectando al sinclinorio al NE del Vilcanota y tectónica de grandes conjuntos litológicos(Terciario) afectando al SW de Sicuani (Audebaud, 1973).

Estas zonas corresponden a niveles tectónicos diferentes las cuales han sido denominadas fases del Paleozoico inferior; la cual comprende la fase principal herciniana del pérmico superior y la fase post-pérmica y la fase principal en el Cretácico superior a Terciario inferior.

Estas fases no tienen la misma intensidad en todas zonas del área de trabajo; por lo que se diferencia 3 zonas muy importantes, cabe resaltar que la fase herciniana tuvo mayor impacto al este de Sicuani.

3.1.1 ZONA SUROESTE

Esta zona está ubicada al Oeste de nuestra zona de estudio y se caracteriza por el sinclinal de Puno en concordante con las capas rojas del Cretácico superior y está sometida a esfuerzos de compresión por lo que se evidencia abundantes fallas inversas.

En cuanto al esfuerzo de compresión se puede destacar 3 fases: La primera fase de compresión que es post-Cretácico superior, donde tiene mayor intensidad al Oeste con respecto al Este, cabe destacar que en este periodo se depositó las capas rojas (Formación Auzangate). La segunda fase de compresión se dio en el Terciario paleoceno a consecuencia de ello se originó fallas inversas. Debido a estos esfuerzos de compresión, la tercera fase se caracteriza por el plegamiento que sufre el Grupo Puno Inferior y el Conglomerado Paruro.

El conglomerado Paruro (corresponde al borde oriental de la Cordillera Occidental), debido a que las capas rojas (Formación Auzangate) no pudieron ser depositados a consecuencia de la alta erosión e intemperismo, por lo que solamente se emplazó el conglomerado Terciario debido a que es un material más consistente; en el centro del sinclinal, las capas rojas del Cretácico si se logró

depositar con una discordancia casi uniforme y estas están recubiertas por el conglomerado terciario, a consecuencia de la erosión de la Cordillera Oriental. Una característica muy importante es la falla subsidencia y transcurrente que se ubica al sur del sinclinal que emplaza al conglomerado terciario sobre el paleozoico.(Audebaud, 1973)

3.1.2 ZONA ANTICLINAL DEL VILCANOTA

El anticlinal del Vilcanota se ubica al Oeste de nuestra zona de estudio, con límites al Este con las facies cretácicas y al Oeste con las facies terciarias, con una dirección NW-SE. Dentro de este anticlinal podemos distinguir 2 subzonas: Al SE se observa la zona más ancha del anticlinal y al NW la zona más estrecha.

Cabe resaltar que a lo largo del anticlinal presentan fallas reactivas (fallas Normales o Transcurrentes) y son visibles en diferentes sectores (Cerro San Cristóbal), también se aprecia fallas inversas con cabalgamientos importantes de las cuales podemos destacar, al Este de Combapata podemos observar un cabalgamiento del Grupo Copacabana sobre el Grupo Mitu con dirección hacia el Oeste y esta ha sido controlada por una falla vertical de orientación N-S. A la altura de nuestra zona de estudio se presenta el 2do cabalgamiento del Grupo Mitu hacia las capas del Cretácico con dirección hacia al Este contra la falla San Felipe; esta falla tiene una dirección NW-SE, controla que el Grupo Mitu este en contacto con el Paleozoico inferior.

Otro sector muy importante son las escamas al Este de Marangani las cuales han sido controladas por fallas antiguas de subsidencia al NE de nuestra zona de estudio que han sido reactivadas durante la Fase Peruana (Cretácico Superior). En este sector también se produce una inversión de subsidencia a causa de la sedimentación del cretácico por lo que así mismo se produce un cabalgamiento y alto fracturamiento laminar (escamación), según los segmentos de debilidad del cordillera oriental y occidental, en esta zona de sedimentan gran cantidad de sedimentos detríticos derivados de la erosión de la Cordillera Occidental; esta sedimentación tiene como limites la falla San Felipe, Kanchiniso y la San Cristóbal y todas estas concurren en el volcán Quimsachata. El cabalgamiento del paleozoico hacia el este a la altura de Sicuani se debe al bloqueamiento resistente de la sedimentación del terciario (Formación Muñani) como también a los flancos del anticlinal del Vilcanota. Es importante destacar que el cabalgamiento del paleozoico están cortadas por fallas

verticales como la falla San Felipe a la altura de Sicuani que controla las escamas del Cretácico del Marangani, y la falla de Kanchiniso al Este de Combapata.(Audebaud, 1973)

3.1.3 ZONA DEL SINCLINORIO CRETACICO

Este plegamiento está ubicado en nuestra zona de estudio con una dirección NE-SE donde podemos ubicar 2 zonas:

La zona S-SE donde se tiene los sinclinales de Hanchipacha y Chilca estos están envueltos por un sistema de escamas del Huancané (Uyurmiri); estos sinclinales presentan planos axiales de 70 hacia el SW. Al NE de nuestra zona de estudio se pudo apreciar el anticlinal tipo champiñón, esto se debe a la tectónica paroxismal donde se dio 2 eventos de compresión, una de eje NE-SW y la otra de NW-SE, estos eventos controlaron el amoldamiento de las estructuras sobre las rocas preexistentes, la tectónica de compresión anterior de los ejes NW-SE también pudo controlar la rotación de los ejes de los sinclinales como se aprecia en Condorsenca. Es importante mencionar que los planos axiales de los sinclinales son variados esto se debe a la tectónica NE-SW y a los esfuerzos del movimiento de los bloques de los sinclinales.(Audebaud, 1973)

La zona N-NE se puede dividir en 3 subzona importantes:

Capa principal del Cretácico, esta zona comprende del Cretácico inferior (Formación Huancané) hasta las capas rojas de la Formación Auzangate (Terciario), las escamas del Huancané forman cabalgamiento en diferentes sectores (Uchullujillo y Trapiche); el sinclinal de Hanchipacha, Chilca está en discordancia con las capas de Chilca debido a la tectónica de compresión NW. El flanco Este del sinclinal debido a esfuerzos de compresión se replegó por lo que el Ayabacas aflora de forma discontinua en Patahuasi; más al Norte de nuestra zona de estudio (Tucsa) las estructuras de Huancané forman un domo plegado y al NE (Hanchipacha) están acuñados en contacto en discordancia con las capas rojas del Cretácico (Chilca y Muni). Es importante mencionar que la segunda compresión de NE-SW, ha plegado el sinclinal de Janchepata dirigiendo el cabalgamiento del Huancané. Es de suma importancia mencionar que las fallas tardías de descompresión han reactivado las fallas de los esfuerzos de compresión, esto podemos apreciar al NW de nuestra zona de estudio (Cusipata) donde podemos reconocer el sinclinal del paleozoico cabalgando sobre el otro anticlinal hacia el Oeste.

La zona Norte del sinclinorio se puede apreciar mediante distintas fases de compresión, la primera tectónica de compresión NO-SE (tectónica paroxismal) controla las estructuras falladas del Huancané y el replegamiento del Ayabacas, la segunda tectónica de compresión de dirección NE-SW se encarga del cabalgamiento y replegamiento perpendicular a su eje, también en esta 2da fase de compresión se originó las esquistosidades del paleozoico inferior con NE-SW y por último el sinclinorio está afectado a un esfuerzo de compresión de dirección NW que forma las fallas tardías y el replegamiento de ciertas capas.

La Faja Nororiental, esta subzona tiene una dirección NW-SE debido a que fue sometida a esfuerzos compresivos que cambiaron la dirección de posición del paleozoico superior (Grupo Mitu) ya que inicialmente tenía una dirección subvertical de N-S como se puede observar en la subzona al N de nuestra zona de estudio, este esfuerzo de compresión tuvo una primera fase donde el Mitu con una posición vertical que delimita la serie del Huancané y Ayabacas, ya en un 2do periodo esta falla cambio de dirección y a consecuencia puso en contacto irregular el Paleozoico Superior con el Cretácico provocando una compresión de NW-SE; la compresión del sinclinal Hanchepata en este 2do periodo es debido a pequeños esfuerzos de cabalgamiento que inicialmente empezó en la primera fase. Posterior a ello se formó el nappe (como una capa laminar que fue desplazada sobre la roca adyacente) hacia el SE, este nappe replegado representa una estructura muy corriente y se puede apreciar en el alto Chirú a lo largo del Paleozoico Superior (Mitu) del lado oriental, más al SE el Grupo Mitu fue cubierto por el cretácico inferior (Muni, Huancané) con dirección subvertical ejerciendo esfuerzos de compresión. En esta 2da zona debemos resaltar que la tectónica con esfuerzos de dirección NE fue más violenta al Norte por lo que en este sector podemos observar intrusiones hipo abisales debido a la descompresión después de la fase de compresión de la tectónica paroxismal.

Borde Norteoccidental, esta zona se presenta más al occidente de la cuenca del Vilcanota donde podemos apreciar que el paleozoico inferior (Cabanilla, Ananea) pase por encima del paleozoico superior (Mitu) la cual se encuentra cabalgando sobre el Ayabacas. El aplastamiento del cretácico (Huancané) sobre el paleozoico superior continua en la 2da fase de compresión de dirección NW ya que se desempeñó como una falla transcurrente que divide el comportamiento del NE del SW, en esta 2da fase el comportamiento al NE de la zona de estudio fue mucho más plegada

donde también podemos apreciar el paleozoico superior se encuentra debajo del paleozoico inferior y cabalgando al cretácico (Audebaud, 1973).

3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

En la zona de estudio se identificaron tanto estructuras primarias como secundarias. Las estructuras primarias son aquellas que se desarrollan durante la formación de las rocas (como la estratificación y la foliación), mientras que las estructuras secundarias se originan a partir de procesos de deformación que afectan a las rocas (tales como fracturas, pliegues y diaclasas). A continuación, se mencionarán las más relevantes:

3.2.1 ESTRUCTURAS PRIMARIAS

Estratificación

Para la recopilación de los planos de estratificación, se identificó por medio de la fotointerpretación los afloramientos más representativos de cada formación geológica, de los cuales podemos destacar que la Formación Muni y Viluyo por no tener un material consistente no se identificaron afloramientos por medio de la fotointerpretación, por lo que únicamente se identificó en campo.

Contando con los datos recolectados de los planos de estratificación se procesó los datos haciendo uso del Software libre Stereonet (Allmendinger ., 2012).

3.2.1.1 GRUPO MITU

Del gráfico de proyecciones estereográficas del Grupo Mitu superior se observa que los planos de estratificación tienen una orientación NW-SE (ver figura 3.1). Estos datos tienen un promedio de planos de estratificación 307/32°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento (ver Tabla 3.1).

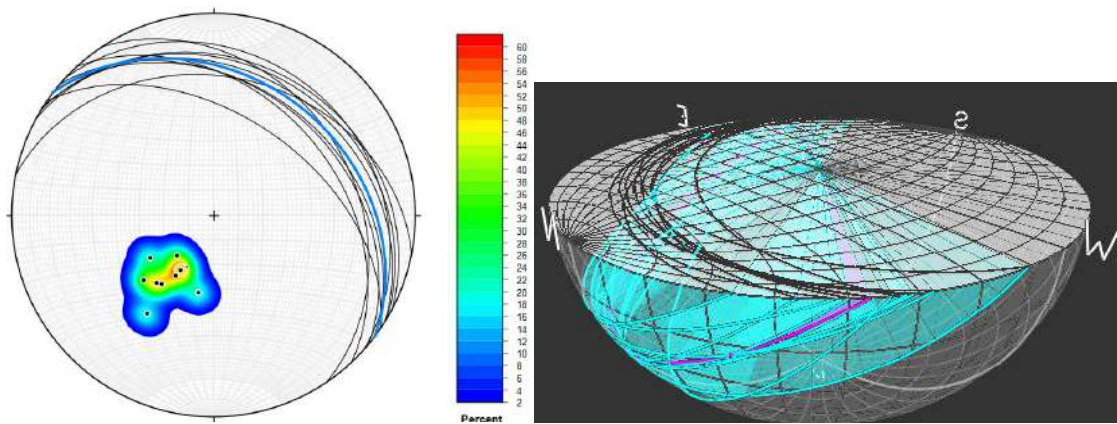
Tabla 3.1 Datos de los planos de estratificación del Grupo Mitu

Grupo Mitu			
Azimut	Buzamiento	coordenadas	
		Este	Norte
326	31°NE	260328	8425761
304	49°NE	260701	8426344

281	32°NE	261064	8426384
310	36°NE	260730	8425776
298	24°NE	260498	8426679
302	29°NE	260868	8426386
301	26°NE	260428	8426600
312	22°NE	260280	8426513
307	35°NE	260701	8426299
317	39°NE	260782	8426476

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación del Grupo Mitu Superior, Visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Formación Muni

Del gráfico de proyecciones estereográficas de la Formación Muni superior se observa que los planos de estratificación tienen una orientación NW-SE (ver figura 3.2). Estos datos tienen un promedio de planos de estratificación 316/24°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento (ver tabla 3.2).

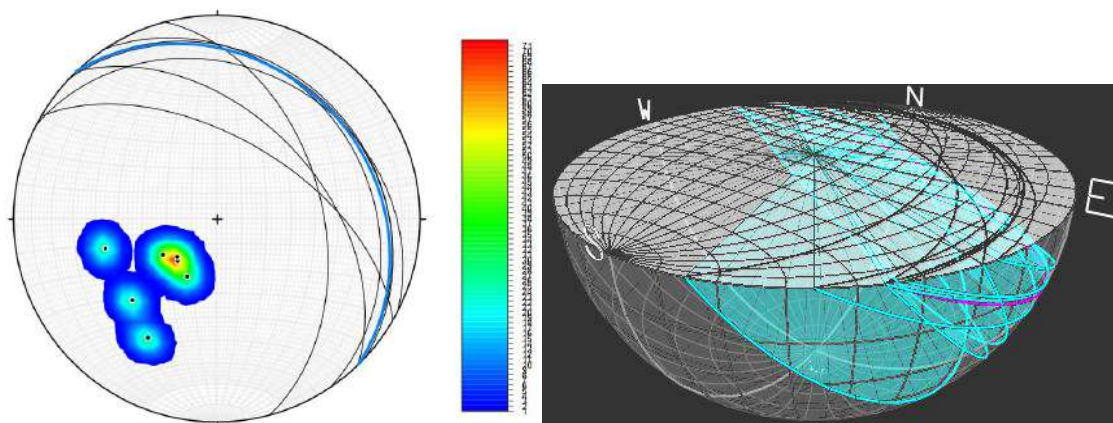
Tabla 3.2 Datos de los planos de estratificación de la Formación Muni

Formación Muni			
Azimut	Buzamiento	Coordenadas	
		Este	Norte
313	23°NE	260706	8426589

297	26°NE	260869	8426638
329	26°NE	260876	8426605
300	57°NE	261204	8426433
345	47°NE	260266	8426496
316	22°NE	260650	8426912
289	18°NE	260844	8426963
316	48°NE	260861	8426909

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Muni, Visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Formación Huancané

En la zona de estudio la Formación Huancané aflora en contacto con el paleozoico superior y con el terciario por lo que se puede apreciar 2 tendencia en cuando a su buzamiento y estratificación (ver figura 3.3). La primera tendencia presenta un promedio de los planos de estratificación de 305/23°NE y la segunda debido a la falla San Felipe y Sicuani presenta una variación de 300/36°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento(ver tabla 3.3).

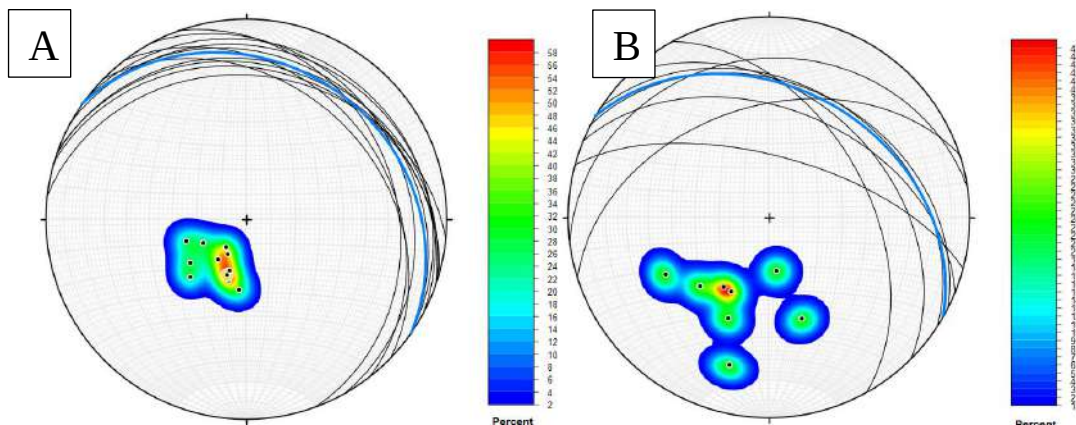
Tabla 3.3 Datos de los planos de estratificación de la Formación Huancané

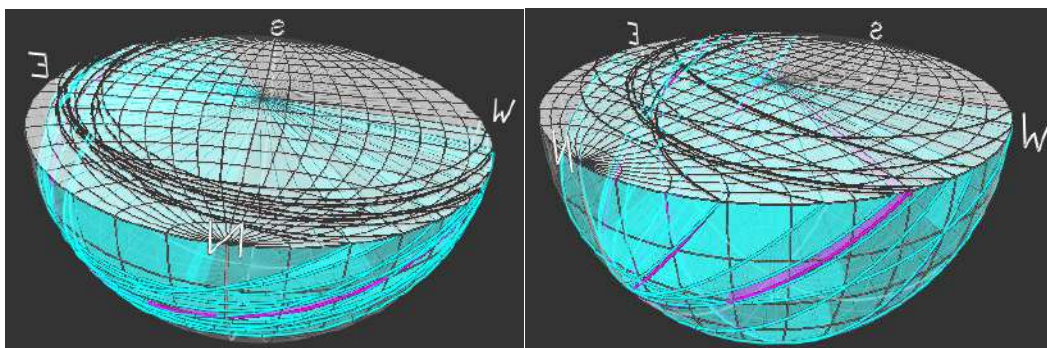
Formación Huancané			
Azimut	Buzamiento	Coordenadas	
		Este	Norte

340	26°NE	260114	8426777
322	29°NE	260981	8427193
306	14°NE	261125	8427323
298	16°NE	261124	8427276
331	20°NE	261310	8427268
286	26°NE	261293	8427177
314	33°NE	261442	8427009
289	24°NE	261348	8426918
276	29°NE	261335	8426729
305	20°NE	260786	8427523
288	22°NE	261481	8426651
297	34°NE	261557	8427903
315	40°NE	261734	8427742
292	45°NE	261824	8427659
331	49°NE	262006	8427504
262	22°NE	260932	8428006
285	65°NE	260926	8428000
252	44°NE	260898	8427984
303	34°NE	261717	842784

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Huancané. (a) Formación Huancané en contacto con el paleozoico superior (b) Formación Huancané en contacto con el Terciario





Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.4 Formación Viluyo

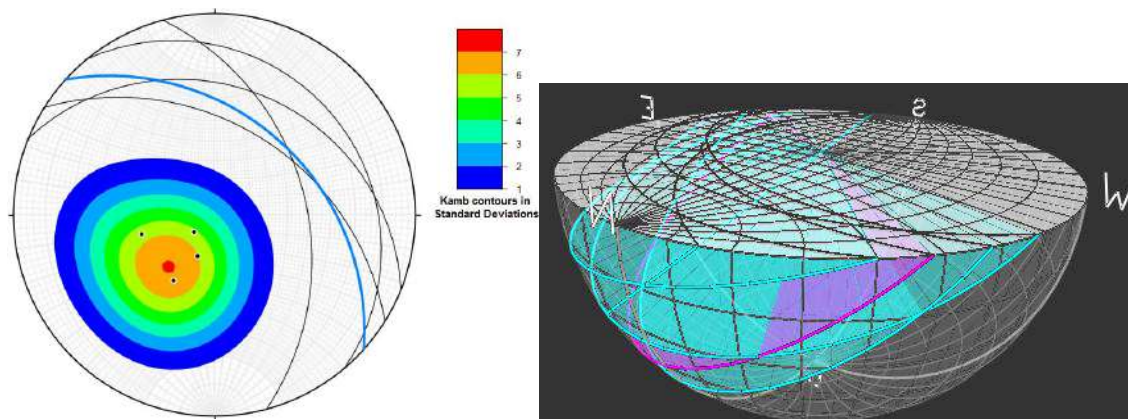
Del gráfico de proyecciones estereográficas de la Formación Viluyo se observa que los planos de estratificación tienen una orientación NW-SE (ver figura 3.4). Estos datos tienen un promedio de planos de estratificación 312/38°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento (ver tabla 3.4). La variación de datos que se muestra en la proyección estratigráfica es debido a estructuras importantes como las fallas locales.

Tabla 3.4 Datos de los planos de estratificación de la Formación Viluyo

Formación Viluyo			
Azimut	Buzamiento	Coordenadas	
		Este	Norte
302	42°NE	261850	8427200
320	15°NE	260911	8427935
292	25°NE	260915	8427933
345	41°NE	260912	8427771

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Viluyo y Visualización en 3D



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.5 Formación Ayabacas

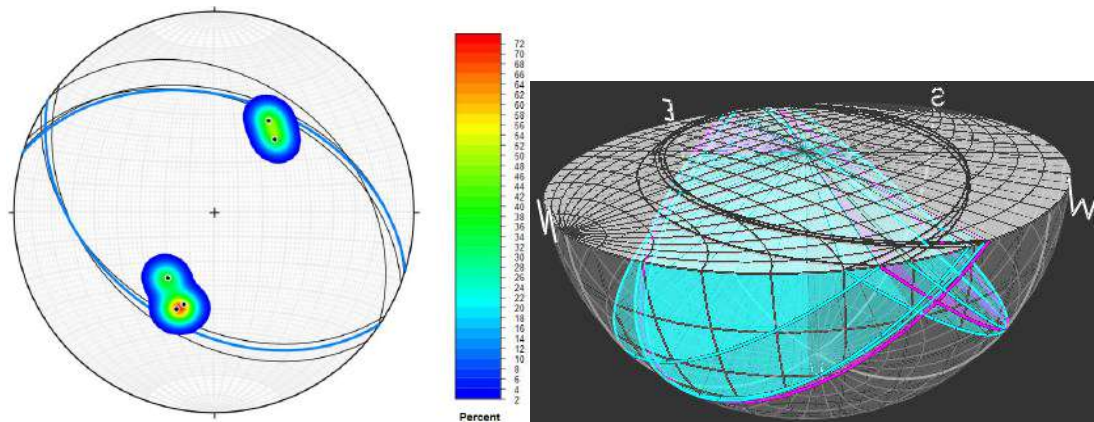
Del gráfico de proyecciones estereográficas de la Formación Ayabacas se observa que los planos de estratificación tienen una orientación NW-SE (ver figura 3.5). Estos datos tienen 2 promedios de planos de estratificación esto debido a la falla Sicuani donde la primera es de 287/42°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento y la segunda es de 125/41, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento (ver tabla 3.5).

Tabla 3.5 Datos de los planos de estratificación de la Formación Ayabacas

Formación Ayabacas			
Azimut	Buzamiento	Coordenadas	
		Este	Norte
305	40°NE	261407	8427360
288	33°NE	261457	8427257
291	43°NE	261404	8427523
121	44°SW	261726	8428030
130	39°SW	261820	8427863

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Ayabacas y Visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6 Formación Vilquechico

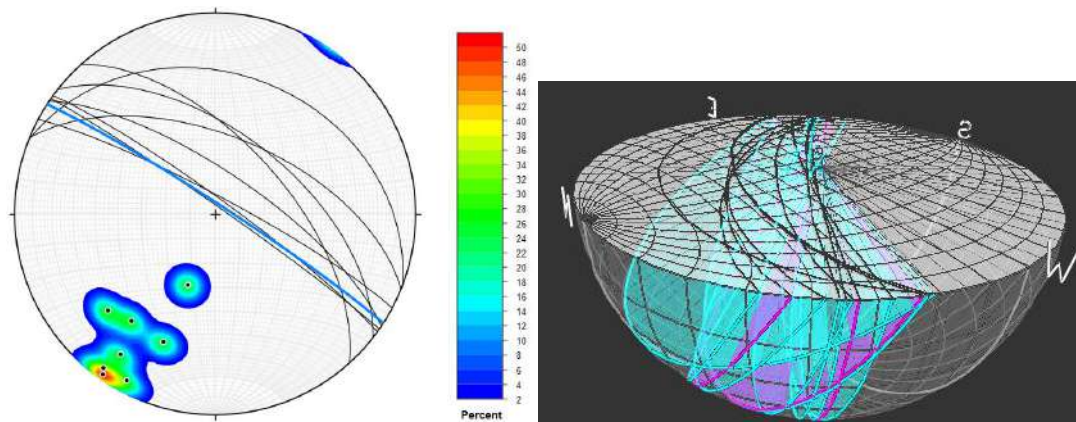
Del gráfico de proyecciones estereográficas de la Formación Vilquechico se observa que los planos de estratificación tienen una orientación NW-SE (ver figura 3.6). Estos datos tienen un promedio de planos de estratificación 303/86°NE, donde el rumbo nos representa en numerador y el denominador el buzamiento (ver tabla 3.6).

Tabla 3.6 Datos de los planos de estratificación de la Formación Vilquechico

Formación Vilquechico			
Azimut	Buzamiento	Coordenadas	
		Este	Norte
306	84°NE	261729	8428074
304	73°NE	261607	8428133
308	57°NE	261499	8428208
292	58°NE	261452	8428239
291	31°NE	261407	8428424
318	61°NE	261417	8428465
298	83°NE	261333	8428488
305	87°NE	261085	8428353

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Proyección estratigráfica de los planos de estratificación de la Formación Vilquechico y Visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 ESTRUCTURAS SECUNDARIAS

3.2.2.1 FRACTURAS

GRUPO MITU SUPERIOR

En el Grupo Mitu Superior se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.7) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.8 para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.7).

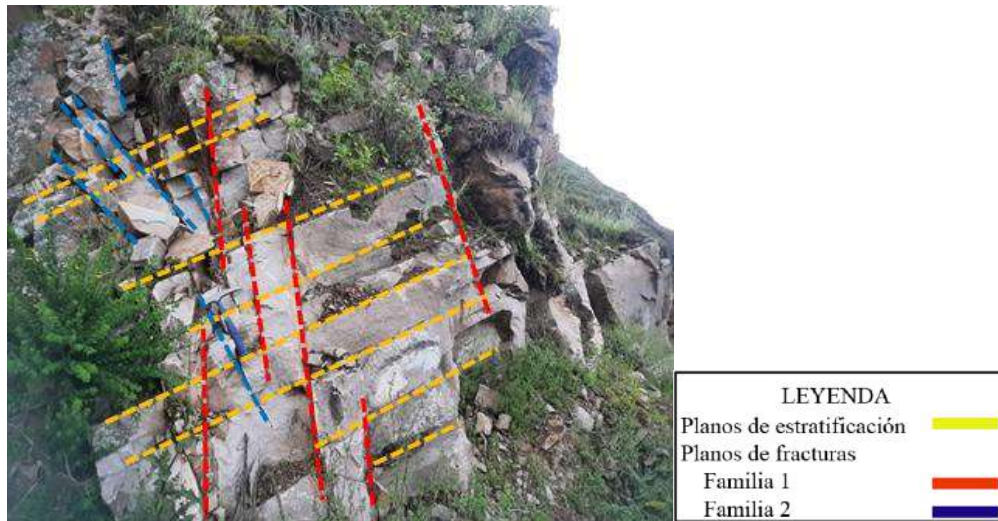
Tabla 3.7 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica del Grupo Mitu Superior

Estación 06			Datos de la estratificación		
Grupo Mitu		Rumbo	310	Buzamiento	36
Estratificación		Abertura (cm)	0.05- 0.1 cm	Espaciamiento (cm)	45-55 cm
Familia 01			Coordenadas		
Azimut	Buzamiento	Este	260730	Norte	8425776
45	87	Abertura (cm)	1.0 cm -2 cm		
42	83	Espaciamiento (cm)	30 cm - 40 cm		
51	80	Persistencia (cm)	10 cm - 20 cm		
48	79	Rugosidad	moderadamente rugoso		
Familia 02		Relleno	material cuaternario		
Azimut	Buzamiento	Abertura (cm)	0.5 cm - 1 cm		

222	67	Espaciamiento (cm)	20 cm - 40 cm
219	63	Persistencia (cm)	10 cm - 20 cm
227	61	Rugosidad	moderadamente rugoso
231	68	Relleno	material cuaternario

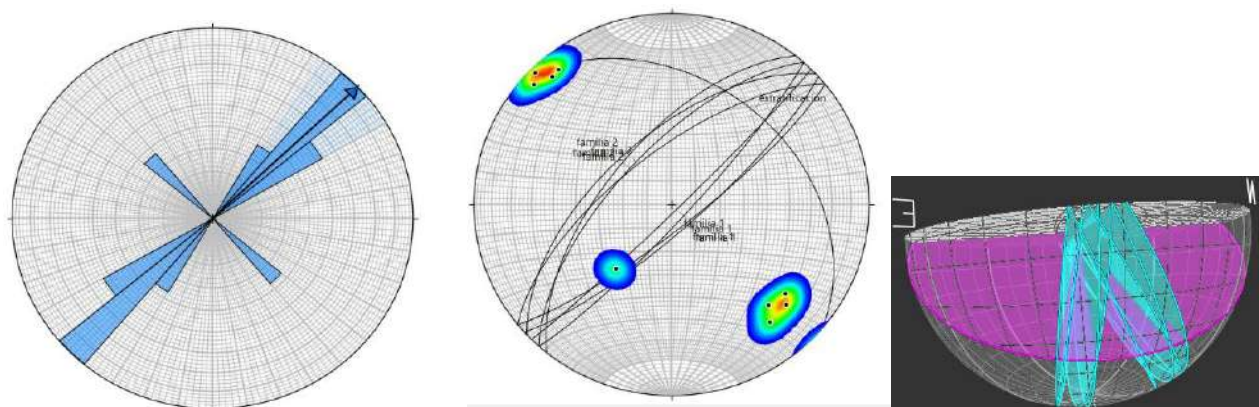
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.7 Ventana estructural del Grupo Mitu Superior



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.8 Planos de fracturas del Grupo Mitu Superior y Visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

FORMACIÓN MUNI

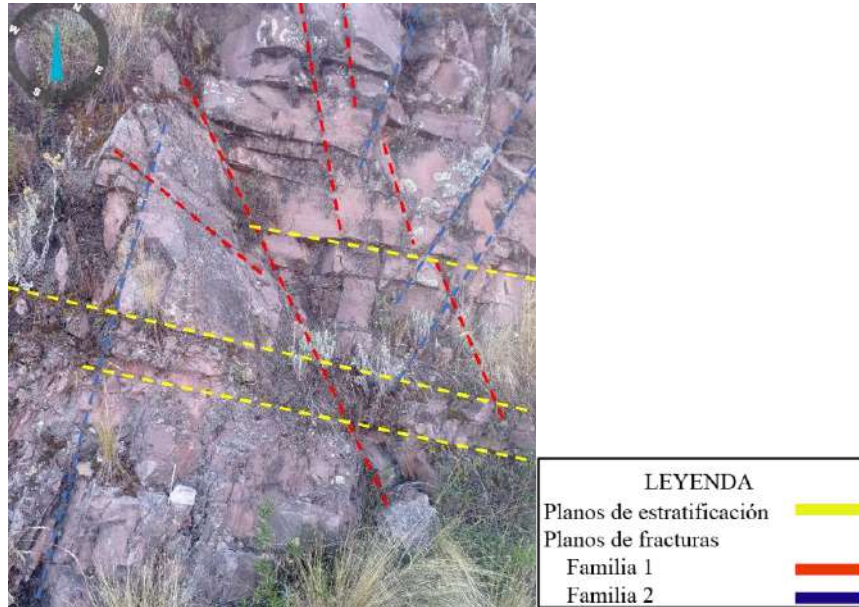
En la Formación Muni se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.9) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.10 para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.8).

Tabla 3.8 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Muni

Estación 05		Datos de la estratificación			
Formación Muni		Rumbo	316	Buzamiento	22
Estratificación		Abertura (cm)	0.05	Espaciamiento (cm)	40
Familia 01		Coordenadas			
Azimut	Buzamiento	Este	260820	Norte	8426939
226	50	Abertura (cm)		0.03cm	
230	60	Espaciamiento (cm)		35cm	
190	40	Persistencia (cm)		15cm	
215	45	Rugosidad		rugoso	
Familia 02		Relleno	material cuaternario		
Azimut	Buzamiento	Abertura (cm)		0.2cm	
123	65	Espaciamiento (cm)		25	
156	50	Persistencia (cm)		15cm	
145	41	Rugosidad		Rugoso	
50	52	Relleno		material cuaternario	

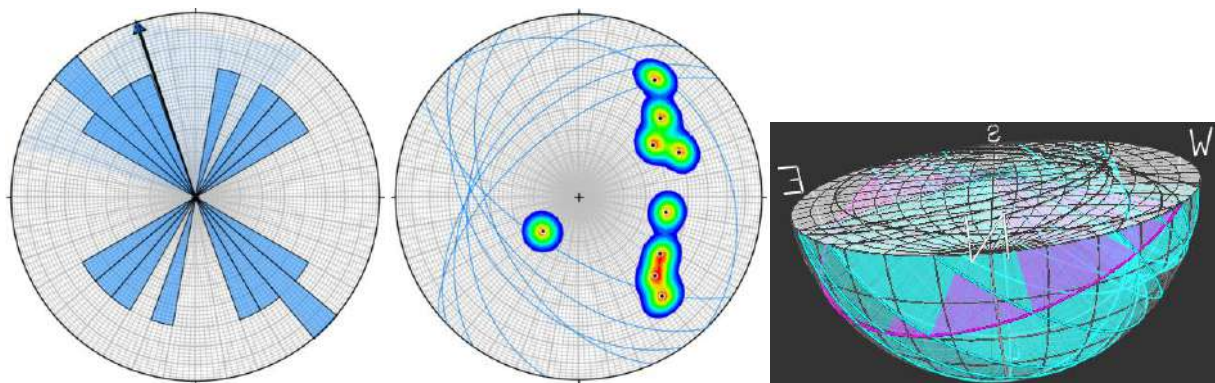
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.9 Ventana estructural de la Formación Muni



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.10 Planos de fracturas de la Formación Muni y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

FORMACION HUANCANE

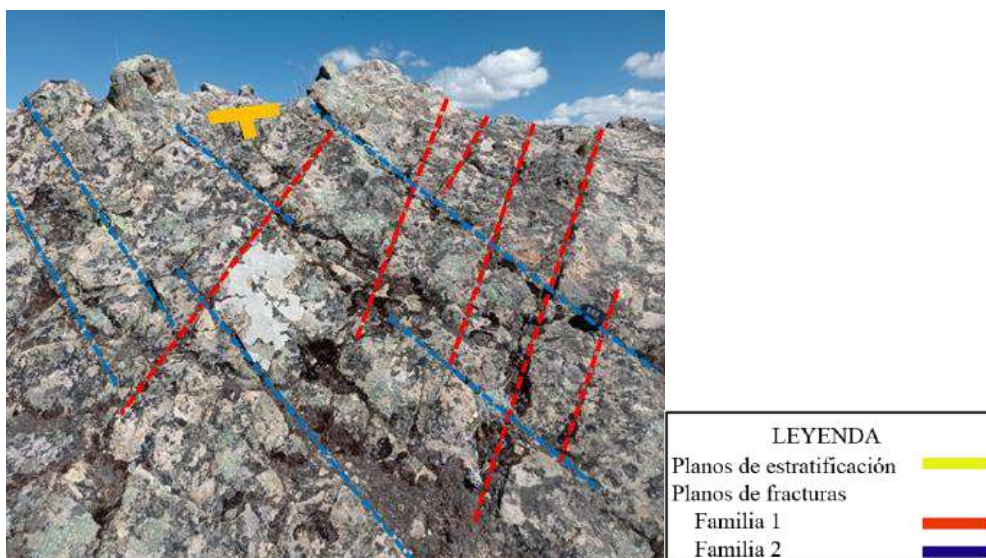
En la Formación Huancané se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.11) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.12 para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.9).

Tabla 3.9 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Huancané

Estación 02		Datos de la estratificación			
Formación Huancané		Rumbo	297	Buzamiento	34
Estratificación		Abertura (cm)	0.05-0.15 cm	Espaciamiento (cm)	50-70 cm
Familia 01		Coordenadas			
Azimut	Buzamiento	Este	261564	Norte	8427903
56	74	Abertura (cm)		0.1 cm - 1.0 cm	
62	72	Espaciamiento (cm)		15 cm - 30 cm	
59	69	Persistencia (cm)		40 cm - 60 cm	
63	75	Rugosidad		Baja rugosidad, casi liso	
Familia 02		Relleno		Material cuaternario	
Azimut	Buzamiento	Abertura (cm)		0.1 cm -1.0 cm	
175	79	Espaciamiento (cm)		40 cm - 50 cm	
179	75	Persistencia (cm)		30 cm - 70 cm	
172	77	Rugosidad		Mediana rugosidad	
181	70	Relleno		Material cuaternario	

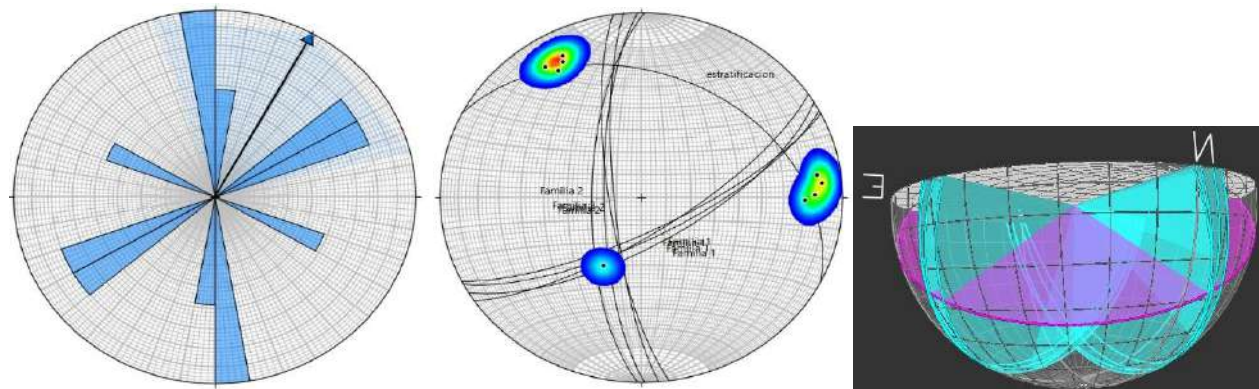
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.11 Ventana estructural de la Formación Muni



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.12 Planos de fracturas de la Formación Muni y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

FORMACION VILUYO

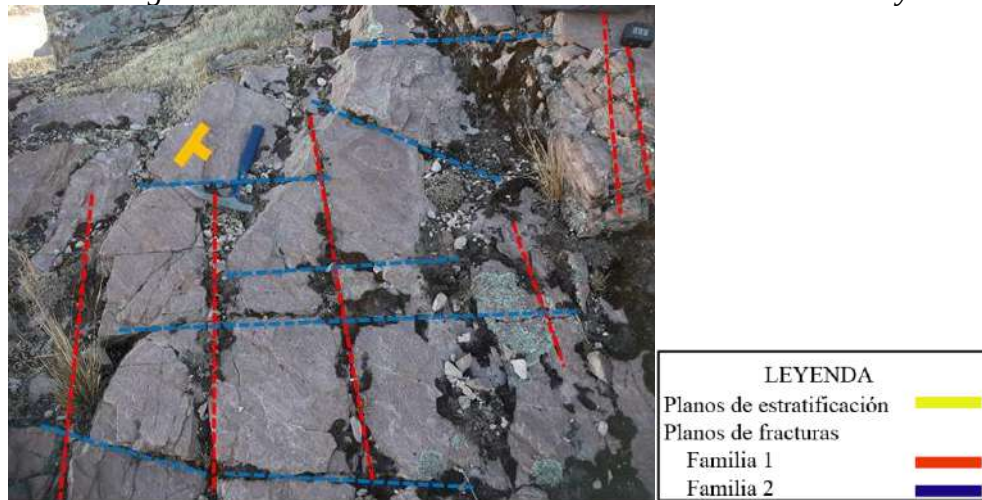
En la Formación Viluyo se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.13) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.14 para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.10).

Tabla 3.10 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Viluyo

Estación 04		Datos de la estratificación		
Formación Viluyo	Rumbo	292	Buzamiento	25
Estratificación	Abertura (cm)	0.1 cm	Espaciamiento (cm)	60-80 cm
Familia 01		Coordenadas		
Azimut	Buzamiento	Este	260915	Norte 8427933
179	75	Abertura (cm)	0.1 cm - 0.2 cm	
162	72	Espaciamiento (cm)	15 cm - 25 cm	
175	79	Persistencia (cm)	25 cm - 30 cm	
171	75	Rugosidad	Moderadamente rugoso	
Familia 02		Relleno	Material cuaternario	
Azimut	Buzamiento	Abertura (cm)	0.2 cm - 0.4 cm	
325	40	Espaciamiento (cm)	20 cm - 40 cm	
331	38	Persistencia (cm)	20 cm - 35 cm	
327	35	Rugosidad	Moderadamente rugoso	
321	41	Relleno	Material cuaternario	

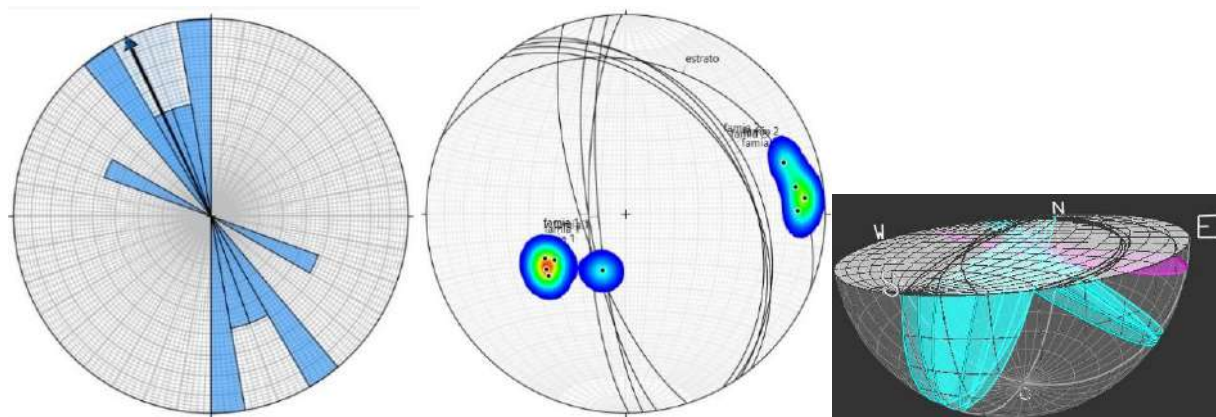
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Ventana estructural de la Formación Viluyo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Planos de fracturas de la Formación Viluyo



Fuente: Elaboración propia

FORMACION AYABACAS

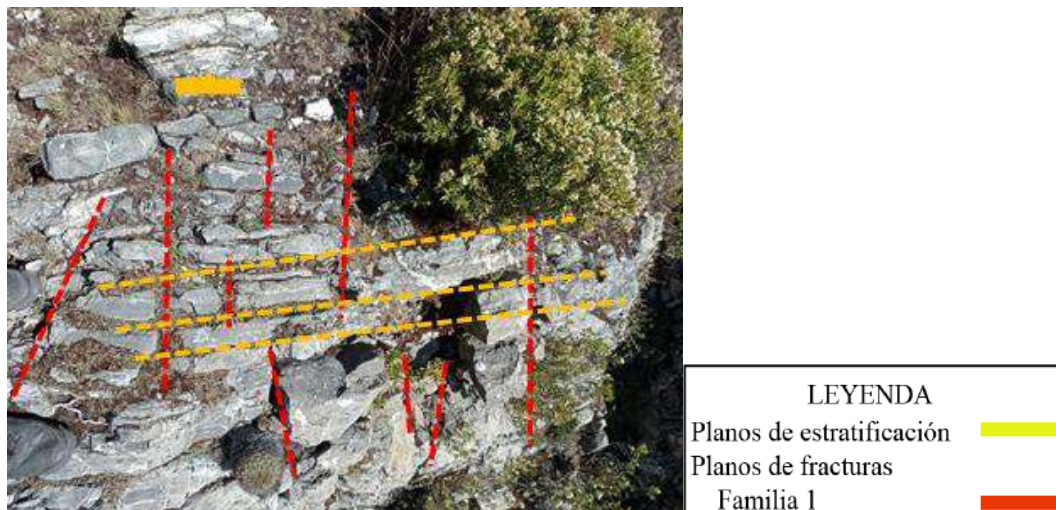
En la Formación Ayabacas se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.15 y 3.17) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.16 y 3.18 con el programa Stereonet para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.11).

Tabla 3.11 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario)

Estación 3.1		Datos de la estratificación			
Formación Ayabacas		Rumbo	121	Buzamiento	44
Estratificación		Abertura (cm)	0.1- 0.3 cm	Espaciamiento (cm)	10-20 cm
Familia 01		Coordenadas			
Azimut	Buzamiento	Este	261726	Norte	8428030
30	83	Abertura (cm)	0.5 cm - 1.5 cm		
35	86	Espaciamiento (cm)	20cm - 40cm		
29	81	Persistencia (cm)	10 cm - 20 cm		
34	79	Rugosidad	Moderadamente rugoso		
38	84	Relleno	Material cuaternario		

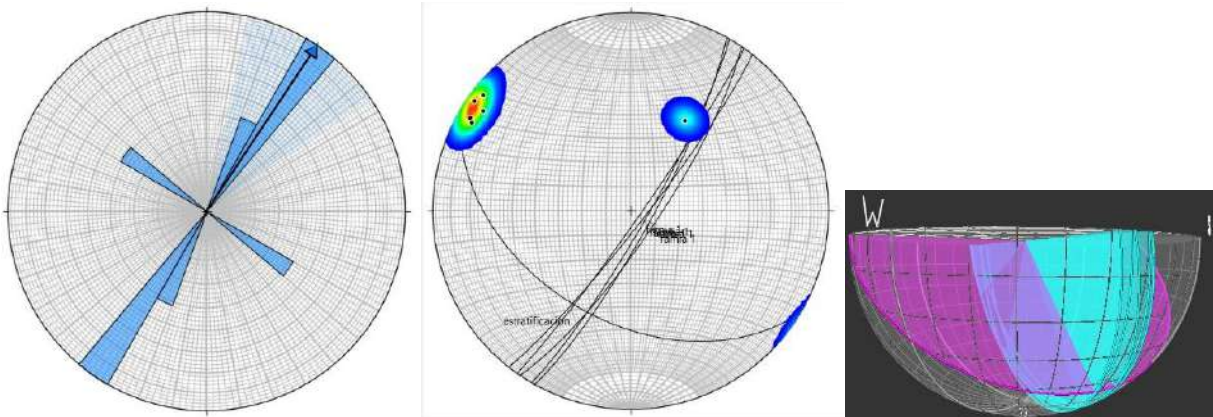
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Ventana estructural de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16 Planos de fracturas de la Formación Ayabacas (Cretácico-Terciario) y visualización en 3D



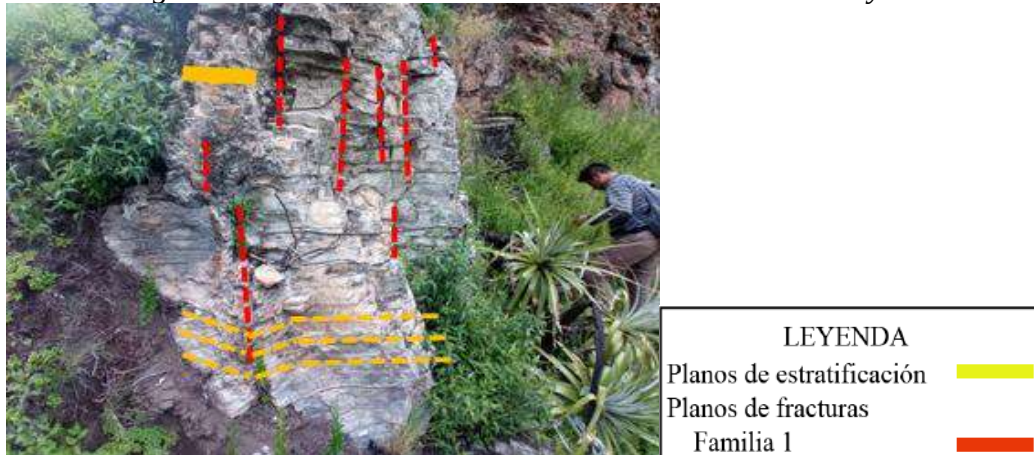
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Ayabacas

Estación 3.2		Datos de la estratificación			
Formación Ayabacas		Rumbo	305	Buzamiento	40
Estratificación		Abertura (cm)	0.1- 0.3 cm	Espaciamiento (cm)	10-20 cm
Familia 01		Coordenadas			
Azimut	Buzamiento	Este	261407	Norte	8427360
220	78	Abertura (cm)	1 cm		
217	79	Espaciamiento (cm)	15 cm - 25 cm		
210	74	Persistencia (cm)	10 cm - 15 cm		
214	69	Rugosidad	Moderadamente rugoso		
216	80	Relleno	Escaso material cuaternario		

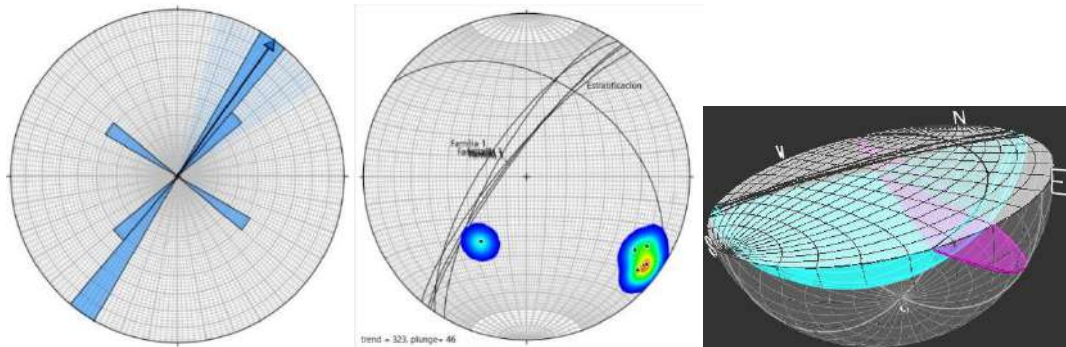
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17 Ventana estructural de la Formación Ayabacas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18 Planos de fracturas de la Formación Ayabacas y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

FORMACION VILQUECHICO

En la Formación Vilquechico se hizo la toma de datos de las estructuras secundarias (ver figura 3.19) donde se realizó el análisis y tendencia según a la figura 3.20 con el programa Stereonet para ver el comportamiento o la dirección preferencial que estas presentan (ver tabla 3.13).

Tabla 3.13 Parámetros de fracturas de la estación geomecánica de la Formación Vilquechico

Estación 01			Datos de la estratificación		
Formación Vilquechico		Rumbo	298	Buzamiento	83
Estratificación		Abertura (cm)	0.08cm	Espaciamiento (cm)	50cm
Familia 01			Coordenadas		
Azimut	Buzamiento	Este	261333	Norte	8428488

139	15	Abertura (cm)	1cm
130	36	Espaciamiento (cm)	35cm
152	26	Persistencia (cm)	15
145	30	Rugosidad	Ligeramente rugoso
Familia 02		Relleno	material cuaternario
Azimut	Buzamiento	Abertura (cm)	0.4cm
29	55	Espaciamiento (cm)	30cm
32	62	Persistencia (cm)	16cm
23	56	Rugosidad	Ligeramente rugoso
34	52	Relleno	material cuaternario

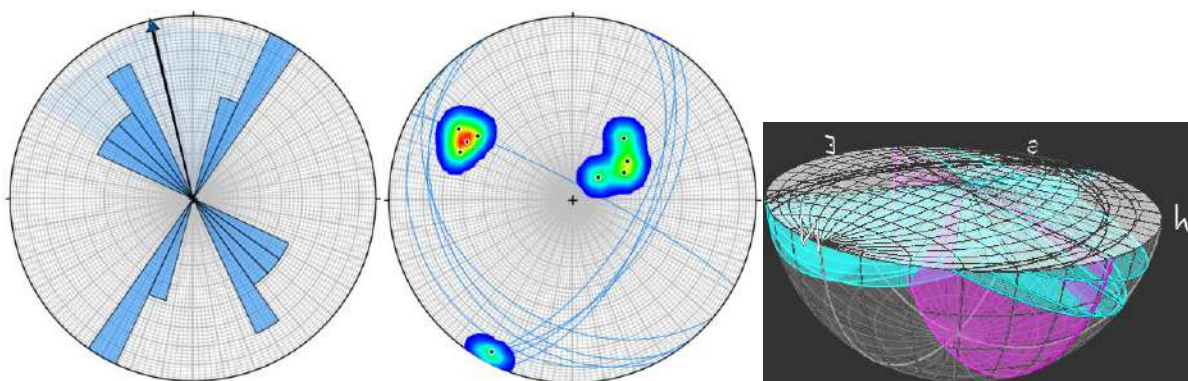
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19 Ventana estructural de la Formación Vilquechico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20 Planos de fracturas de la Formación Vilquechico y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 FALLAS LOCALES

Estas fallas locales han sido controladas por la ultima tectónica andina (acortamiento de E-W), en la zona de estudio se logró identificar 2 fallas regionales con dirección andina (NW-SE), la falla Sicuani y la falla San Felipe, también se logró identificar fallas perpendiculares a la estratificación distribuidas en las diferentes formaciones geológicas de las cuales se realizó el cartografiado.

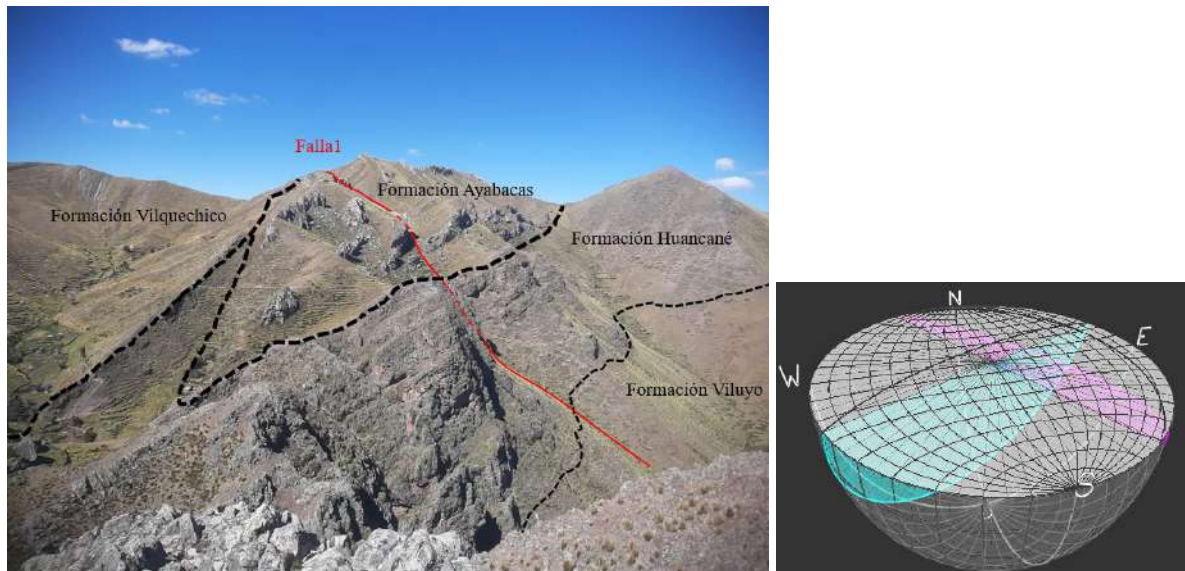
Tabla 3.14 Datos de las fallas locales

N°	coordenadas		dirección	
	Este	Norte	Azimut	Buzamiento
Falla 1	261675	8427822	245°	74°
Falla 2	261270	8427573	187°	88°
Falla 3	260263	8426937	322°	71°
Falla 4	261387	8426994	217°	82°
Falla 5	261956	8426842	228°	76°

Fuente: Elaboración propia

Falla 1. Esta falla inferida se ubica en el lado derecho de la zona de estudio en la comunidad de PataHansa, en las formaciones de Ayabacas y Huancané

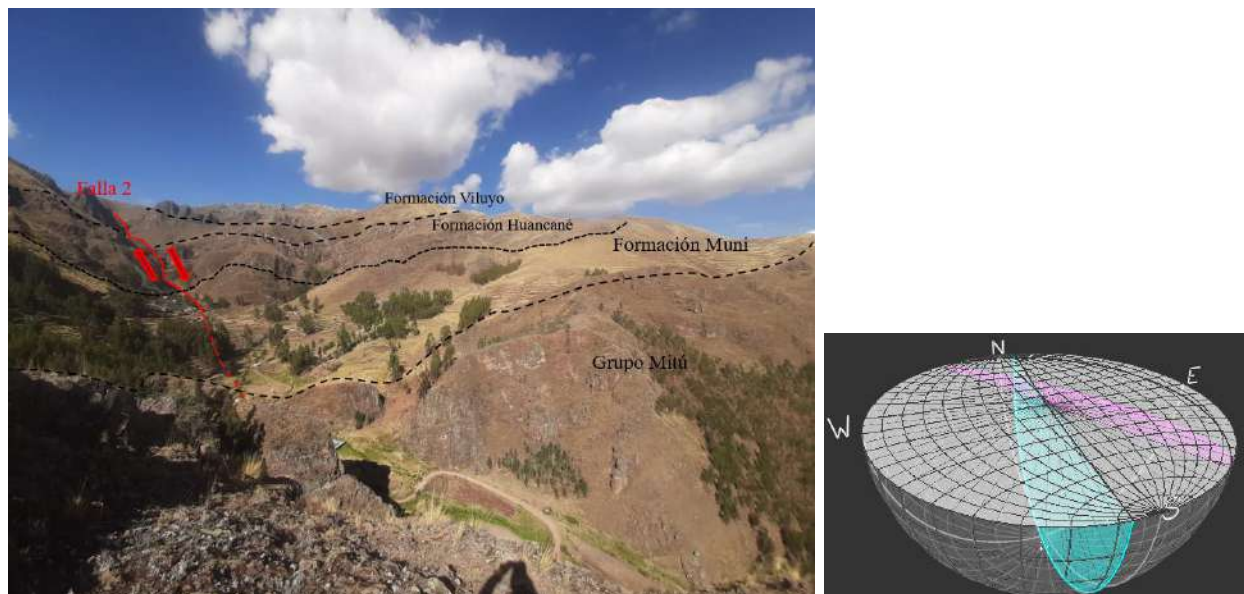
Figura 3.21 Falla inferida presente en la Formación Ayabacas en el cerro Jururu y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

Falla 2. Esta falla inferida se presenta casi en la totalidad en la cuenca y se ubica en la parte central de la zona de estudio donde se observa una caída del lado derecho.

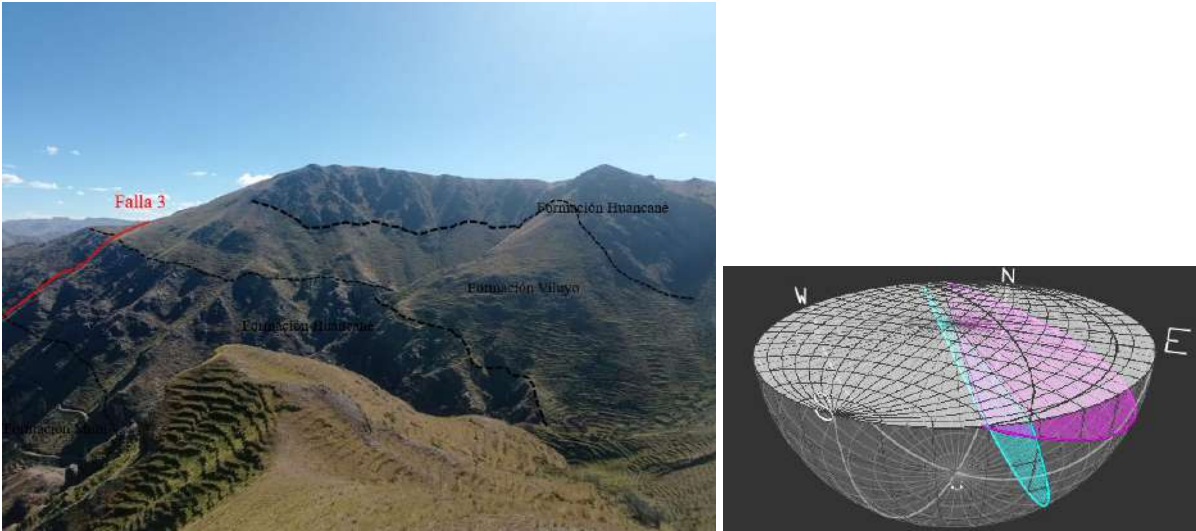
Figura 3.22 Falla inferida presente en la quebrada de Uyurmiri y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

Falla 3. Esta falla inferida se encuentra presente dentro de las formaciones Viluyo, Huancané y Muni en el lado izquierdo de la zona de estudio con un pequeño salto.

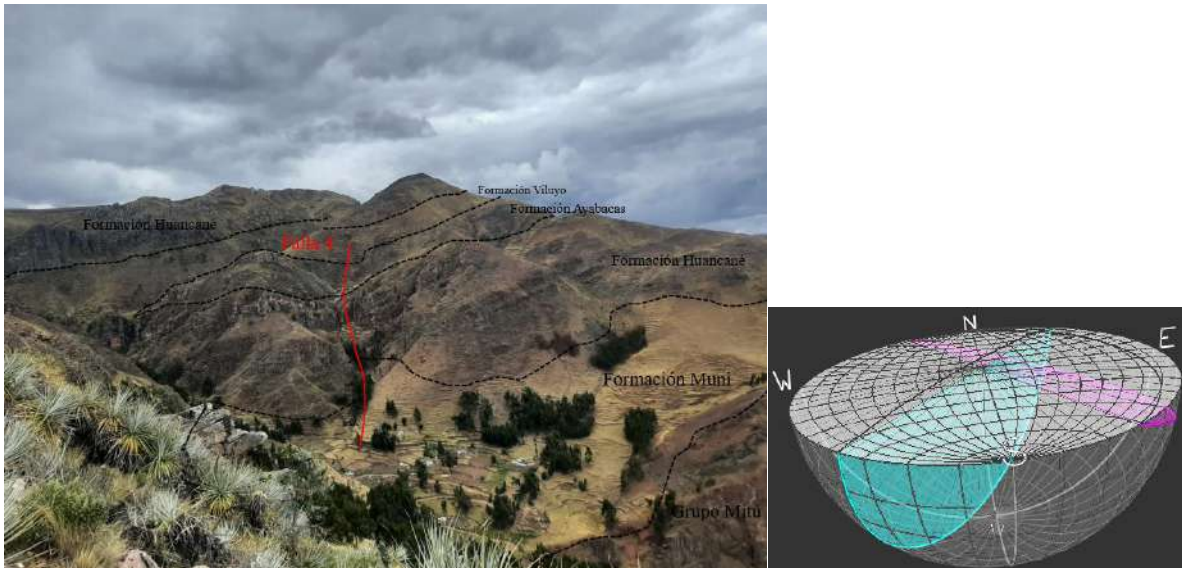
Figura 3.23 Falla inferida presente en las formaciones Viluyo, Huancané, Muni en el cerro Cielo K'awarina y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

Falla 4. Esta falla inferida presente en las formaciones Ayabacas, Huancané, Muni se ubica en el lado derecho de la zona de estudio con una leve caída del extremo izquierdo.

Figura 3.24 Presencia de la falla inferida en el cerro Jururu y visualización en 3D

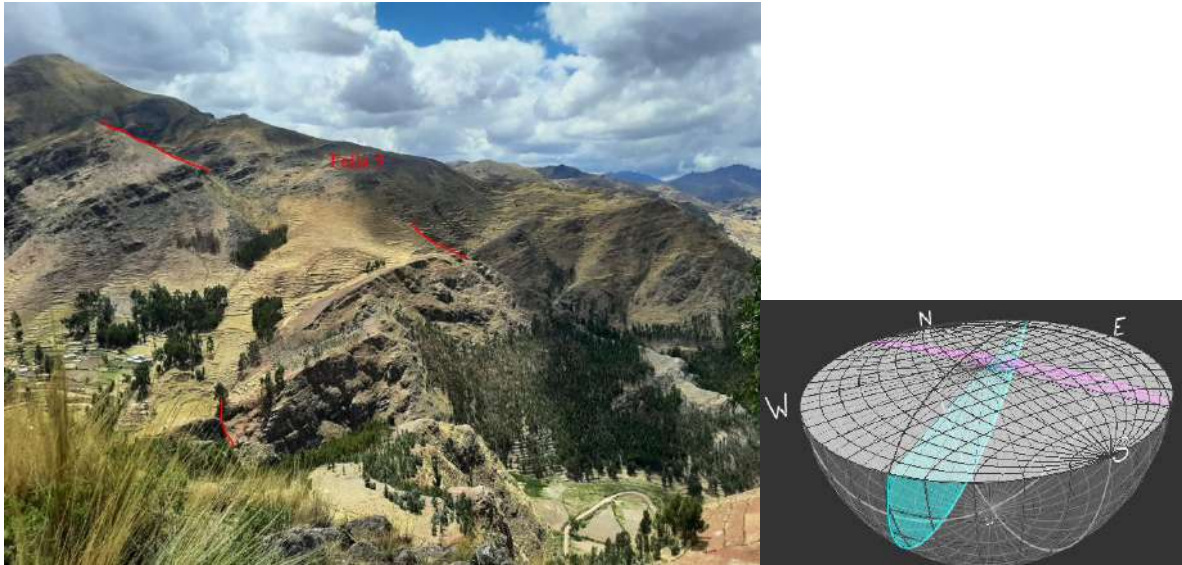


Fuente: Elaboración propia

Falla 5. Falla inferida que intercepta con la falla Sicuani a lo largo de la formaciones Ayabacas, Huancané, Muni, Viluyo y el Grupo Mitu, se ubica en el flanco derecho de la cuenca local, esta falla

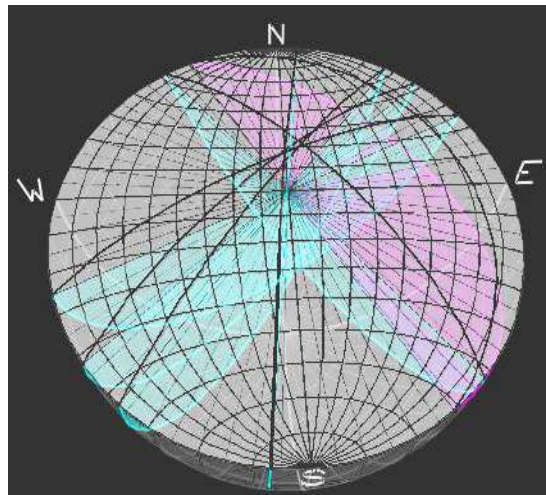
es de suma importancia ya que por el circula el agua termal, esta falla a su vez está acompañada por micro fallas que tiene la misma orientación.

Figura 3.25 Presencia de la falla inferida en el cerro Jururu y visualización en 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26 Visualizacion de las fallas locales en 3D con el programa Stereonet



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27. Mapa estructural local de la quebrada Uyurmiri

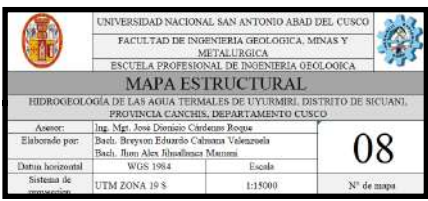
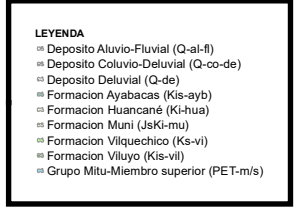
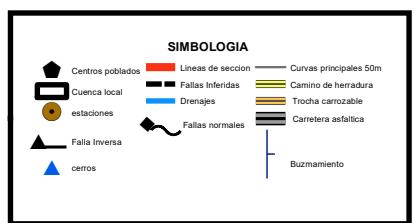
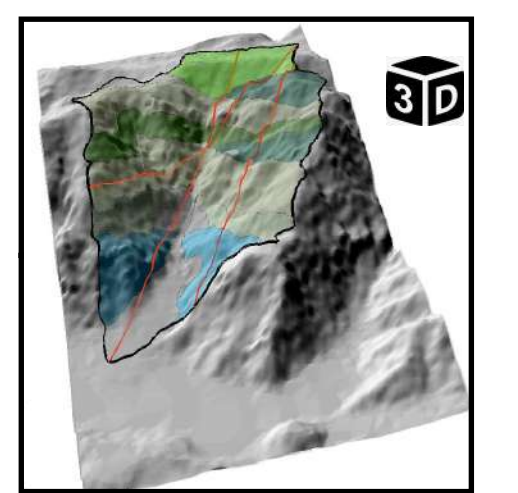
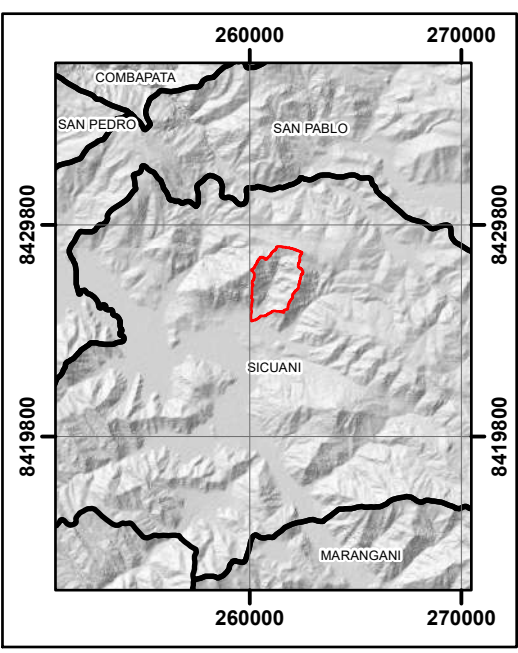
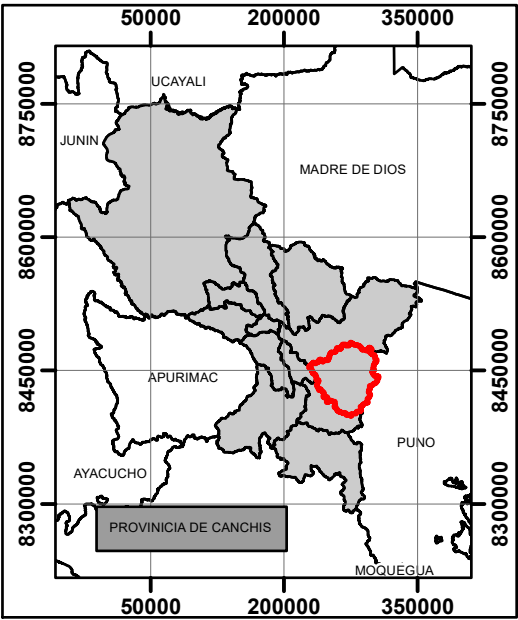
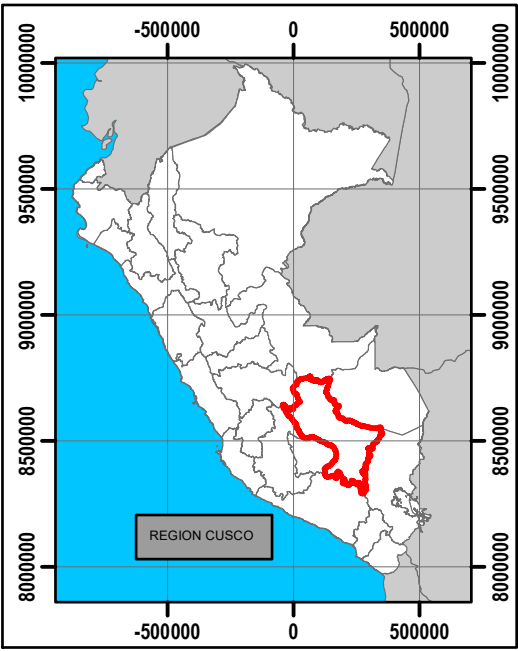
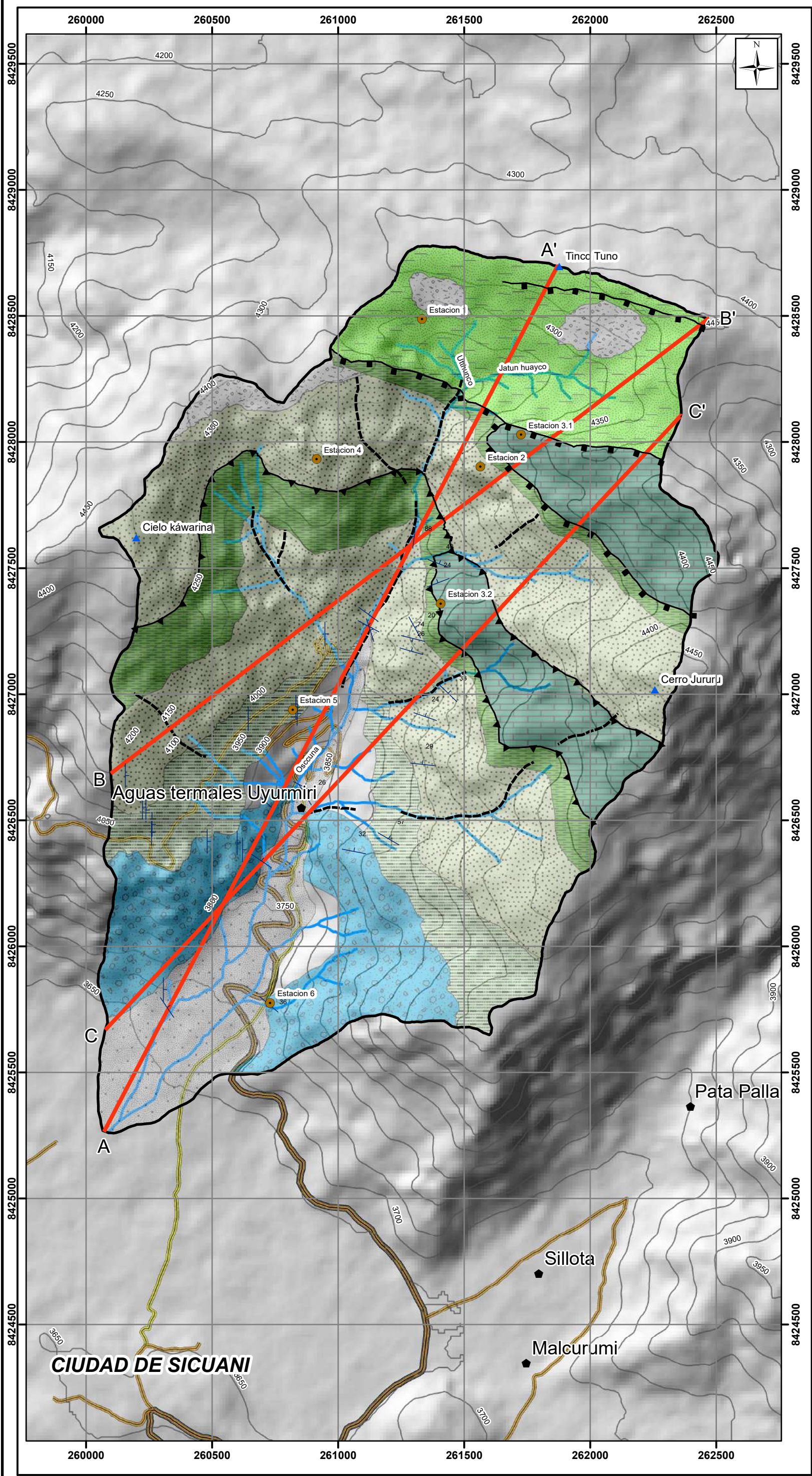
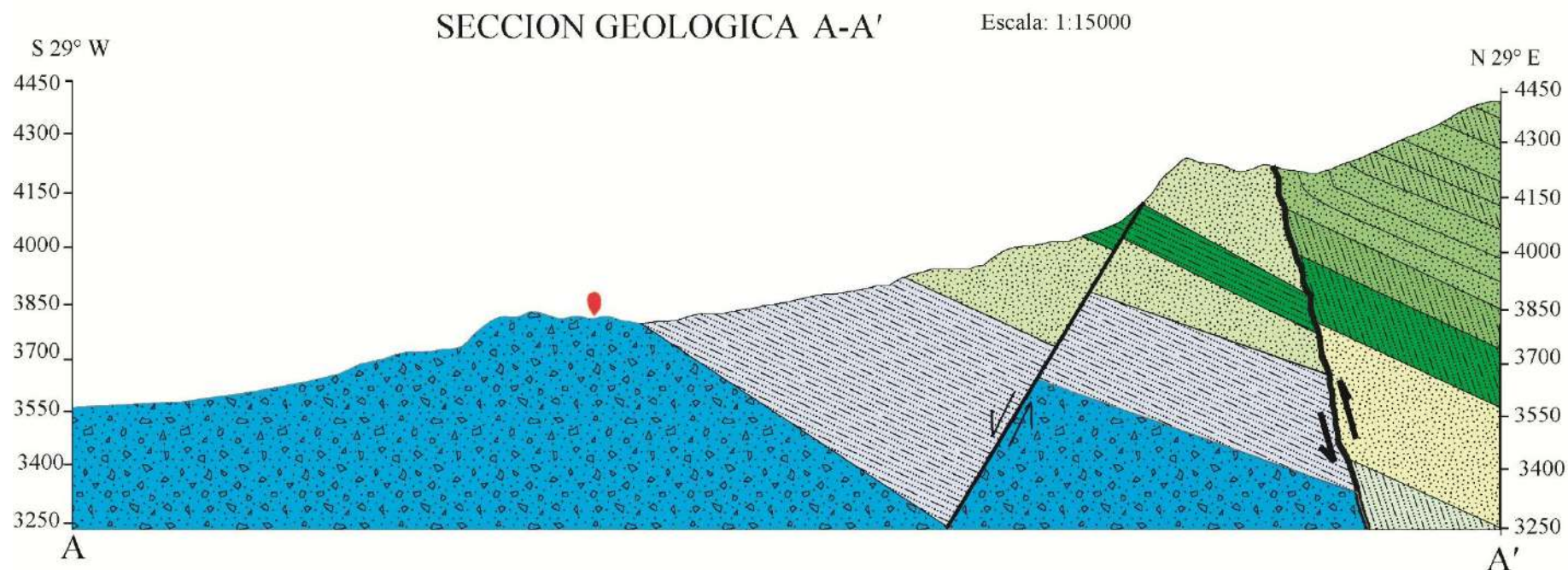


Figura 3.28 Sección Geológica A-A'



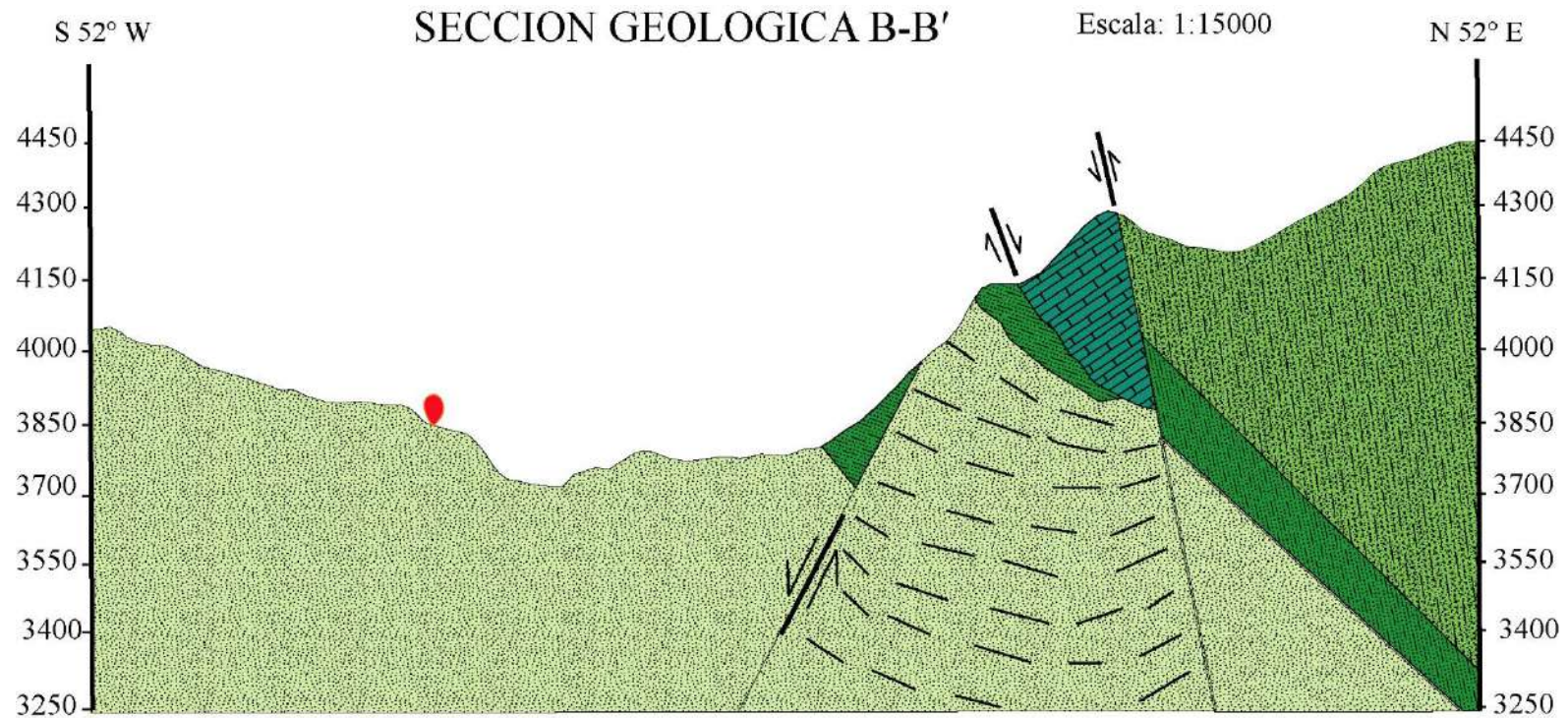
LEYENDA	
	Grupo Mitu
	Formacion Muni
	Formacion Huancane
	Formacion Viluyo
	Formacion Vilquechico

SIMBOLOGIA	
Falla normal	
Falla inversa	
Fuente termal	

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
SECCION GEOLOGICA A-A'			
HIDROGEOLOGÍA DE LAS AGUA TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO			
Aesor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Roque		01
Elaborado por:	Bach. Breyson Eduardo Cahuana Valenzuela Bach. Jhon Alex Jihuallanca Mamani		
Datun horizontal	WGS 1984	Escala horizontal: 1/13842	
Sistema de proyeccion	UTM ZONA 19 S	Escala vertical: 1/13636	N° de seccion

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.29 Sección Geológica B-B'



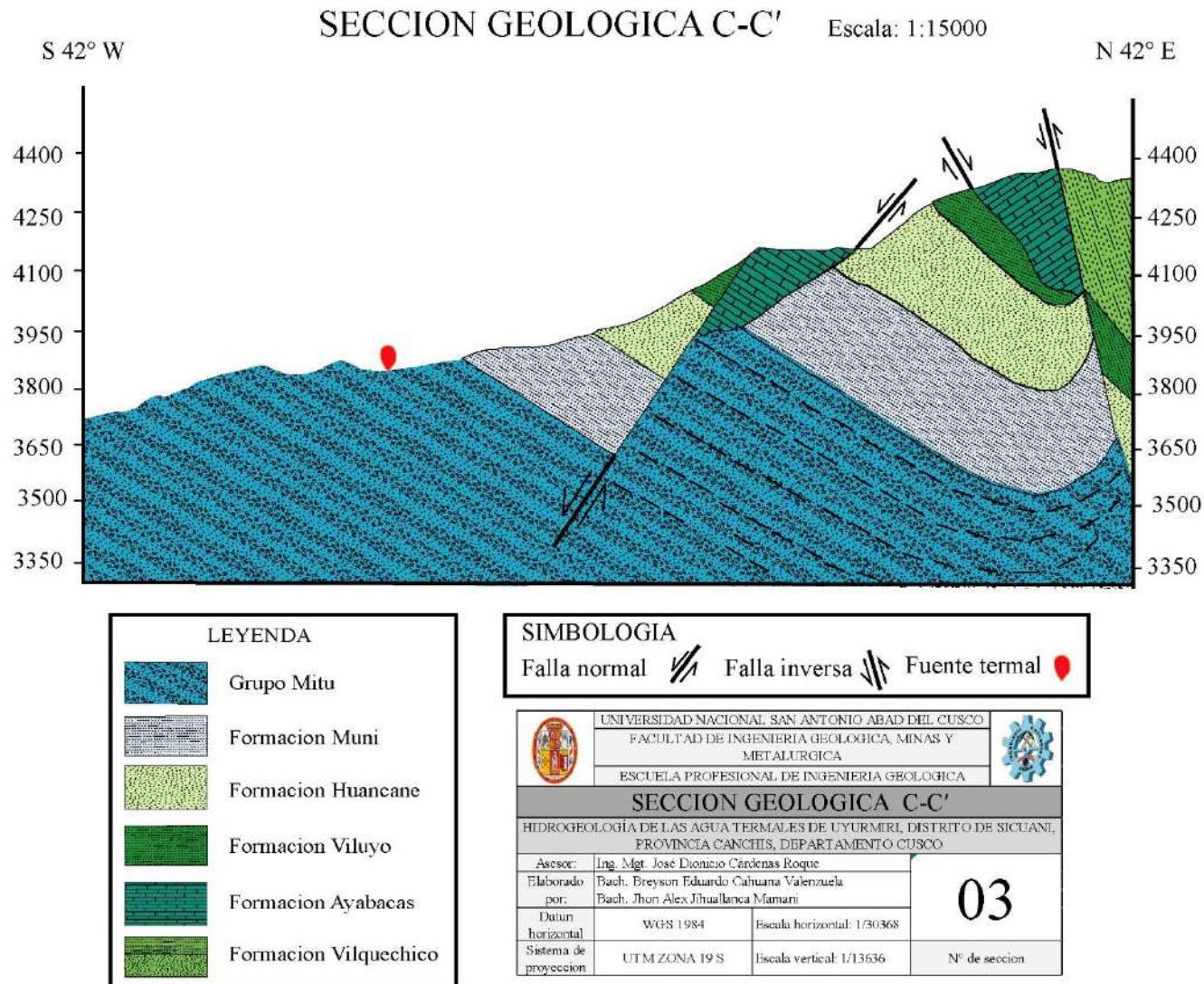
LEYENDA	
	Formacion Huancane
	Formacion Viluyo
	Formacion Ayabacas
	Formacion Vilquechico

SIMBOLOGIA	
Falla normal	
Falla inversa	
Fuente termal	

	UNIVERSIDAD NACIONAL, SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
SECCION GEOLOGICA B-B'			
HIDROGEOLOGÍA DE LAS AGUA TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO			
Asesor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cardenas Roque		02
Elaborado por:	Bach. Breyson Eduardo Cahuana Valenzuela Bach. Jhon Alex Jhualanca Mamani		
Datum horizontal	WGS 1984	Escala horizontal: 1/11577	
Sistema de proyeccion	UTM ZONA 19 S	Escala vertical: 1/10172	Nº de seccion

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30 Seccion Geologica C-C'



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: HIDROLOGIA

4.1 UBICACIÓN HIDROGRAFICA DE LA CUENCA

Para la ubicación de nuestra cuenca hidrográfica de Uyurmiri se empleó el criterio de Otto Pfafstetter que describe la topología de las cuencas y es muy importante porque podemos identificar, sub cuencas (de varios niveles) dentro de otras cuencas; el criterio que se usa en el sistema de codificación Pfafstetter es clasificar cuencas, intercuenas y cuencas internas.

De acuerdo a la codificación Pfafstetter el Perú se encuentra en 3 cuencas de Sudamérica, las cuales corresponden al primer nivel, Cuenca interna del Titicaca código 0), Intercuenca del Pacífico (Código 1), Cuenca del Amazonas (código 4). La cuenca Uyurmiri se encuentra dentro de la cuenca de las Amazonas por lo que tiene la siguiente codificación. (ver tabla 4.1)

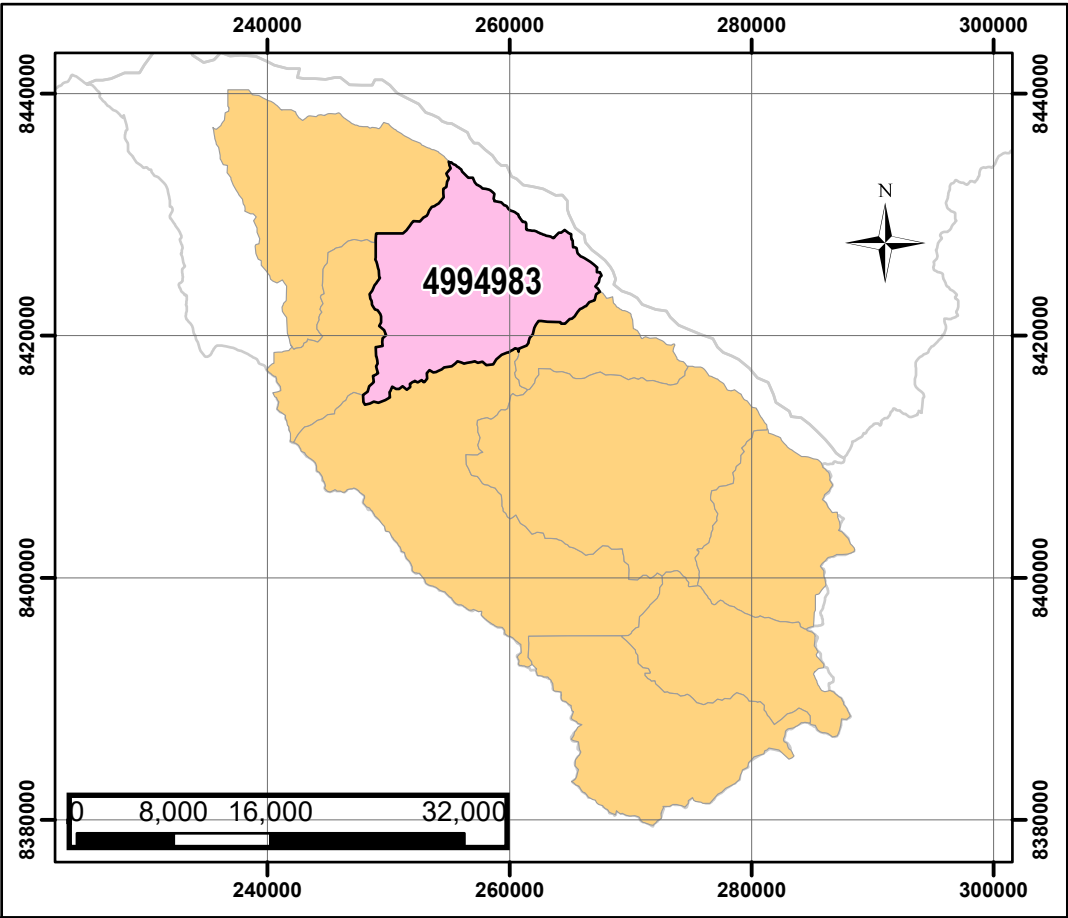
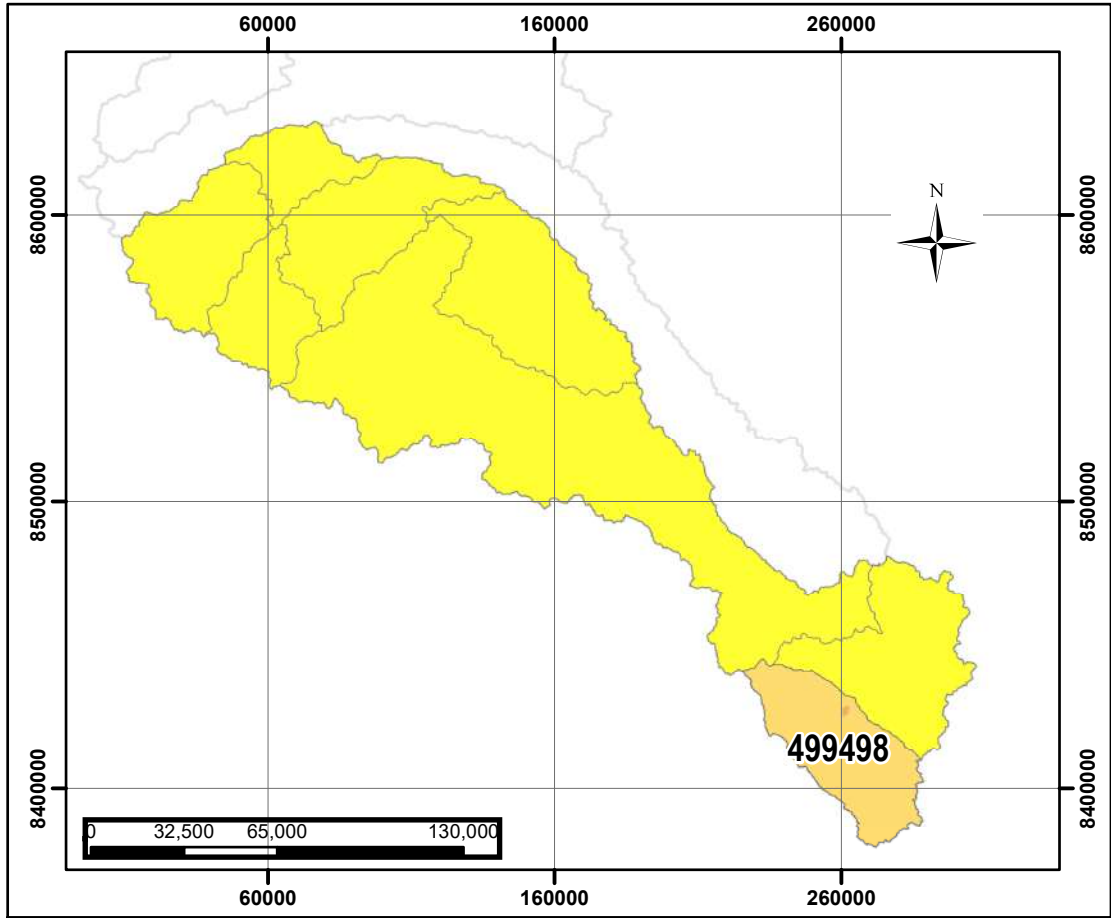
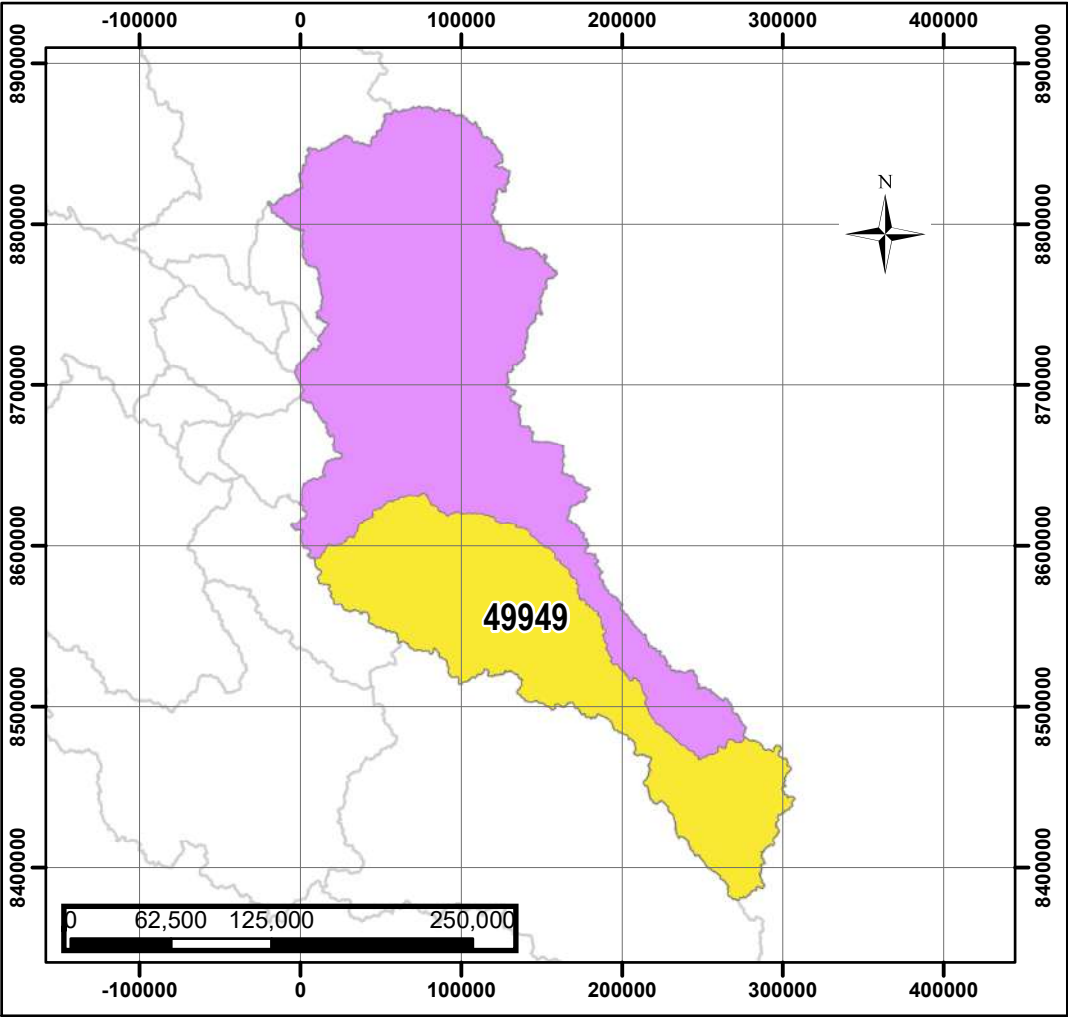
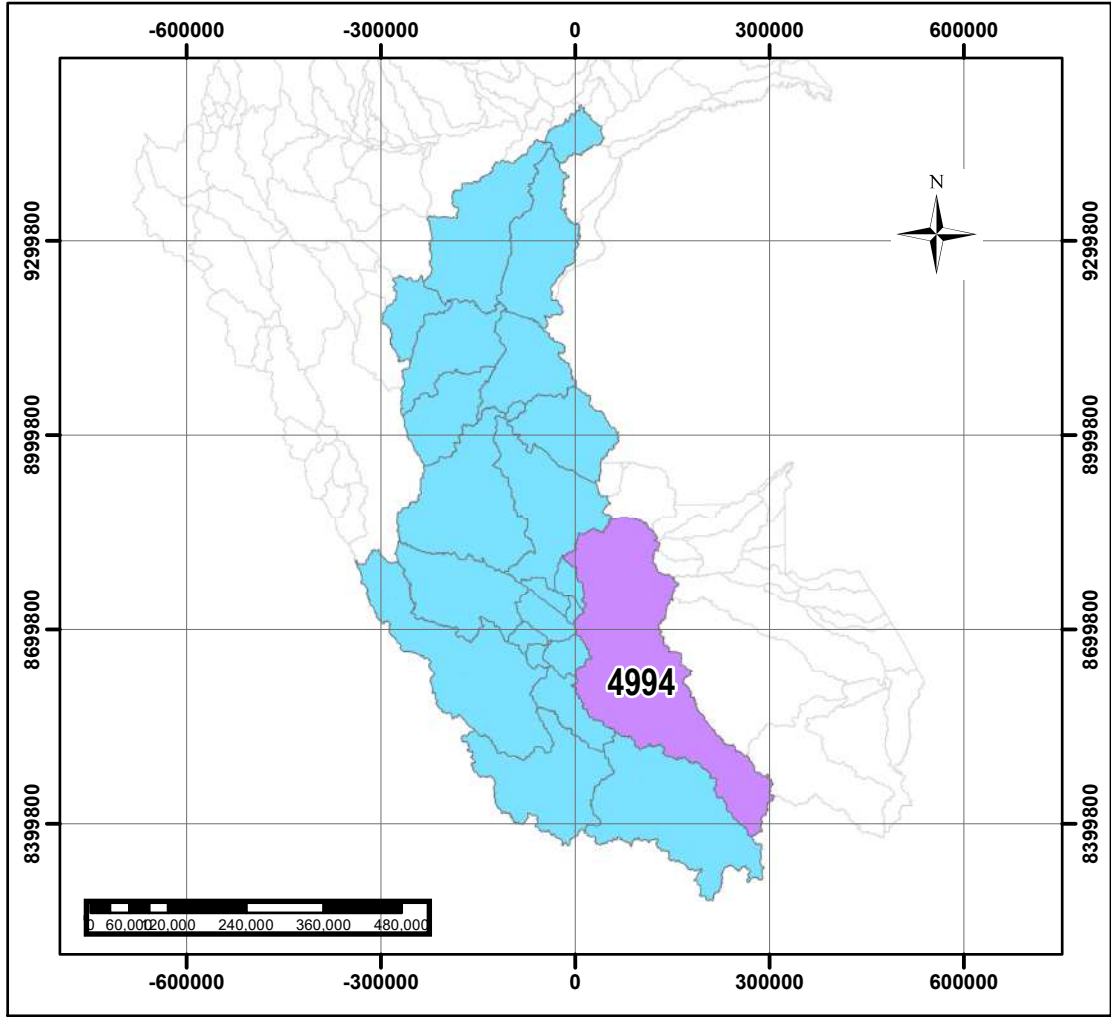
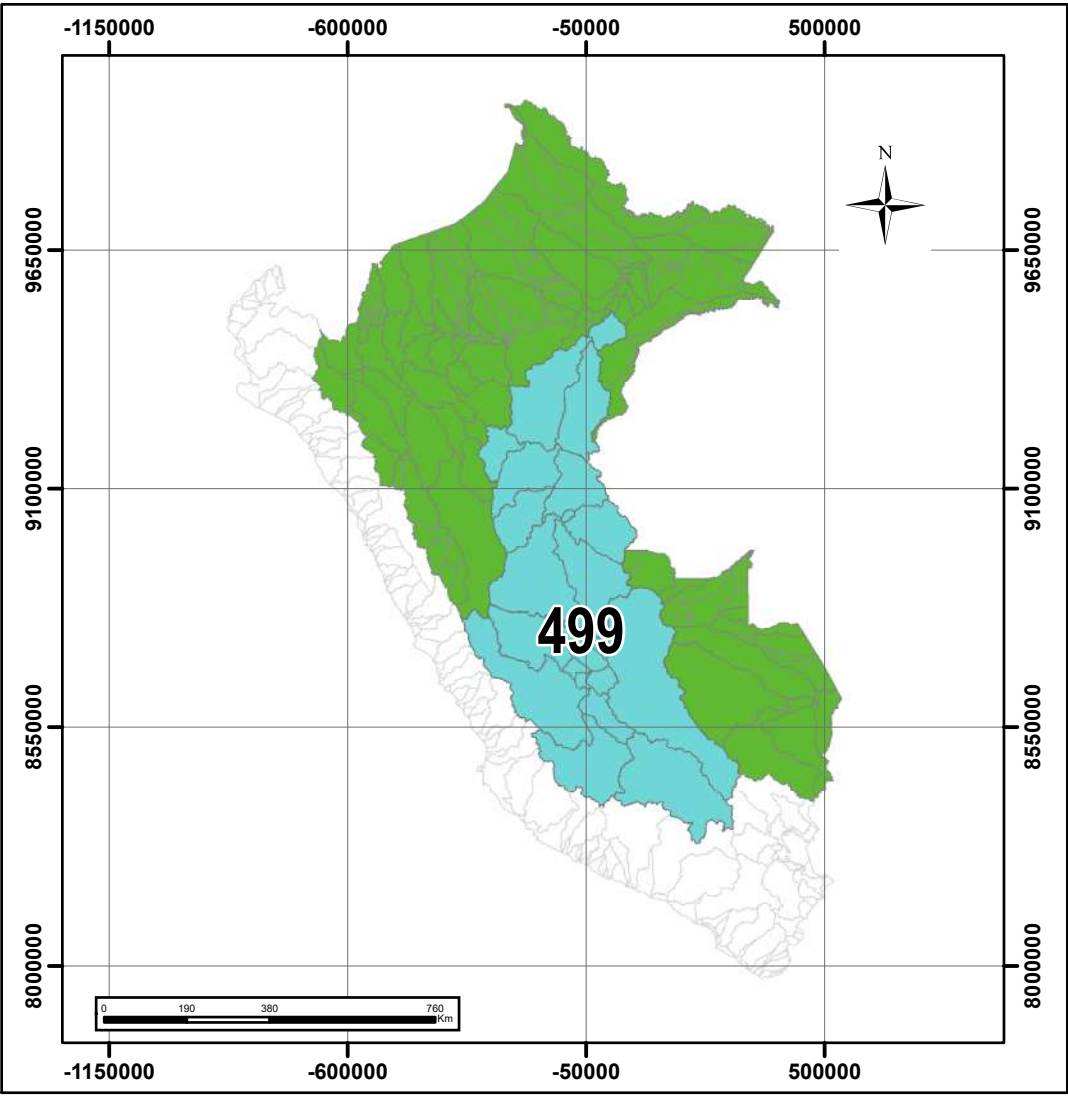
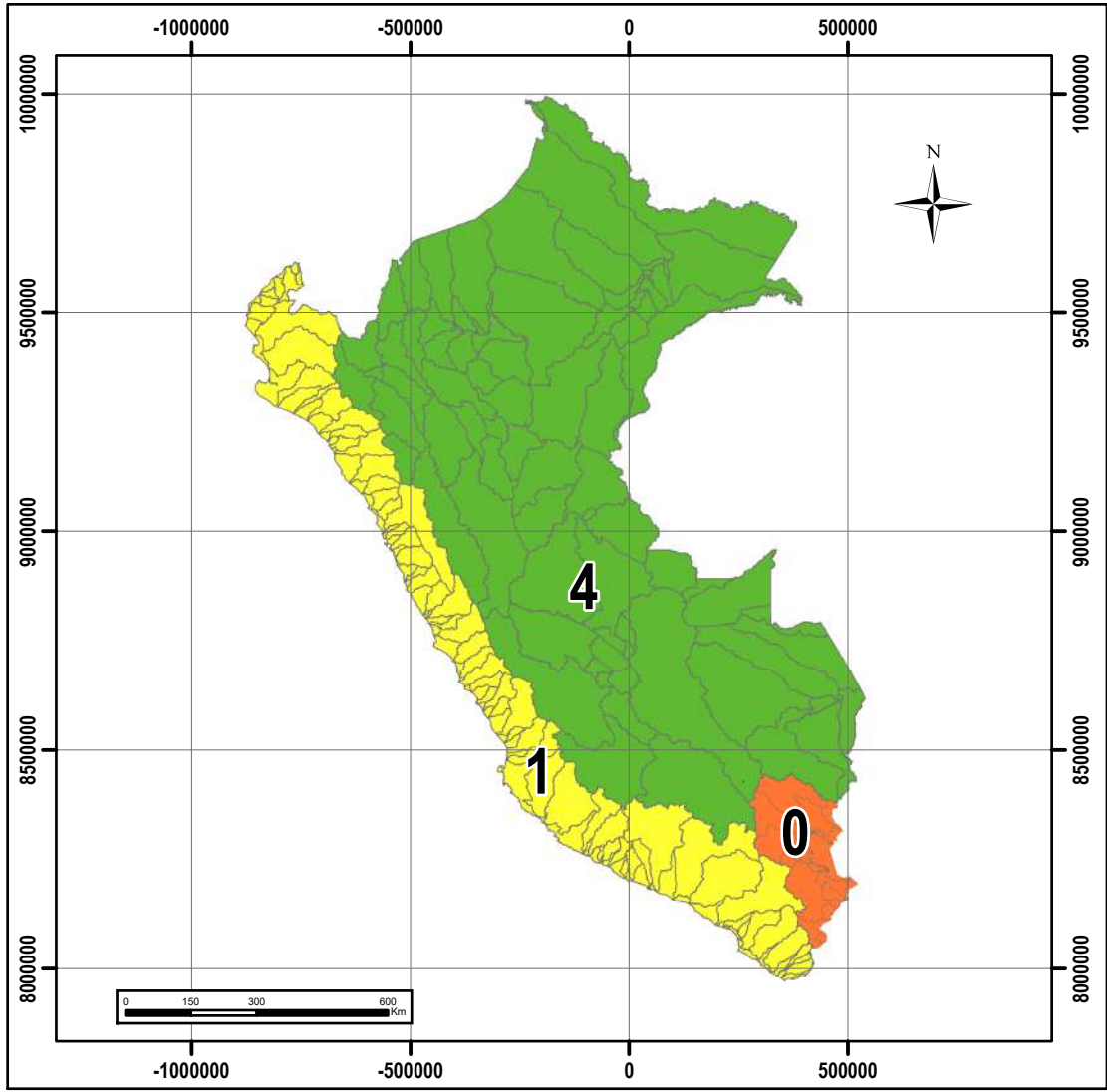
Tabla 4.1 Codificación de la cuenca Uyurmiri según Pfafstetter

Unidad	Nivel	Nombre	Codificación
Cuenca mayor	Primer nivel	Región hidrográfica del Amazonas	4
Vertiente	Segundo nivel	Cuenca cabecera del río Amazonas	49
Gran cuenca	Tercer nivel	Cuenca del río Ucayali	499
Cuenca	Cuarto nivel	Cuenca del río Urubamba	4994
Sub cuenca	Quinto nivel	Cuenca del alto Urubamba	49949
Microcuenca	Sexto nivel	Cuenca de la quebrada Uscapata	499498
Quebrada	Séptimo nivel	Cuenca de la cabecera del río Vilcanota	4994983
Micro quebrada	Octavo nivel	Cuenca del río Torcoma	49949836
Cuenca	Noveno nivel	Cuenca del río Oscuna	499498362

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Mapa ubicacion hidrografica de la cuenca Uyurmiri hasta el septimo nivel

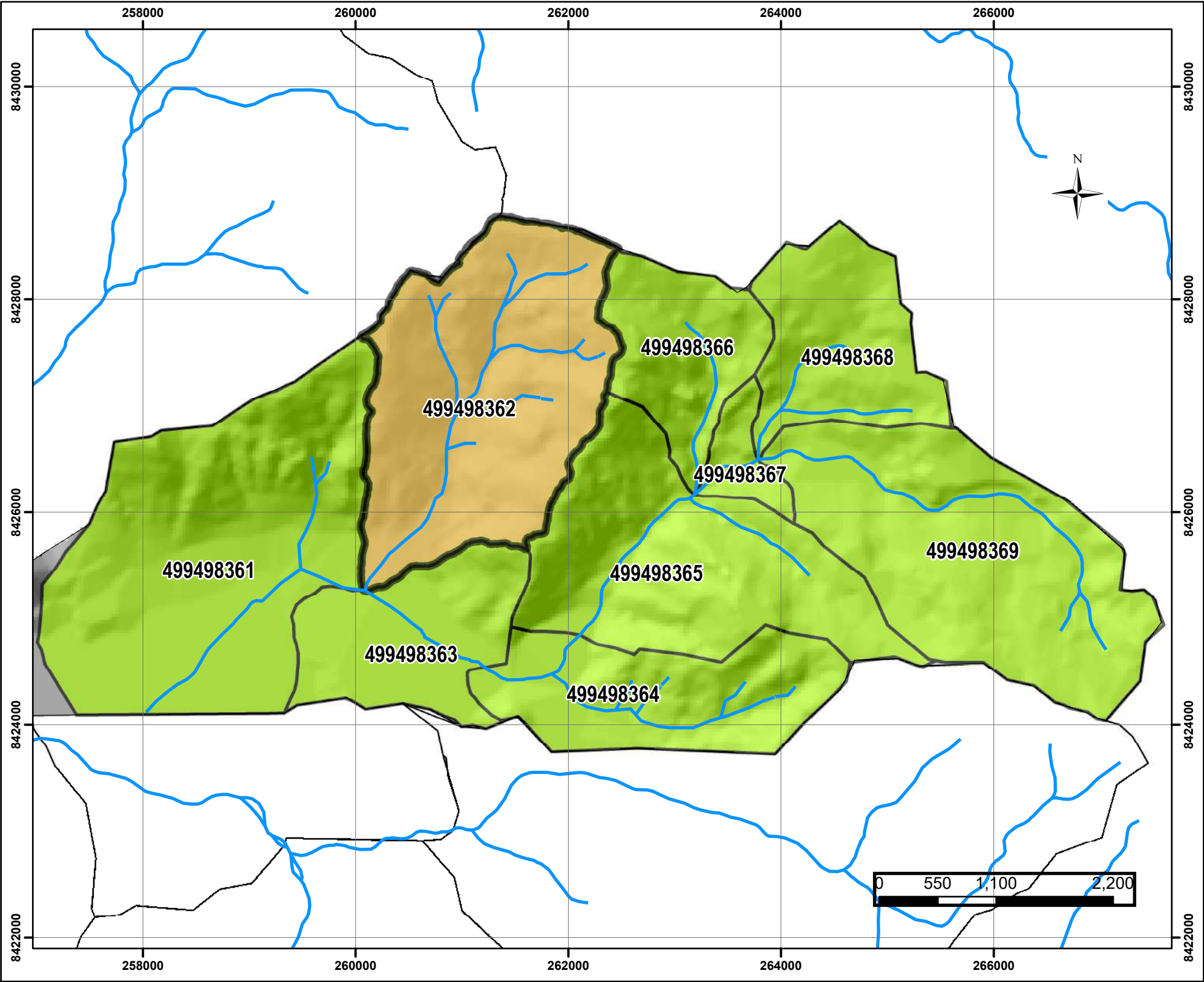
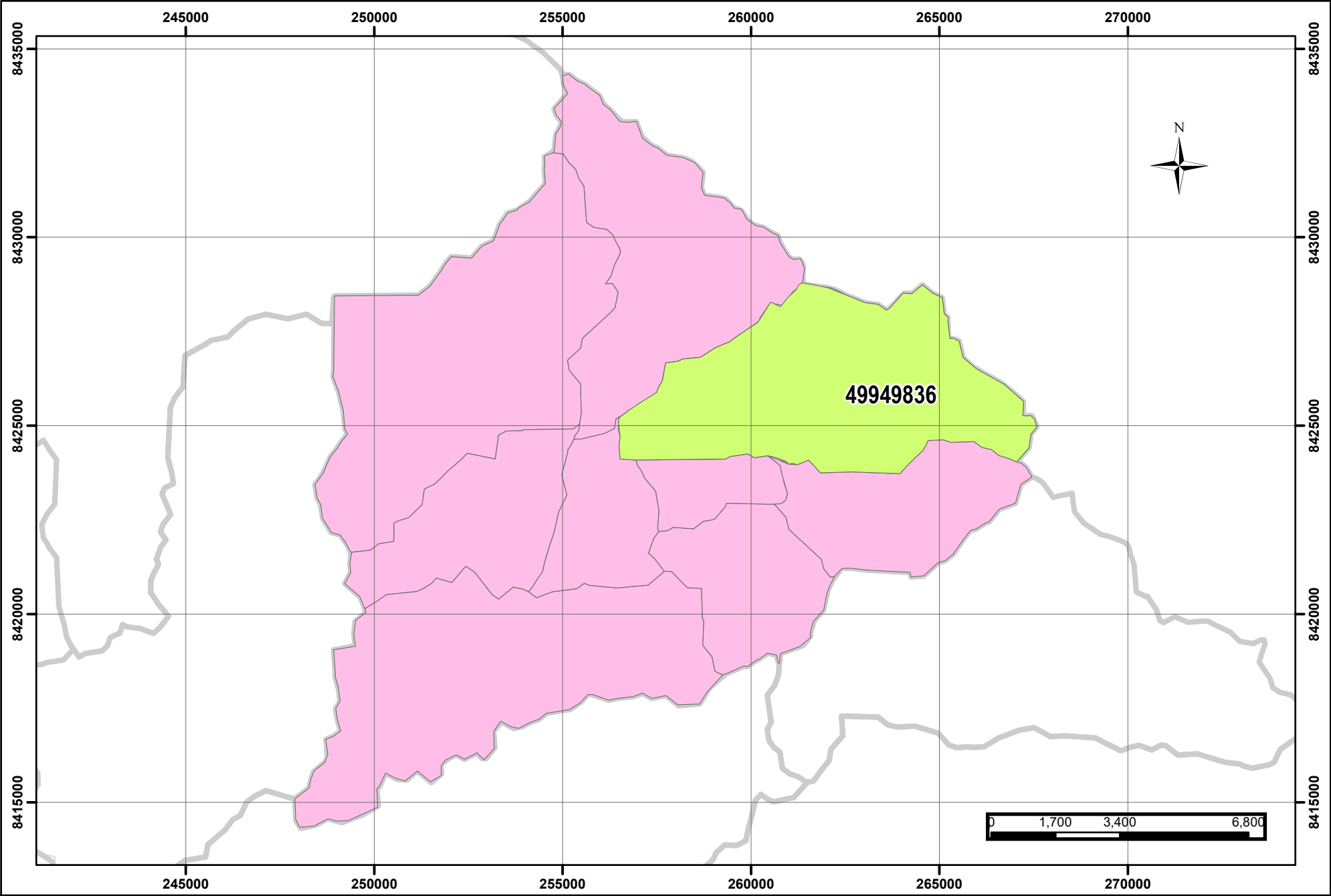
CODIFICACION PFAFSTETTER



Fuente: Modificado en base a los datos de las cartas nacionales

Figura 4.2. Mapa de ubicacion hidrografica de la cuenca Uyurmiri hasta el noveno nivel

CODIFICACION PFAFSTETTER



Fuente: Modificado de los datos de cartas nacionales

4.2 MORFOMETRIA DE LA CUENCA

4.2.1 PARAMETROS GENERALES

Para describir los parámetros generales se realizó según Ibáñez et al. (2011), lo cual nos ayudara a la caracterización hidrológica de la cuenca Uyurmiri, tomando en cuenta parámetros como la geometría, centroides y altitudes de la cuenca.

Tabla 4.2 Parámetros generales de la cuenca

Datos de la cuenca		
Geometría		
Área	Km ²	5.88
Perímetro	km	10.12
Ancho	km	2.27
Largo	km	3.99
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	3626
Cota máxima	msnm	4484
Coordenadas		
Centroide X	m	261180.15
Centroide Y	m	8427115.43
Centroide Z	msnm	4109.80
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	4109.80
Altitud más frecuente	msnm	4300.00
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	4116.90

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 PARAMETROS DE FORMA

Los parámetros de forma de una cuenca hidrológica son medidas o coeficientes numéricos que usaremos para caracterizar la geometría y la morfología de la cuenca (Índice de Gravelious, rectángulos equivalentes), estos parámetros nos proporcionaran información sobre cómo está configurado la cuenca y como podría comportarse hidrológicamente; como bien sabemos los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía y la forma que presentan las cuencas hidrológicas.

Tabla 4.3 Parámetros de forma de la cuenca

Parámetros geomorfológicos de la cuenca			
Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor Forma	F	0.57	S/N
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.17	S/N
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	3.26	km
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	l	1.81	km
Densidad de Drenaje	Dd	3.09	u/km ²
Índice de pendiente	Ip	1.54	S/N

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 PARAMETROS DE RELIEVE

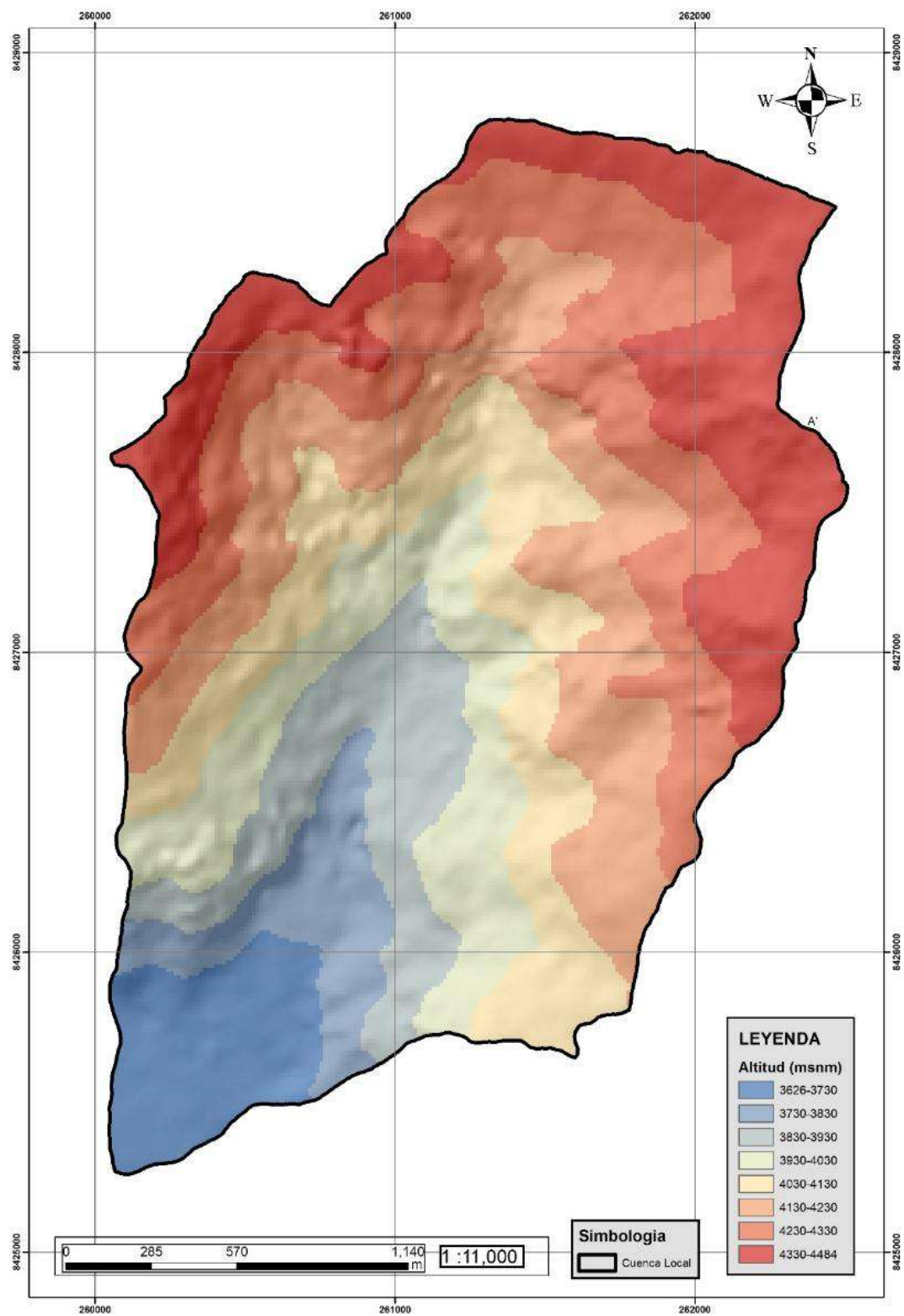
Son medidas que describe las características topográficas y altimétricas de la cuenca hidrológica, estos parámetros proporcionan información muy importante de como el relieve influye en el comportamiento de la cuenca; en términos generales se puede decir que a mayor pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempos menores.

Tabla 4.4 Áreas parciales de la cuenca Uyurmiri

Min	Max	Promedio	Área (Km ²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Área en %	Área Sobre la Curva (%)
3626	3730	3678	0.39	0.39	5.50	6.66	93.34
3730	3830	3780	0.34	0.73	5.15	5.81	87.52
3830	3930	3880	0.56	1.30	4.59	9.53	77.99
3930	4030	3980	0.68	1.98	3.91	11.62	66.37
4030	4130	4080	0.80	2.78	2.14	13.53	52.84
4130	4230	4180	0.98	3.75	2.14	16.57	36.27
4230	4330	4280	1.08	4.84	1.05	18.40	17.87
4330	4484	4407	1.05	5.89	0.00	17.87	0.00
Total			5.888037		100		

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Áreas parciales de la cuenca Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1 PENDIENTE DE LA CUENCA

La pendiente de la cuenca hidrológica es una medida primordial que nos indica el grado de inclinación de la cuenca en relación con el flujo de agua. Esto se realizó en base a las 8 áreas parciales que se desarrolló anteriormente.

Tabla 4.5 Pendiente media de la cuenca Uyurmiri

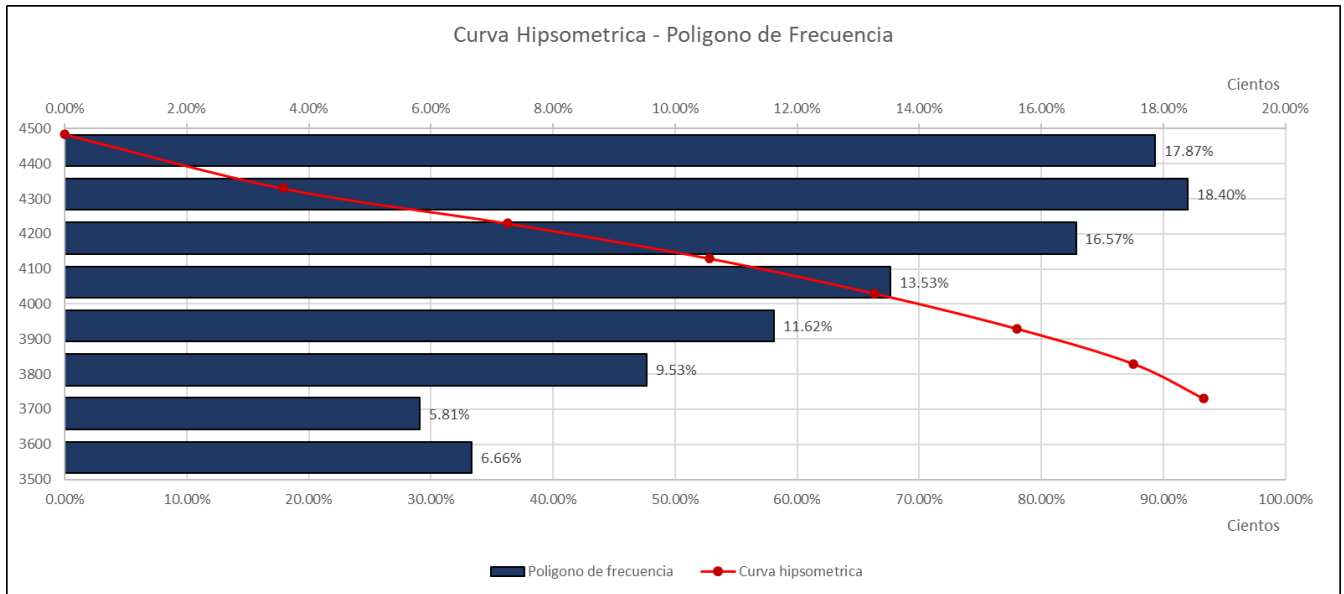
Pendiente de la cuenca				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	4773	23865
10	20	15	11121	166815
20	30	25	12344	308600
30	40	35	6625	231875
40	50	45	1954	87930
50	60	55	607	33385
60	70	65	167	10855
70	80	75	56	4200
80	90	85	28	2380
90	100	95	14	1330
Total			37689	871235
Pendiente promedio de la cuenca			23.11642654	

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2 CURVA HIPSOMETRICA Y POLIGONO DE FRECUENCIA

La curva hipsométrica es un gráfico que ilustra cómo se distribuyen las altitudes en una cuenca hidrográfica. En la cuenca hidrográfica Uyurmiri, esta curva indica que se encuentra en una fase madura (en equilibrio). En cuanto al polígono de frecuencia, se observa que la menor área (5.81%) corresponde a una altitud de 3700 msnm, mientras que la mayor área (18.40%) se localiza a una altitud de 4300 msnm.

Figura 4.4 Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3 CARACTERISTICAS DE LA RED DE DRENAJE

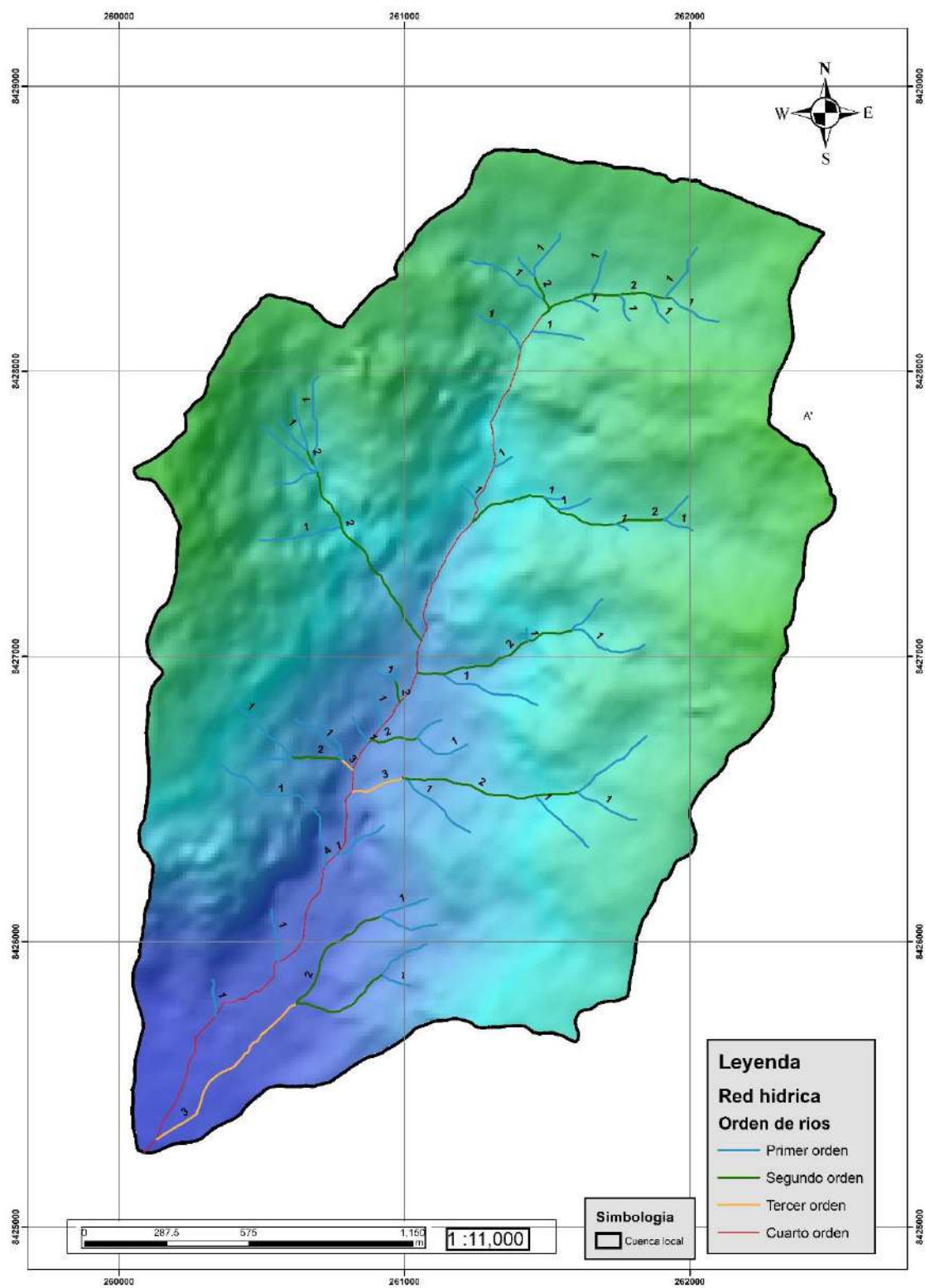
La clasificación de los drenajes nos permite comprender la evolución y complejidad del sistema de drenaje de una cuenca. El caudal relativo de un tramo del canal influye en su orden (Ibáñez et al., 2011). Para jerarquizar la red fluvial, se emplea el método de Strahler (1952).

Tabla 4.6 Hidrografía de la cuenca Uyurmiri

Hidrografía de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A *B
1	50	9.19	973.36	31.58	30738.7088
2	16	4.59	507.19	25.91	13141.2929
3	3	0.94	389.7	21.87	8521.45299
4	1	3.46	126.8	17.48	2216.10896
Longitud Total		18.19	1997.05		54617.56365
Pendiente promedio				27.34912178	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Hidrografía de la cuenca Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.4 PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO OSCCUNA

El perfil longitudinal del río principal en la zona de estudio corresponde a un drenaje de cuarto orden y presenta una diferencia de altitud de 575 m, desde su origen a 4158 msnm hasta su desembocadura a 3583 msnm (ver figura 4.5). Este perfil se elaboró mediante la interpolación de las altitudes de la línea de drenaje que representa al río principal, utilizando el modelo de elevación digital (DEM) en el software ArcGIS.

Figura 4.6 Pendiente del río Osccuna



Fuente: Elaboración propia

4.3 INFORMACION HIDROMETEREOLOGICA

Los datos hidrometeorológicos están relacionados a fenómenos atmosféricos y procesos hidrológicos, estos datos de precipitación y temperatura han sido obtenidos en la base de datos del Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología (SENAMNHI), por lo que se usó la estación más cercana a nuestra zona de estudio para tener datos más verídicos (Estación Sicuani); se tuvo en cuenta también estaciones circundantes y próximas a nuestra zona de estudio para la complementación de datos meteorológicos (Estación Combapata y La Raya).

Tabla 4.7 Coordenadas de la estación meteorológica Sicuani

Estación meteorológica Sicuani				
Departamento	Cusco	Latitud	14°14'14.5"	Código
Provincia	Canchis	Longitud	71°14'12.1"	
Distrito	Sicuani	Altitud	3534msnm	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Ubicación de la estación Sicuani con referencia a la zona de estudio



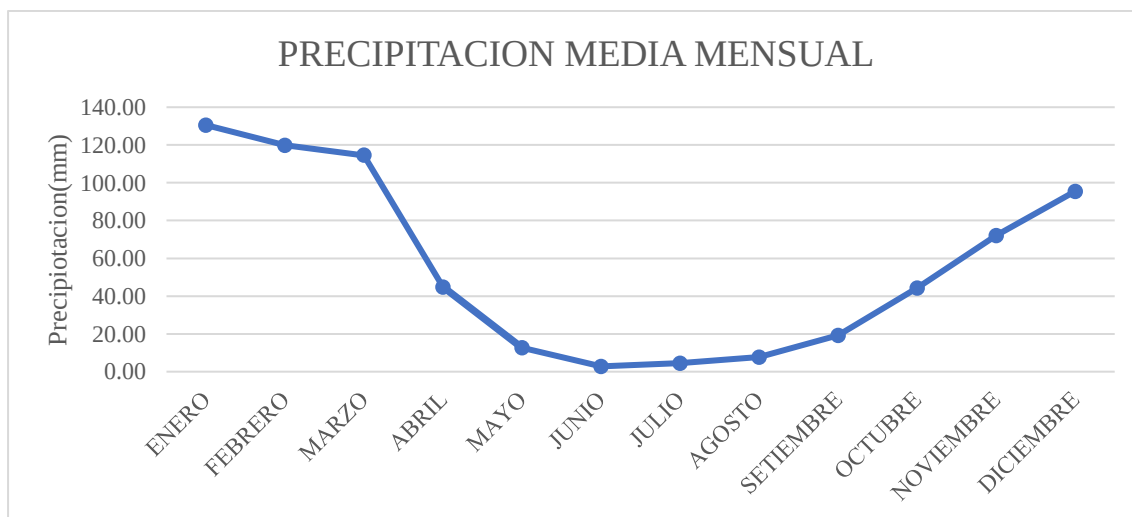
Fuente: Google Earth, modificado por los interesados

4.3.1 PRECIPITACION(P)

4.3.1.1 ANALISIS DE PRECIPITACION

Para estimar los datos de precipitación de la cuenca Uyurmiri, se utilizaron los registros de precipitación mensual de la estación Sicuani, debido a su proximidad con la cuenca. Sin embargo, es importante señalar que, para un análisis más preciso, se deben incorporar datos de estaciones adicionales cercanas, como las de Combapata y La Raya, con el fin de mejorar la confiabilidad de la información.

Figura 4.8 Diagrama de precipitación media mensual de la Estación Sicuani



Fuente: Elaboración propia

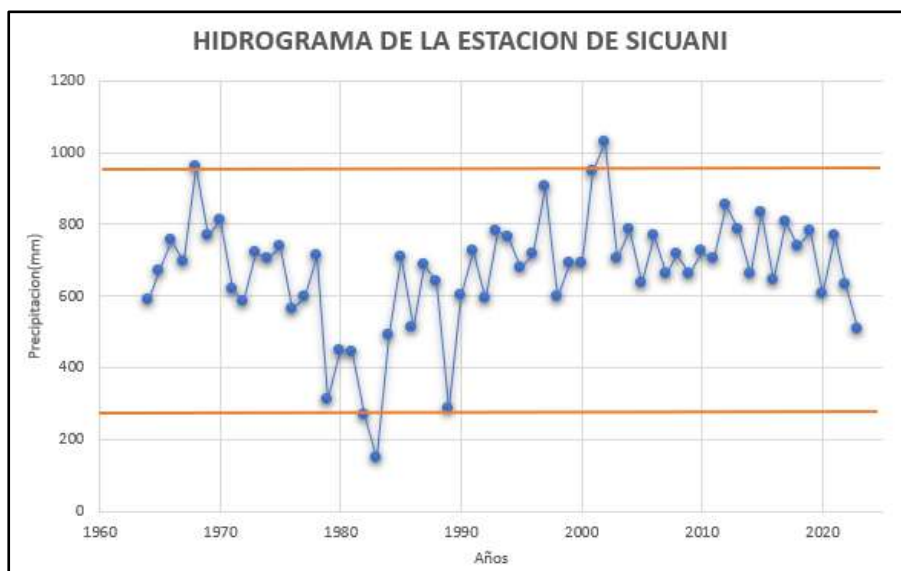
4.3.1.2 ANALISIS DE CONSISTENCIA

El análisis de consistencia se centra en identificar datos que no son homogéneos, para comprender y corregir aquellos incoherentes y evitar posibles sesgos sistemáticos. Para reconocer y caracterizar los datos no homogéneos en una serie hidrometeorológica, se utiliza el método de análisis de consistencia propuesto por Villon Béjar (2006). Este análisis de consistencia de los datos de precipitación se lleva a cabo en tres etapas: Análisis gráfico visual, Análisis de doble masa y Análisis estadístico, con el objetivo de obtener una serie de datos confiable, homogénea y consistente.

4.3.1.2.1 ANALISIS VISUAL GRAFICO

Para realizar el análisis visual gráfico de la precipitación de la cuenca Uyurmiri, se trabajó con los datos recolectados de SENAMHI de la estación Sicuani, donde se graficó la precipitación anual que va desde el año 1964 hasta el año 2023, con respecto al periodo correspondiente; el objetivo de este análisis es encontrar picos y saltos de la precipitación anual con respecto a los datos homogéneos y evaluar si son datos muy altos o muy bajos respectivamente.

Figura 4.9 Series históricas de la estación Sicuani



Nota: En el hidrograma se puede observar un aumento significativo en el año 2002, con una precipitación de 1028.7 mm, y una disminución notable en el año 1983, con una precipitación de 150.6 mm. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2.2 ANALISIS DE DOBLE MASA

El análisis de doble masa nos da información sobre la confiabilidad de los datos de precipitación, para realizar el análisis se reconoce los datos no homogéneos o erróneos que se

produjo durante la recolección de datos, estos se manifestaran como quiebres en la curva de doble masa que se presentan en el diagrama; para el reconocimiento de datos recolectados con mayor consistencia será aquella estación que presenta menos quiebres en el histograma; cabe resaltar que en este análisis se mencionan los datos erróneos mediante los quiebres mas no se hace la corrección de datos.

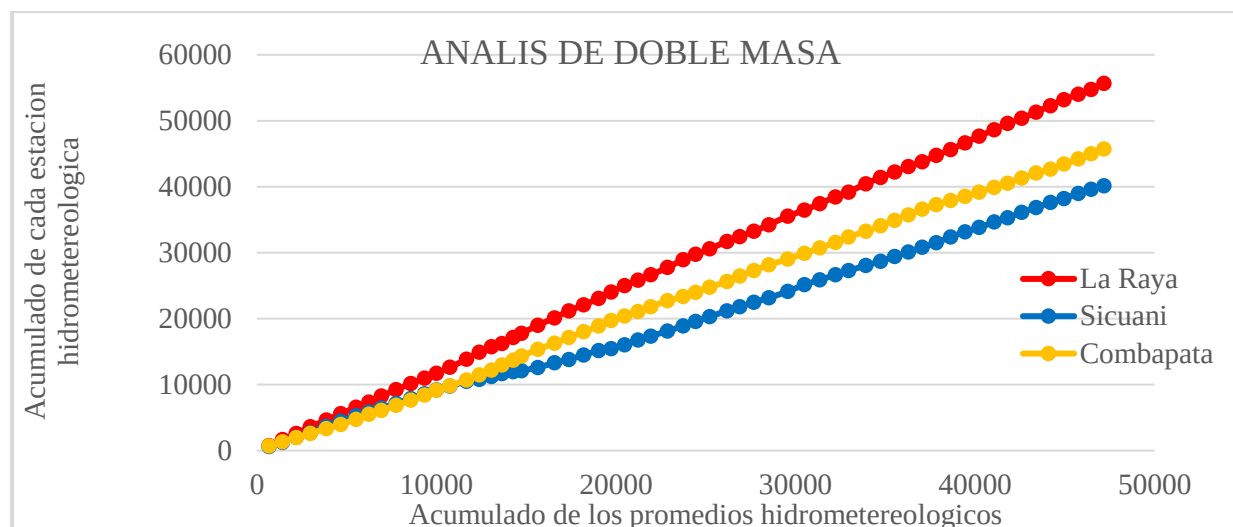
Tabla 4.8 Acumulado anual de cada estación Hidrometereológica de cada estación

Año	La Raya		Sicuani		Combapata		Promedio	
	PP anual	PP acumulado	PP anual	PP acumulado	PP anual	PP acumulado	PP anual	PP acumulado
1964	730.60	730.60	588.70	588.70	682.80	682.80	667.37	667.37
1965	951.60	1682.20	669.10	1257.80	630.80	1313.60	750.50	1417.87
1966	902.60	2584.80	753.47	2011.27	624.60	1938.20	760.22	2178.09
1967	1020.20	3605.00	695.30	2706.57	661.20	2599.40	792.23	2970.32
1968	1005.70	4610.70	960.50	3667.07	714.50	3313.90	893.57	3863.89
1969	980.00	5590.70	766.10	4433.17	647.60	3961.50	797.90	4661.79
1970	960.60	6551.30	809.70	5242.87	788.90	4750.40	853.07	5514.86
1971	775.00	7326.30	616.64	5859.51	734.10	5484.50	708.58	6223.44
1972	931.80	8258.10	583.80	6443.31	619.90	6104.40	711.83	6935.27
1973	965.50	9223.60	721.10	7164.41	736.80	6841.20	807.80	7743.07
1974	938.70	10162.30	704.52	7868.93	804.90	7646.10	816.04	8559.11
1975	804.10	10966.40	737.70	8606.63	778.70	8424.80	773.50	9332.61
1976	727.80	11694.20	563.80	9170.43	697.00	9121.80	662.87	9995.48
1977	934.30	12628.50	596.40	9766.83	721.50	9843.30	750.73	10746.21
1978	1215.70	13844.20	713.10	10479.93	854.00	10697.30	927.60	11673.81
1979	1063.30	14907.50	313.40	10793.33	755.00	11452.30	710.57	12384.38
1980	845.70	15753.20	448.00	11241.33	733.50	12185.80	675.73	13060.11
1981	493.40	16246.60	444.80	11686.13	808.20	12994.00	582.13	13642.24
1982	915.60	17162.20	266.60	11952.73	685.50	13679.50	622.57	14264.81
1983	603.60	17765.80	150.60	12103.33	631.90	14311.40	462.03	14726.84
1984	1213.30	18979.10	489.79	12593.12	1026.20	15337.60	909.76	15636.61
1985	1134.20	20113.30	707.13	13300.25	940.50	16278.10	927.28	16563.88
1986	1063.70	21177.00	513.91	13814.16	846.00	17124.10	807.87	17371.75
1987	908.60	22085.60	686.60	14500.76	882.60	18006.70	825.93	18197.69
1988	969.40	23055.00	639.87	15140.63	861.80	18868.50	823.69	19021.38
1989	994.60	24049.60	286.11	15426.74	855.20	19723.70	711.97	19733.35
1990	938.80	24988.40	601.32	16028.06	680.00	20403.70	740.04	20473.39
1991	835.30	25823.70	726.54	16754.60	691.10	21094.80	750.98	21224.37
1992	818.40	26642.10	594.82	17349.42	722.00	21816.80	711.74	21936.11
1993	1114.30	27756.40	782.10	18131.52	895.60	22712.40	930.67	22866.77
1994	1187.40	28943.80	763.10	18894.62	636.20	23348.60	862.23	23729.01
1995	790.90	29734.70	678.30	19572.92	636.70	23985.30	701.97	24430.97

1996	834.30	30569.00	715.80	20288.72	790.20	24775.50	780.10	25211.07
1997	1139.90	31708.90	905.30	21194.02	840.30	25615.80	961.83	26172.91
1998	732.90	32441.80	597.50	21791.52	843.20	26459.00	724.53	26897.44
1999	812.10	33253.90	690.00	22481.52	822.50	27281.50	774.87	27672.31
2000	977.30	34231.20	690.00	23171.52	873.30	28154.80	846.87	28519.17
2001	1291.70	35522.90	947.70	24119.22	872.50	29027.30	1037.30	29556.47
2002	918.60	36441.50	1028.70	25147.92	861.50	29888.80	936.27	30492.74
2003	986.70	37428.20	705.70	25853.62	840.90	30729.70	844.43	31337.17
2004	1018.50	38446.70	784.30	26637.92	823.70	31553.40	875.50	32212.67
2005	745.10	39191.80	635.50	27273.42	833.30	32386.70	737.97	32950.64
2006	1258.20	40450.00	769.40	28042.82	842.30	33229.00	956.63	33907.27
2007	944.20	41394.20	663.00	28705.82	846.30	34075.30	817.83	34725.11
2008	813.30	42207.50	716.50	29422.32	840.50	34915.80	790.10	35515.21
2009	842.60	43050.10	661.90	30084.22	826.50	35742.30	777.00	36292.21
2010	730.60	43780.70	723.00	30807.22	835.30	36577.60	762.97	37055.17
2011	951.60	44732.30	705.40	31512.62	682.80	37260.40	779.93	37835.11
2012	902.60	45634.90	851.70	32364.32	630.80	37891.20	795.03	38630.14
2013	1020.20	46655.10	786.40	33150.72	624.60	38515.80	810.40	39440.54
2014	1005.70	47660.80	660.50	33811.22	661.20	39177.00	775.80	40216.34
2015	980.00	48640.80	830.30	34641.52	714.50	39891.50	841.60	41057.94
2016	960.60	49601.40	646.00	35287.52	647.60	40539.10	751.40	41809.34
2017	775.00	50376.40	808.10	36095.62	788.90	41328.00	790.67	42600.01
2018	931.80	51308.20	737.00	36832.62	734.10	42062.10	800.97	43400.97
2019	965.50	52273.70	779.60	37612.22	619.90	42682.00	788.33	44189.31
2020	938.70	53212.40	606.20	38218.42	736.80	43418.80	760.57	44949.87
2021	804.10	54016.50	769.70	38988.12	804.90	44223.70	792.90	45742.77
2022	727.80	54744.30	630.29	39618.41	778.70	45002.40	712.26	46455.04
2023	934.30	55678.60	508.30	40126.71	697.00	45699.40	713.20	47168.24

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Diagrama de análisis de doble masa estación Sicuani, Combapata, La Raya



Nota: Se observa la mayor consistencia. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2.3 ANALISIS ESTADISTICOS

Para realizar el análisis estadístico, es fundamental primero llevar a cabo el análisis visual y el análisis de doble masa, mediante los cuales identificaremos los datos incorrectos o no homogéneos, para luego proceder con la corrección correspondiente. Esta corrección se realiza utilizando la media de las tres estaciones, considerando además la pendiente de variación de los datos no homogéneos.

4.3.1.2.4 ANALISIS DE SALTOS

Determinación de datos invertidos. Para el análisis de saltos de la estación Sicuani, primero se calcula la precipitación anual acumulada de manera invertido (2023-1964) de las 3 estaciones: Estación Sicuani, Combapata y La Raya. En relación a la curva de doble masa, se hace el cálculo de la media o el promedio aritmético donde la curva está en función a la precipitación acumulada de la estación de Sicuani y el promedio de las precipitaciones acumuladas de las 3 estaciones.

Tabla 4.9 Precipitaciones acumuladas invertidas (2023-1964)

Datos invertidos corregidos								
Año	Sicuani PP. Anual	La Raya PP. Anual	Combapata PP. Anual	Año	Sicuani PP. Anual	La Raya PP. Anual	Combapata PP. Anual	Media
1964	588.7	730.6	682.8	2023	508.3	934.3	697	713.2
1965	669.1	951.6	630.8	2022	1138.59	1662.1	1475.7	1425.4633
1966	753.47	902.6	624.6	2021	1908.29	2466.2	2280.6	2218.3633
1967	695.3	1020.2	661.2	2020	2514.49	3404.9	3017.4	2978.93

1968	960.5	1005.7	714.5	2019	3294.09	4370.4	3637.3	3767.2633
1969	766.1	980	647.6	2018	4031.09	5302.2	4371.4	4568.23
1970	809.7	960.6	788.9	2017	4839.19	6077.2	5160.3	5358.8967
1971	616.64	775	734.1	2016	5485.19	7037.8	5807.9	6110.2967
1972	583.8	931.8	619.9	2015	6315.49	8017.8	6522.4	6951.8967
1973	721.1	965.5	736.8	2014	6975.99	9023.5	7183.6	7727.6967
1974	704.52	938.7	804.9	2013	7762.39	10043.7	7808.2	8538.0967
1975	737.7	804.1	778.7	2012	8614.09	10946.3	8439	9333.13
1976	563.8	727.8	697	2011	9319.49	11897.9	9121.8	10113.063
1977	596.4	934.3	721.5	2010	10042.49	12628.5	9957.1	10876.03
1978	713.1	1215.7	854	2009	10704.39	13471.1	10783.6	11653.03
1979	313.4	1063.3	755	2008	11420.89	14284.4	11624.1	12443.13
1980	448	845.7	733.5	2007	12083.89	15228.6	12470.4	13260.963
1981	444.8	493.4	808.2	2006	12853.29	16486.8	13312.7	14217.597
1982	266.6	915.6	685.5	2005	13488.79	17231.9	14146	14955.563
1983	150.6	603.6	631.9	2004	14273.09	18250.4	14969.7	15831.063
1984	489.79	1213.3	1026.2	2003	14978.79	19237.1	15810.6	16675.497
1985	707.13	1134.2	940.5	2002	16007.49	20155.7	16672.1	17611.763
1986	513.91	1063.7	846	2001	16955.19	21447.4	17544.6	18649.063
1987	686.6	908.6	882.6	2000	17645.19	22424.7	18417.9	19495.93
1988	639.87	969.4	861.8	1999	18335.19	23236.8	19240.4	20270.797
1989	286.11	994.6	855.2	1998	18932.69	23969.7	20083.6	20995.33
1990	601.32	938.8	680	1997	19837.99	25109.6	20923.9	21957.163
1991	726.54	835.3	691.1	1996	20553.79	25943.9	21714.1	22737.263
1992	594.82	818.4	722	1995	21232.09	26734.8	22350.8	23439.23
1993	782.1	1114.3	895.6	1994	21995.19	27922.2	22987	24301.463
1994	763.1	1187.4	636.2	1993	22777.29	29036.5	23882.6	25232.13
1995	678.3	790.9	636.7	1992	23372.11	29854.9	24604.6	25943.87
1996	715.8	834.3	790.2	1991	24098.65	30690.2	25295.7	26694.85
1997	905.3	1139.9	840.3	1990	24861.014	31629	25975.7	27488.571
1998	597.5	732.9	843.2	1989	25223.749	32623.6	26830.9	28226.083
1999	690	812.1	822.5	1988	26034.987	33593	27692.7	29106.896
2000	690	977.3	873.3	1987	26905.471	34501.6	28575.3	29994.124
2001	947.7	1291.7	872.5	1986	27557.014	35565.3	29421.3	30847.871
2002	1028.7	918.6	861.5	1985	28453.526	36699.5	30361.8	31838.275
2003	705.7	986.7	840.9	1984	29196.711	37912.8	31388	32832.504
2004	784.3	1018.5	823.7	1983	29425.225	38516.4	32019.9	33320.508
2005	635.5	745.1	833.3	1982	29829.752	39432	32705.4	33989.051
2006	769.4	1258.2	842.3	1981	30504.671	39925.4	33513.6	34647.89
2007	663	944.2	846.3	1980	31184.447	40771.1	34247.1	35400.882
2008	716.5	813.3	840.5	1979	31659.986	41834.4	35002.1	36165.495

2009	661.9	842.6	826.5	1978	32742.012	43050.1	35856.1	37216.071
2010	723	730.6	835.3	1977	33317.45	43984.4	36577.6	37959.817
2011	705.4	951.6	682.8	1976	33861.435	44712.2	37274.6	38616.078
2012	851.7	902.6	630.8	1975	34573.208	45516.3	38053.3	39380.936
2013	786.4	1020.2	624.6	1974	35252.967	46455	38858.2	40188.722
2014	660.5	1005.7	661.2	1973	35948.723	47420.5	39595	40988.074
2015	830.3	980	714.5	1972	36512.004	48352.3	40214.9	41693.068
2016	646	960.6	647.6	1971	37106.972	49127.3	40949	42394.424
2017	808.1	775	788.9	1970	37888.214	50087.9	41737.9	43238.005
2018	737	931.8	734.1	1969	38627.389	51067.9	42385.5	44026.93
2019	779.6	965.5	619.9	1968	39554.131	52073.6	43100	44909.244
2020	606.2	938.7	736.8	1967	40224.994	53093.8	43761.2	45693.331
2021	769.7	804.1	804.9	1966	40951.982	53996.4	44385.8	46444.727
2022	630.29	727.8	778.7	1965	41597.566	54948	45016.6	47187.389
2023	508.3	934.3	697	1964	42165.575	55678.6	45699.4	47847.858

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Diagrama de análisis de doble masa de la estación Sicuani



Nota: Identificación de los datos no homogéneos por medio de los quiebres en la curva de doble masa. Fuente: Elaboración propia

Ya teniendo identificado los datos no homogéneos e inconsistentes determinamos las diferentes tendencias de pendientes que muestra la curva de doble masa; para la corrección de datos se hace el cálculo de cada pendiente identificada.

Tabla 4.10 Cálculo de las 4 pendientes identificadas

Estación Sicuani	Pendiente
Pendiente de los puntos consistentes	0.88
Pendiente de los puntos no consistentes tramo 1	0.69
Pendiente de los puntos no consistentes tramo 2	0.58
Pendiente de los puntos no consistentes tramo 3	0.91

Fuente: Elaboración propia

Para la corrección de los datos inconsistentes, la precipitación ajustada dependerá de la corrección de la precipitación observada (dato recolectado del SENAMHI) por la relación de la pendiente de los datos consistentes y la pendiente correspondiente de los datos no consistentes.

$$Pa = (ma \div mo) \times Po$$

- Pa: Precipitación ajustada
- Po: Precipitación Observada
- mo: Pendiente del gráfico en el tiempo que Po fue observada
- ma: Pendiente del gráfico al cual los registros son ajustados

Tabla 4.11 Precipitación acumuladas invertidas y corregidas

Datos corregidos				Datos invertidos corregidos				
Año	Sicuani PP. Anual	La Raya PP. Anual	Combapata PP. Anual	Año	Sicuani PP. Anual	La Raya PP. Anual	Combapata PP. Anual	Media
1964	568.00948	730.6	682.8	2023	508.3	934.3	697	713.2
1965	645.58373	951.6	630.8	2022	1138.59	1662.1	1475.7	1425.4633
1966	726.98845	902.6	624.6	2021	1908.29	2466.2	2280.6	2218.3633
1967	670.8629	1020.2	661.2	2020	2514.49	3404.9	3017.4	2978.93
1968	926.74215	1005.7	714.5	2019	3294.09	4370.4	3637.3	3767.2633
1969	739.17456	980	647.6	2018	4031.09	5302.2	4371.4	4568.23
1970	781.24219	960.6	788.9	2017	4839.19	6077.2	5160.3	5358.8967
1971	594.9675	775	734.1	2016	5485.19	7037.8	5807.9	6110.2967
1972	563.28169	931.8	619.9	2015	6315.49	8017.8	6522.4	6951.8967
1973	695.75613	965.5	736.8	2014	6975.99	9023.5	7183.6	7727.6967
1974	679.75885	938.7	804.9	2013	7762.39	10043.7	7808.2	8538.0967
1975	711.77271	804.1	778.7	2012	8614.09	10946.3	8439	9333.13
1976	543.98462	727.8	697	2011	9319.49	11897.9	9121.8	10113.063
1977	575.43885	934.3	721.5	2010	10042.49	12628.5	9957.1	10876.03
1978	1082.0259	1215.7	854	2009	10704.39	13471.1	10783.6	11653.03
1979	475.53908	1063.3	755	2008	11420.89	14284.4	11624.1	12443.13

1980	679.77507	845.7	733.5	2007	12083.89	15228.6	12470.4	13260.963
1981	674.91953	493.4	808.2	2006	12853.29	16486.8	13312.7	14217.597
1982	404.52686	915.6	685.5	2005	13488.79	17231.9	14146	14955.563
1983	228.51367	603.6	631.9	2004	14273.09	18250.4	14969.7	15831.063
1984	743.18533	1213.3	1026.2	2003	14978.79	19237.1	15810.6	16675.497
1985	896.51159	1134.2	940.5	2002	16007.49	20155.7	16672.1	17611.763
1986	651.54395	1063.7	846	2001	16955.19	21447.4	17544.6	18649.063
1987	870.4833	908.6	882.6	2000	17645.19	22424.7	18417.9	19495.93
1988	811.2382	969.4	861.8	1999	18335.19	23236.8	19240.4	20270.797
1989	362.73518	994.6	855.2	1998	18932.69	23969.7	20083.6	20995.33
1990	762.36385	938.8	680	1997	19837.99	25109.6	20923.9	21957.163
1991	726.54	835.3	691.1	1996	20553.79	25943.9	21714.1	22737.263
1992	594.82	818.4	722	1995	21232.09	26734.8	22350.8	23439.23
1993	782.1	1114.3	895.6	1994	21995.19	27922.2	22987	24301.463
1994	763.1	1187.4	636.2	1993	22777.29	29036.5	23882.6	25232.13
1995	678.3	790.9	636.7	1992	23372.11	29854.9	24604.6	25943.87
1996	715.8	834.3	790.2	1991	24098.65	30690.2	25295.7	26694.85
1997	905.3	1139.9	840.3	1990	24861.014	31629	25975.7	27488.571
1998	597.5	732.9	843.2	1989	25223.749	32623.6	26830.9	28226.083
1999	690	812.1	822.5	1988	26034.987	33593	27692.7	29106.896
2000	690	977.3	873.3	1987	26905.471	34501.6	28575.3	29994.124
2001	947.7	1291.7	872.5	1986	27557.014	35565.3	29421.3	30847.871
2002	1028.7	918.6	861.5	1985	28453.526	36699.5	30361.8	31838.275
2003	705.7	986.7	840.9	1984	29196.711	37912.8	31388	32832.504
2004	784.3	1018.5	823.7	1983	29425.225	38516.4	32019.9	33320.508
2005	635.5	745.1	833.3	1982	29829.752	39432	32705.4	33989.051
2006	769.4	1258.2	842.3	1981	30504.671	39925.4	33513.6	34647.89
2007	663	944.2	846.3	1980	31184.447	40771.1	34247.1	35400.882
2008	716.5	813.3	840.5	1979	31659.986	41834.4	35002.1	36165.495
2009	661.9	842.6	826.5	1978	32742.012	43050.1	35856.1	37216.071
2010	723	730.6	835.3	1977	33317.45	43984.4	36577.6	37959.817
2011	705.4	951.6	682.8	1976	33861.435	44712.2	37274.6	38616.078
2012	851.7	902.6	630.8	1975	34573.208	45516.3	38053.3	39380.936
2013	786.4	1020.2	624.6	1974	35252.967	46455	38858.2	40188.722
2014	660.5	1005.7	661.2	1973	35948.723	47420.5	39595	40988.074
2015	830.3	980	714.5	1972	36512.004	48352.3	40214.9	41693.068
2016	646	960.6	647.6	1971	37106.972	49127.3	40949	42394.424
2017	808.1	775	788.9	1970	37888.214	50087.9	41737.9	43238.005
2018	737	931.8	734.1	1969	38627.389	51067.9	42385.5	44026.93
2019	779.6	965.5	619.9	1968	39554.131	52073.6	43100	44909.244
2020	606.2	938.7	736.8	1967	40224.994	53093.8	43761.2	45693.331

2021	769.7	804.1	804.9	1966	40951.982	53996.4	44385.8	46444.727
2022	630.29	727.8	778.7	1965	41597.566	54948	45016.6	47187.389
2023	508.3	934.3	697	1964	42165.575	55678.6	45699.4	47847.858

Fuente: Elaboración propia

Ya con los datos corregidos anual de la estación Sicuani graficamos la curva de doble masa con una tendencia más alineada y más confiable y datos más consistentes.

Figura 4.12 Diagrama corregido de la estación de Sicuani



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la precipitación media mensual de la cuenca Uyurmiri se trabajó con los datos ya corregidos de la estación Sicuani donde determinamos la precipitación media anual de la cuenca (702.76 mm/año), como precipitaciones mínima y máxima es de 228.51 mm/año y 1082.03 mm/año respectivamente.

4.3.2 TEMPERATURA

La temperatura es un factor clave para determinar la escorrentía y la evapotranspiración. Para calcular la temperatura mínima, máxima y media mensual de la cuenca Uyurmiri, se utilizaron los datos proporcionados por SENAMHI de la estación de Sicuani.

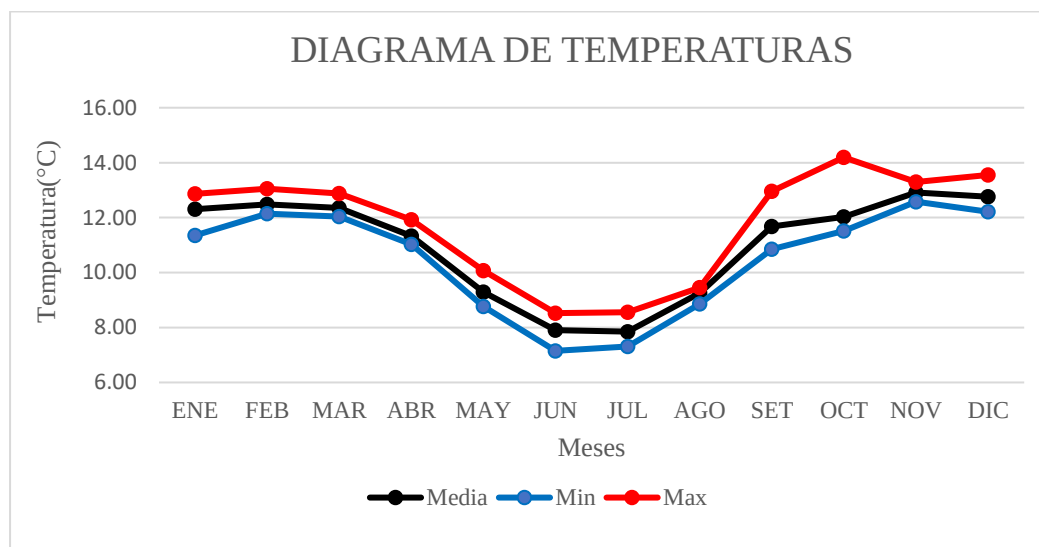
- Temperatura media mensual: 11.01 °C
- Temperatura mínima mensual: 10.48 °C
- Temperatura máxima mensual: 11.78 °C

Tabla 4.12 Temperatura media mensual

Temperatura media mensual-cuenca Uyurmiri													
MES/T°	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media
Media	12.31	12.48	12.35	11.33	9.29	7.90	7.85	9.26	11.68	12.03	12.91	12.77	11.01
Min	11.36	12.15	12.03	11.02	8.77	7.15	7.32	8.86	10.85	11.51	12.58	12.21	10.48
Max	12.87	13.06	12.87	11.93	10.07	8.52	8.56	9.46	12.96	14.19	13.30	13.55	11.78

Fuente: Calculo en base a los datos de SENAMHI

Figura 4.13 Diagrama de temperaturas media, mínima y máxima



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 EVAPOTRANSPIRACION(EVT)

Es el proceso mediante el cual el agua, en estado sólido o líquido, se transfiere a la atmósfera a través de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Estos procesos están influenciados por factores físicos, como la granulometría, porosidad, litología, cobertura del suelo, temperatura, viento, presión atmosférica e intensidad de luz, así como por factores biológicos, como la profundidad de las raíces. La cantidad de agua transferida se mide en milímetros durante un período de tiempo determinado.

4.3.3.1 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL(ETP)

Thornthwaite introdujo el término evapotranspiración potencial (ETP) para expresar "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas". (Ordoñez, 2011).

El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) sin corrección se realizó utilizando el método de Thornthwaite, empleando los parámetros de temperatura media mensual y el índice de calor mensual. Para ajustar la ETP, se aplicaron correcciones considerando factores como la duración astronómica del día, las horas de sol, el número de días en el mes y la latitud de la ubicación.

$$ETP(\sin\ corr) = 16\left(\frac{10 \times t^{\circ}m}{I}\right)^a$$

$t^{\circ}m$: Temperatura mensual($^{\circ}C$)

i : Índice de calor mensual

I : Índice de calor anual ($\sum i$)

a : $0.000000675 \times I^3 - 0.0000771 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239$

Para el cálculo de la evapotranspiración corregida se usa la siguiente ecuación:

$$ETP = ETP(sc) \times \left(\frac{N \times D}{365}\right)$$

ETP (sc): Evapotranspiración sin corregir

N : Número máximo de horas de sol

D : Número de días al mes

Tabla 4.13 Evapotranspiración potencial de la cuenca Uyurmiri

Mes	T° media mensual	Índice de calor mensual	ETP (sin corregir)	N	f= N/12	N° días/mes (D)	D/30	ETP
Enero	12.31	3.91	56.86	11.4	0.95	31	1.03	55.06
Febrero	12.48	3.99	57.75	11.5	0.96	28	0.93	50.95
Marzo	12.35	3.93	57.08	11.8	0.98	31	1.03	57.20
Abril	11.33	3.45	51.78	12.2	1.02	30	1.00	51.92
Mayo	9.29	2.56	41.39	12.5	1.04	31	1.03	43.94
Junio	7.90	2.00	34.44	12.7	1.06	30	1.00	35.95
Julio	7.85	1.98	34.20	12.9	1.08	31	1.03	37.47
Agosto	9.26	2.54	41.21	12.7	1.06	30	1.00	43.02
Setiembre	11.68	3.61	53.57	12.4	1.03	31	1.03	56.42
Octubre	12.03	3.78	55.41	12	1.00	31	1.03	56.47
Noviembre	12.91	4.21	60.03	11.7	0.98	30	1.00	57.73
Diciembre	12.77	4.13	59.25	11.5	0.96	31	1.03	57.87
Índice de calor anual		40.09	a	1.13		ETP (mm/año)		603.98

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2 EVAPOTRANSPIRACION REAL(ETR)

La evapotranspiración real se refiere a la evapotranspiración que depende del contenido de humedad del suelo, esta disminuye a medida que el suelo se evapora, ubicándose por debajo del nivel de un suelo bien hidratado.

4.4 ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Se refiere a la cinemática del agua que discurre sobre la superficie terrestre donde el agua no pudo ser absorbida debido a la saturación y las propiedades del suelo (permeabilidad, porosidad), posterior a una precipitación pluvial. Para estimar la escorrentía superficial media anual se realizó mediante los métodos indirectos propuesto por Justin (1914), donde toma en cuenta parámetros de precipitación media anual de la cuenca, temperatura media anual y pendiente de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento de cada material.

$$ES = \frac{K \times S^{0.157} \times P^2}{160 + 9T}$$

Donde:

K: coeficiente de escurrimiento adimensional

S: Pendiente de la cuenca

T: Temperatura media anual(°C)

P: Precipitación media anual(mm)

Para el cálculo de la escorrentía media anual de la cuenca Uyurmiri se reemplazó los valores:

$$ES = \frac{0.08 \times 0.231^{0.157} \times 702.76^2}{160 + 9 \times 11.01}$$

$$ES = 121.16 \text{ mm/año}$$

$$ES = 17.26\%$$

4.5 INFILTRACION

Se refiere al proceso mediante el cual el agua pluvial penetra sobre el subsuelo, este fenómeno depende de las características del terreno (topografía), intensidad de la precipitación y de las propiedades físico mecánicas del suelo (Tipo de suelo, cobertura vegetal, porosidad).

Para el cálculo de la infiltración se realizó mediante la ecuación del principio de conservación de masa; es decir que la entrada de agua al sistema es igual al total de salida de agua del sistema.

$$P = ETR + ES + I$$

Donde:

P: Precipitación(mm)

ES: Escorrentía superficial(mm)

I: Infiltración(mm)

Despejando I:

$$I = P - ETR - ES$$

$$I = 702.76 - 514.95 - 121.16$$

$$I = 66.65 \text{ mm/año (cantidad de agua que se infiltra)}$$

$$I = 9.49\%$$

4.6 BALANCE HIDRICO

Se refiere a la entrada y salida de agua en un sistema dado (cuenca hidrográfica), este balance ayuda a comprender como se distribuye el agua dentro del sistema.

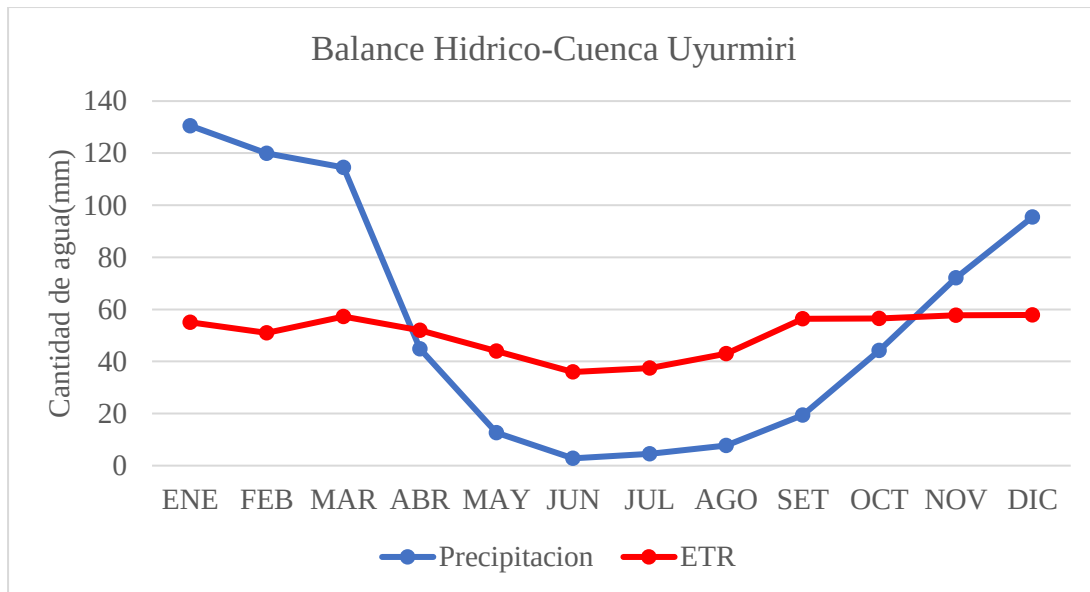
Con los datos obtenidos y procesados se realizó el balance hídrico teniendo 153.83 mm de excedente hídrico en la época de lluvias y un déficit de 89.035 mm en la época de estiaje.

Tabla 4.14 Balance hídrico de la cuenca Uyurmiri

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
P	130.5	119.9	114.5	44.88	12.63	2.809	4.554	7.672	19.35	44.26	72.1	95.5	702.71
ETP	55.06	50.95	57.2	51.92	43.94	35.95	37.47	43.02	56.42	56.47	57.73	57.9	603.98
Var. Alm	75.48	0	0	7.038	31.31	33.14	28.51	0	0	0	14.38	37.7	
Alm	100	100	100	92.96	61.65	28.51	0	0	0	0	14.38	52	
ETR	55.06	50.95	57.2	51.92	43.94	35.95	33.06	7.672	19.35	44.26	57.73	57.9	514.95
Déficit	0	0	0	0	0	0	4.407	35.35	37.07	12.21	0	0	89.035
Exceso	27.52	68.99	57.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153.83

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Diagrama de balance hídrico cuenca Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: PROSPECCION GEOFISICA

5.1 GENERALIDADES

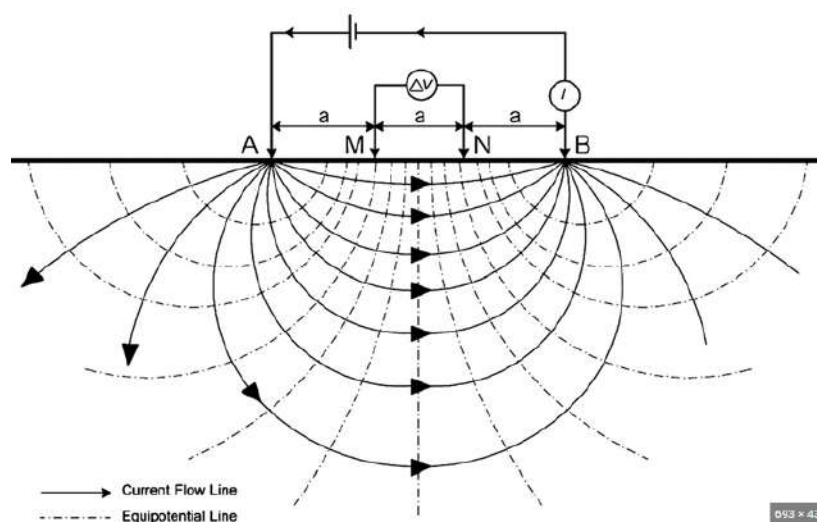
La prospección geofísica es una disciplina dentro de la geología que se enfoca en la exploración del subsuelo mediante el uso de principios físicos y matemáticos. Su objetivo es estudiar las variaciones en las propiedades físicas de los materiales subterráneos, como la resistividad eléctrica o la velocidad de las ondas sísmicas, entre otras.

En nuestra zona de estudio se aplicó la prospección geofísica para determinar estructuras (fracturas, fallas), anomalías en las secuencias estratigráficas, horizontes con características hidráulicas, con el objetivo de inferir la surgencia de agua termal.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO GEOFISICO (Tomografía Eléctrica)

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica de resistividad con múltiples electrodos, cuyo objetivo es obtener una sección 2D de la resistividad real del terreno mediante el uso de métodos numéricos. A partir de este modelo, es posible identificar la dirección del flujo, filtraciones de agua a diferentes profundidades y acumulaciones de agua subterránea, localizando áreas con disminuciones anómalas en la resistividad del suelo. Para ello, es esencial utilizar un programa de inversión que convierta las resistividades aparentes obtenidas en el campo en valores de resistividad real, que luego podrán ser analizados.

Figura 5.1 Esquema básico del método de resistividad



Fuente: Wiwattanachang & Giao, 2011

5.1.2 METODOLOGIA DE CAMPO

5.1.2.1 PLANIFICACION Y RECONOCIMIENTO

Para realizar el estudio de prospección geofísica se tuvo en consideración, cual es el comportamiento hidráulico del origen de agua termal, en este caso se evaluará lineaciones, fallas, acumulaciones de agua, etc. De forma que mediante este modelo 2D se pueda reconocer dichas estructuras. Es importante resaltar la profundidad máxima de investigación y el número de secciones que se va realizar; en la profundidad máxima se tiene que evaluar la topografía ya que la profundidad depende de la distancia horizontal entre los 2 electrodos que delimitan la sección, por ende, para tener una mayor profundidad del terreno debe ser lo más llano posible. En la zona de estudio se selecciona la sección más próxima a la surgencia de agua termal y con la menor variación de altitud con el fin de alcanzar una mayor profundidad.

En cuanto a la cantidad de electrodos se trabajó con 60 electrodos y para la distribución simétrica de cada uno de ellos se realizó mediante el cálculo la distancia total entre el número de electrodos

Figura 5.2 Instalación del equipo de tomografía eléctrica



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.2 ADQUISICION DE DATOS

Para la adquisición de datos, primero se coloca los electrodos en la superficie de la sección trazada de forma equidistante, donde definimos el origen y el final del perfil de la sección para evitar problemas en la interpretación, cabe resaltar que la topografía debe ser lo más plano y recto posible para evitar anomalías en las medidas de la resistividad; seguidamente se coloca conectores de cobre

en los electrodos y antes de iniciar las mediciones se verifica si las conexiones están en un correcto funcionamiento, en caso de que no registre datos humedecemos para mejorar la conductividad. Finalmente realizamos la toma de datos.

Figura 5.3 Adquisición de datos de la tomografía eléctrica



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.3 PROCESAMIENTO DE CAMPO

Para obtener nuestro modelo 2D de resistividades reales se realiza a partir de las resistividades aparentes tomadas en campo, por lo que se necesitara un programa de inversión. Esta técnica de inversión consiste en realizar un proceso repetitivo con el que se lograra obtener un modelo de resistividad real similar a la resistividad medida en el campo.

5.1.2.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS

La interpretación de resultados se basa en localizar anomalías de la resistividad en el modelo, esto dependerá de la litología del terreno (cuan poroso es); cabe resaltar, que podemos encontrar variación de resistividades en un mismo material; esto quiere decir que podemos encontrar resistividades muy bajas(anomalías), lo cual estaría asociado a zonas con presencia de importarte contenido de agua en profundidad, como también podemos encontrar resistividades que corresponden a la resistividad de dicha litología

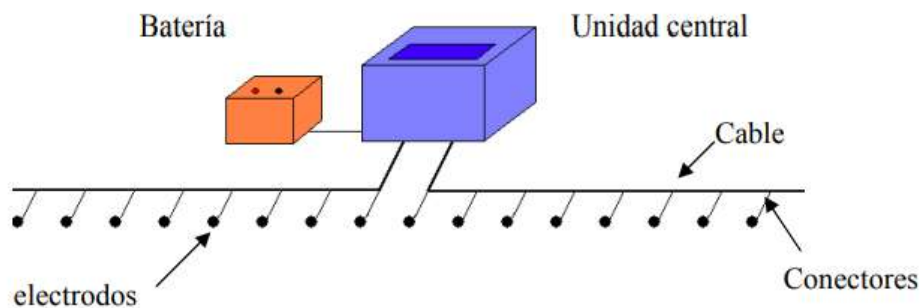
5.1.2.5 EQUIPOS Y MATERIALES

EQUIPOS REQUERIDOS

Para el ensayo de tomografía eléctrica se utilizó los siguientes equipos

- Electrodo. Barras metálicas de 25cm de altura, se utilizó 60 unidades
- Batería. Fuente de alimentación de todo el sistema.
- Cables de conexión. Son cables de cobre de gran longitud con conexiones cada cierto intervalo, cuya función es conectar con los electrodos.
- Conectores. Pequeños cables de cobre con pinzas en los extremos encargados de conectar los electrodos al cable.
- Ordenador portátil. En el tenemos el software donde nos permite procesar y visualizar los resultados obtenidos, como también el control de los espacios de los electrodos, número de electrodos, etc.
- Unidad central (Resistivímetro). Su función es realizar de manera automática las secuencias de medición preestablecidas, comprobar el correcto estado de las conexiones y, además, guardar los datos obtenidos.

Figura 5.4 Esquema de tomografía eléctrica



Fuente: Cuevas, 2017

Figura 5.5 Equipo de prospección eléctrica de tomografía eléctrica



Fuente: Elaboración propia

5.2 METODO UTILIZADO DE LA PROSPECCION GEOFISICA

5.2.1 METODO WENNER

Este método de prospección geofísica se utilizó para medir las resistividades eléctricas aparente del subsuelo, se distingue del método Wenner-Slumberger por la configuración de los electrodos, en este método los electrodos de inyección de corriente y medición de potencial son equidistante en línea recta donde se aplica corriente eléctrica a través de los electrodos exteriores y se mide la caída de potencial entre los electrodos interiores; para el cálculo de la resistividad por este método se utiliza la siguiente relación.

$$p = 2\pi a \frac{V}{I}$$

Donde:

p: Resistividad del suelo

a: Distancia entre electrodos

V: Caída del potencial medido

I: Corriente inyectada

Se utilizó este método por que la configuración y el procedimiento de medición son relativamente sencillos y en cuanto a la interpretación se realizó de manera directa.

Figura 5.6 Resistividades características de las aguas y rocas más usadas.

<i>Aguas y rocas</i>	<i>Resistividad (ohm*m)</i>
Agua de mar.....	0.2
Agua de acuíferos aluviales.....	10 – 30
Agua de fuentes.....	50 – 100
Arenas y gravas secas.....	1000 – 10000
Arenas y gravas con agua dulce.....	50 – 500
Arenas y gravas con agua salada.....	0.5 – 5
Arcillas.....	2 – 20
Margas.....	20 – 100
Calizas.....	300 – 10000
Areniscas arcillosas.....	50 – 300
Areniscas cuarcitas.....	300 – 10000
Tobas volcánicas.....	20 – 100
Lavas.....	300 – 10000
Esquistos grafitosos.....	0.5 – 5
Esquistos arcillosos.....	100 – 300
Esquistos sanos.....	300 – 3000
Gneis, granito alterado.....	100 – 1000
Gneis, granito sanos.....	1000 – 10000

Fuente: Castrechini,2009

5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES GEOFÍSICAS

5.3.1 ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Se realizó 03 secciones de tomografías eléctricas (Líneas A, B, C) que se encuentran distribuidas cerca de la surgencia de las aguas termales, para determinar la profundidad de dichas secciones se realizó en función a la distancia de la línea de sección, lo cual se evaluó la variación de altitudinal del terreno y el área libre disponible. Para la obtención de las 3 líneas de tomografía se utilizó el método Werner.

5.3.2 UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE SECCIÓN DE TOMOGRAFÍA

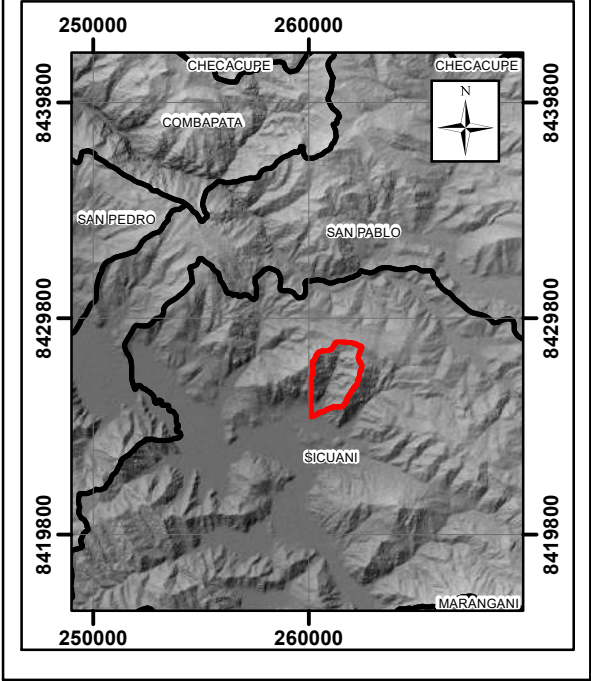
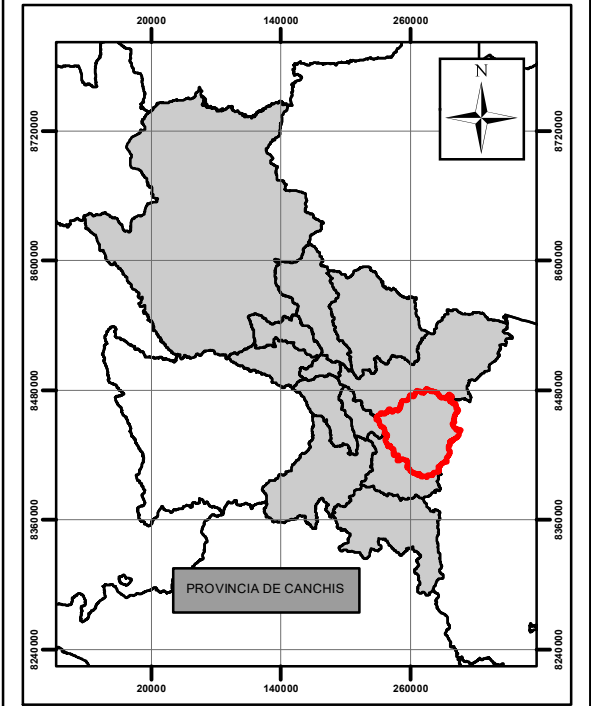
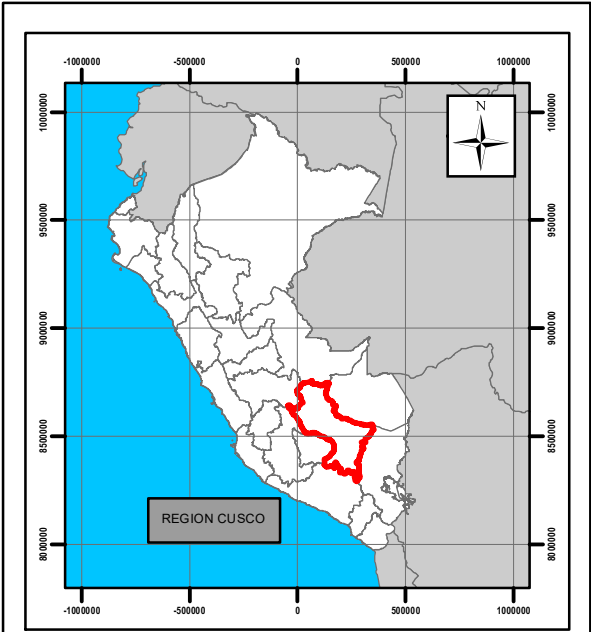
Ya teniendo las características del terreno, se tomó las siguientes líneas de sección tomografía eléctrica.

Tabla 5.1 Coordenadas de inicio y fin de las secciones geofísicas

Ensayo	Profundidad(m)	Coordenadas UTM						Longitud(m)
		INICIO			FINAL			
			Este	Norte		Este	Norte	
Sección Tomográfica A-A'	48 m	A	260793	8426669	A'	260873	8426529	180 m
Sección Tomográfica B-B'	48 m	B	260867	8426661	B'	260796	8426504	180 m
Sección Tomográfica C-C'	32 m	C	260888	8426750	C'	260873	8426634	120 m

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.7 Mapa de ubicación de las líneas de secciones Tomográficas de las aguas termales de Uyurmiri



SIMBOLOGIA

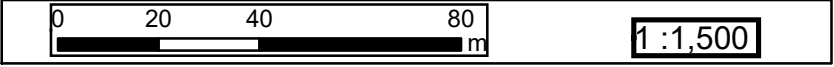
- Baños termales de Uyurmiri
- Cuenca
- Curvas

Líneas de Tomografía Eléctrica

- Línea de sección A-A'
- Línea de sección B-B'
- Línea de sección C-C'

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO					
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA					
MAPA DE INVESTIGACION GEOFISICA DE LA CUENCA UYURMIRI					
HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI-DISTRITO SICUANI-PROVINCIA CANCHIS-DEPARTAMENTO CUSCO					
Asesor:	Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Roque				
Elaborado por:	Bach. Breyson Eduardo Caluza Valenzuela Bach. Jhon Alex Jilmallanca Mamani				
Datun horizontal	WGS 1984		Escala		09
Sistema de proyección	UTM ZONA 19 S		1:1500		
					Nº de mapa

Fuente: Elaboración propia



5.4 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS SECCIONES DE TOMOGRAFIA ELECTRICA

5.4.1 LINEA DE SECCION TOMOGRAFICA A-A'

UBICACIÓN DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

La sección A-A' se ubica en la comunidad de Patahansa dentro del área de las aguas termales de Uyurmiri con una dirección NW-SE.

DESCRIPCION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar el ensayo de línea de sección tomográfica A-A' se trabajó con 60 electrodos, donde cada electrodo se dispuso equidistantemente cada 3m, alcanzando una longitud total de 180m, con una orientación NW-SE, lo cual nos permitió alcanzar una profundidad de 48m aproximadamente.

FINALIDAD DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Se realizo el ensayo de tomografía eléctrica en este sector para poder analizar el comportamiento hidráulico de la surgencia de agua termal y comprobar si este sujeto a una falla, fractura, diaclasa, contacto litológico o estratificación, también para evaluar la dinámica hidrogeológica del material donde surge el agua termal.

INTERPRETACION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar la correcta interpretación se tomó en cuenta los horizontes que se aprecia en la sección tomográfica A-A'.

Horizonte 1: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 150 a 800 Ω .m (color amarillo-rojo); en la sección se puede observar 2 zonas representativas diferentes. La primera zona que se encuentra en la progresiva 0-69m del eje horizontal y alcanza una profundidad de 35m aproximadamente, pertenecen a un depósito cuaternario (coluvial), compuesto por arenas, gravas y bloques que se encuentran levemente saturadas a casi seca; la segunda zona representativa lo podemos observar en la progresiva 78 – 150m del eje horizontal y a una profundidad de 45m, que pertenece areniscas (grauvaca), correspondientes al Grupo Mitu.

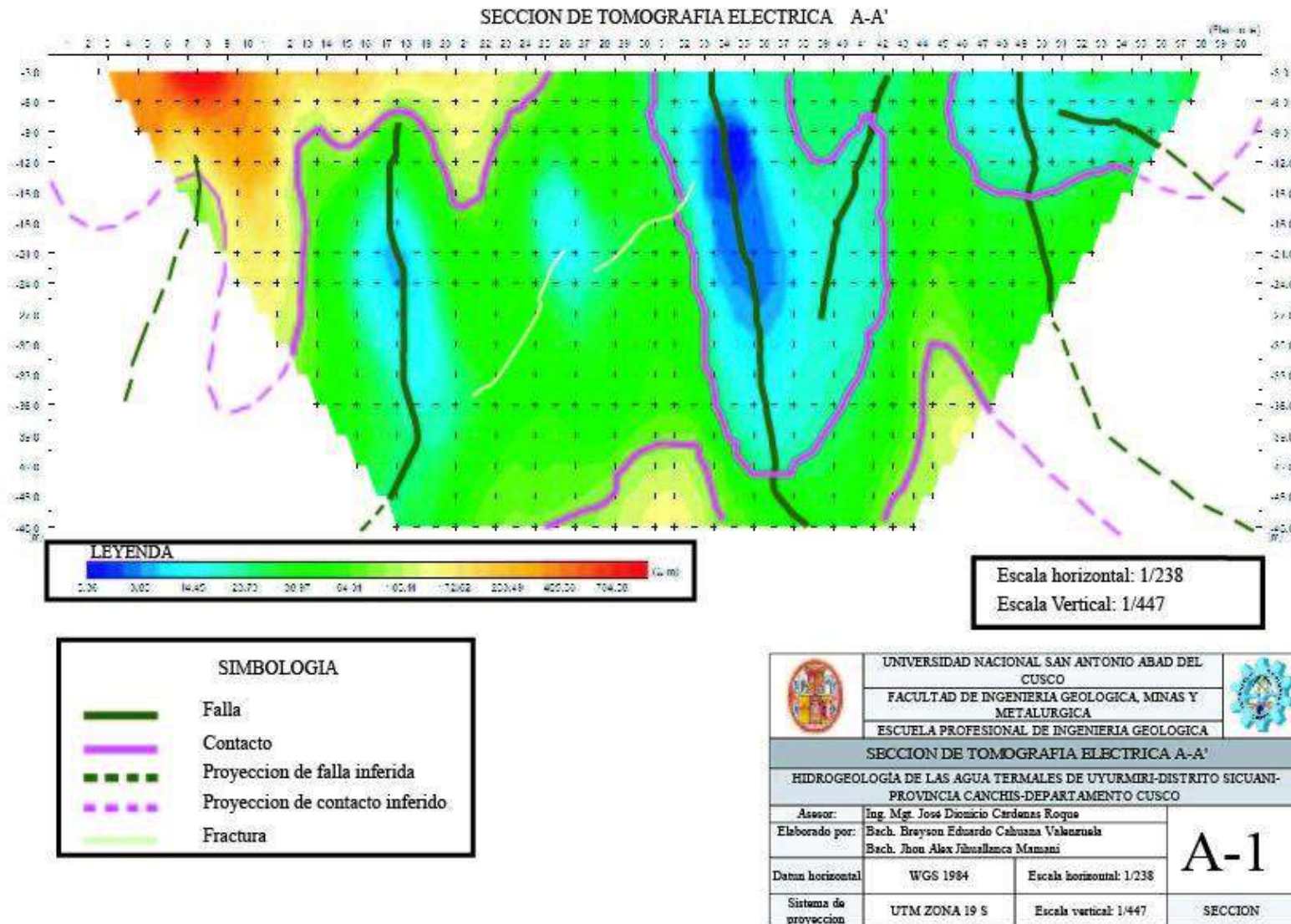
Horizonte 2: Este horizonte pertenece a resistividades de 35 a 110 $\Omega.m$ (color verde); corresponde al depósito cuaternario aluvial y alcanza una profundidad de 45m, haciendo contacto con el Grupo Mitu, está compuesto por arena, limos, arcillas y gravas, que debido a su mediana resistividad son materiales saturados a semisaturados.

Horizonte 3: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 5 a 30 $\Omega.m$ (color azul); corresponde al depósito cuaternario aluvial (arena y gravas), que debido a su baja resistividad este asociado a zonas de debilidad y de fracturamiento donde hay circulación de agua subterránea.

ANALISIS CRITICO

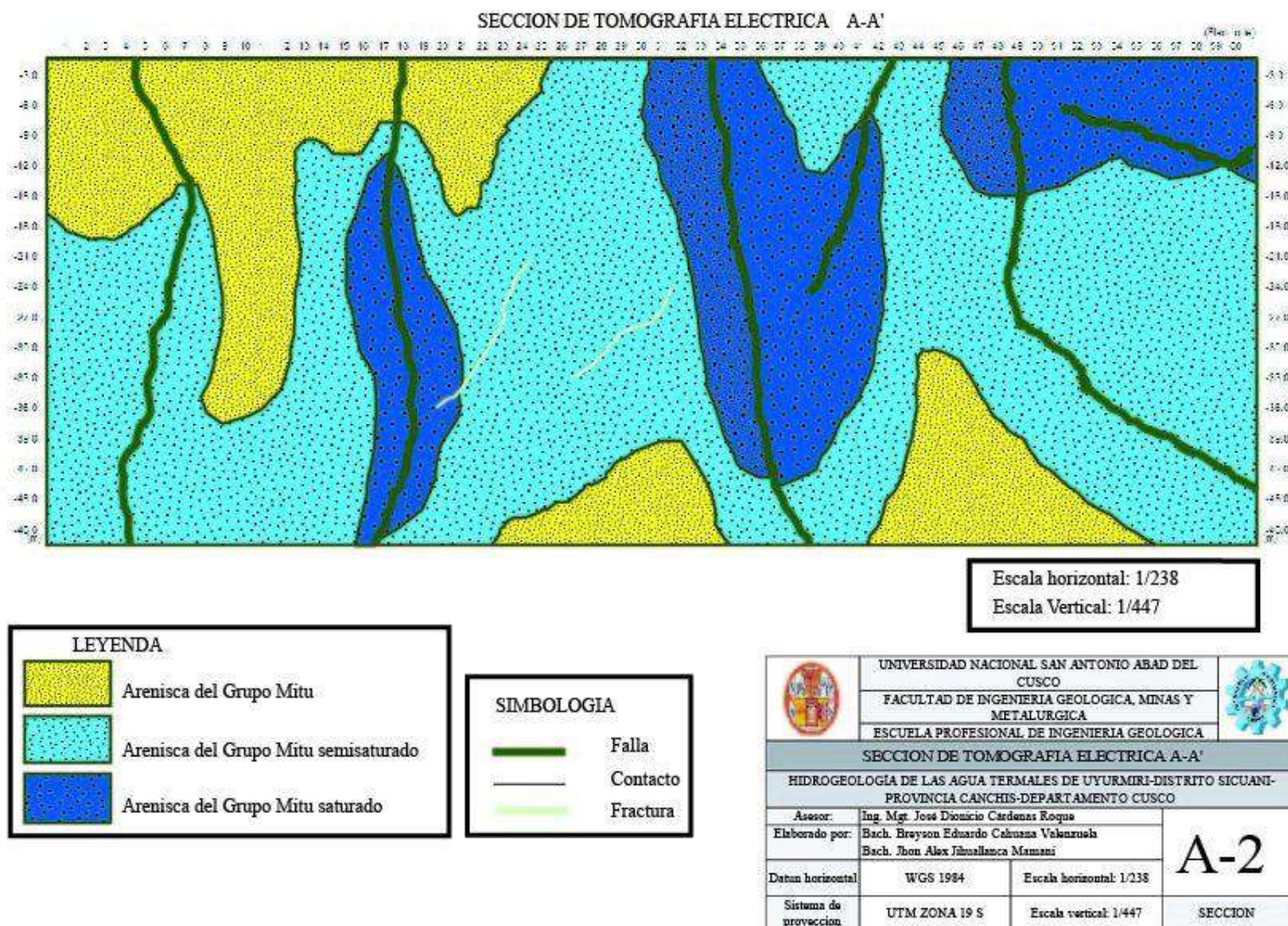
En la sección A-A' se logró observar cuerpos de agua subterránea de gran volumen alcanzando una profundidad máxima de 40m, esto se debe a la presencia de fracturas, fallas las cuales actúan como canales para la surgencia del agua termal. También podemos destacar que dentro del depósito aluvial el nivel freático es casi superficial (0-3m), lo que nos indica la interacción del agua fluvial acumulada por la cuenca con la surgencia de agua termal. Es necesario mencionar que el material en el lado Oeste de la sección actúa como un material semi-impermeable donde no permite el almacenamiento de aguas subterráneas, mientras que al lado Este de la sección presenta un material muy permeable con capacidad de retener y absorber agua.

Figura 5.8 Sección tomográfica eléctrica A-A'



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.9 Sección tomográfica eléctrica procesada A-A'



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 LINEA SECCION TOMOGRAFICA B-B'

UBICACIÓN DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

La sección B-B' se ubica en la comunidad de Patahansa dentro del área de las aguas termales de Uyurmiri con una dirección NE-SW.

DESCRIPCION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar el ensayo de línea de sección tomográfica B-B' se trabajó con 60 electrodos, donde cada electrodo se dispuso equidistantemente cada 3m, alcanzando una longitud total de 180m, con una orientación NE-SW, lo cual nos permitió alcanzar una profundidad de 48m aproximadamente.

FINALIDAD DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Se realizo el ensayo de tomografía eléctrica en este sector para poder analizar el comportamiento hidráulico de la surgencia de agua termal y relacionar con la sección A-A', de esa manera poder corroborar si este sujeto a una falla, fractura, diaclasa, contacto litológico o estratificación en común, también para evaluar la dinámica hidrogeológica del material donde surge el agua termal.

INTERPRETACION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar la correcta interpretación se tomó en cuenta los horizontes que se aprecia en la sección tomográfica B-B'.

Horizonte 1: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 55 a 140 Ω .m (color amarillo-rojo); en la sección se puede observar 2 zonas representativas diferentes. La primera zona se encuentra en la progresiva 0-60m del eje horizontal, que pertenecen a las areniscas semisaturados del Grupo Mitu, los bajos valores de resistividad representa el alto grado de fracturamiento de las areniscas de este sector; la segunda zona representa las mismas areniscas del Grupo Mitu, que en este sector están cubiertas por el depósito cuaternario aluvial por lo que se encuentra a una profundidad de 45m aproximadamente.

Horizonte 2: Este horizonte pertenece a resistividades de 24 a 45 Ω .m (color verde); corresponde al depósito cuaternario aluvial y alcanza una profundidad de 36m aproximadamente, haciendo contacto

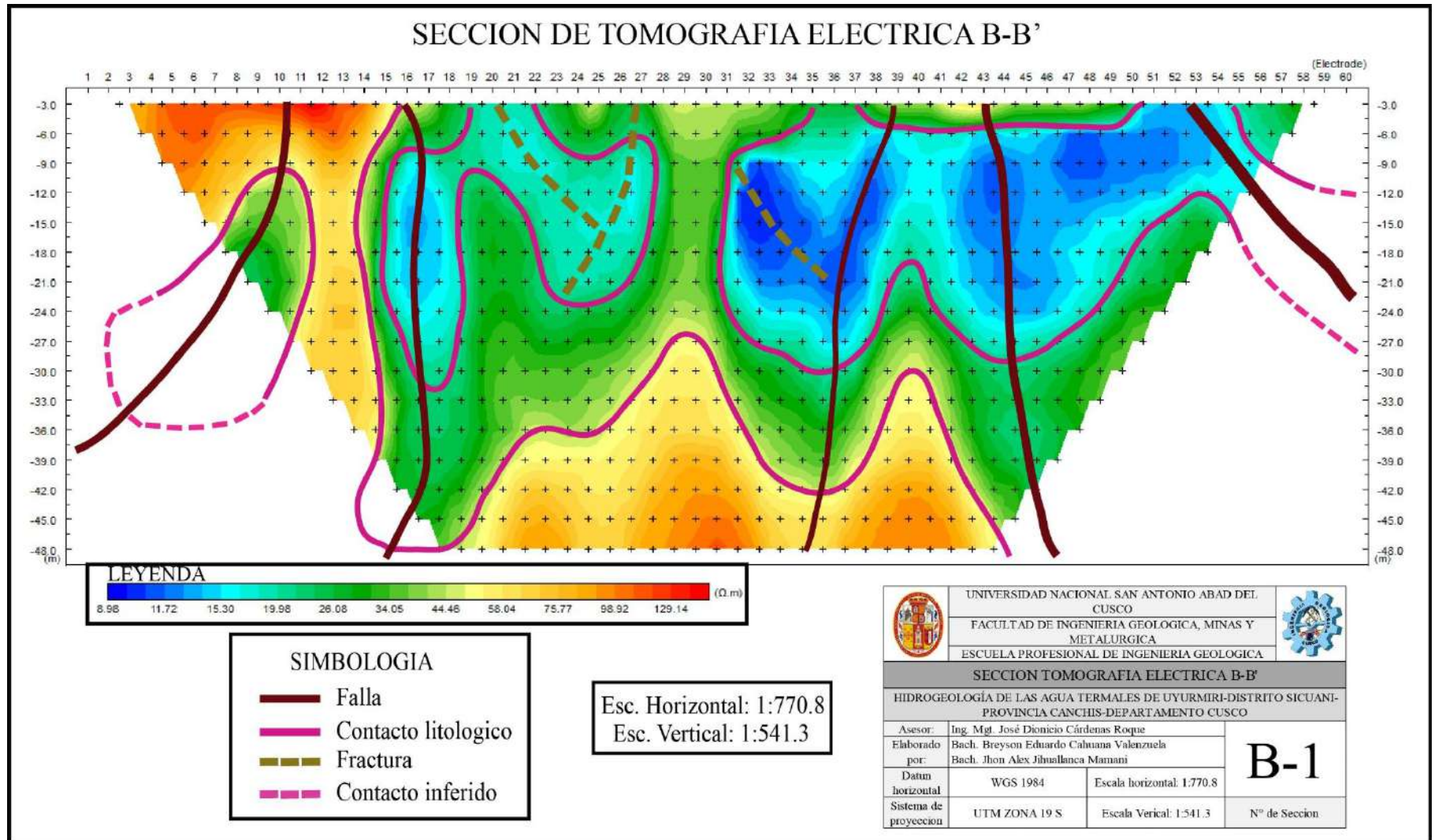
con el Grupo Mitu, está compuesto por arena, limos, arcillas y gravas, que debido a su mediana resistividad son materiales saturados a semisaturados.

Horizonte 3: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 8 a 19 $\Omega.m$ (color azul); corresponde al depósito cuaternario aluvial (arenas y gravas), que debido a su baja resistividad este asociado a zonas de debilidad y de fracturamiento donde hay circulación de agua subterránea.

ANALISIS CRITICO

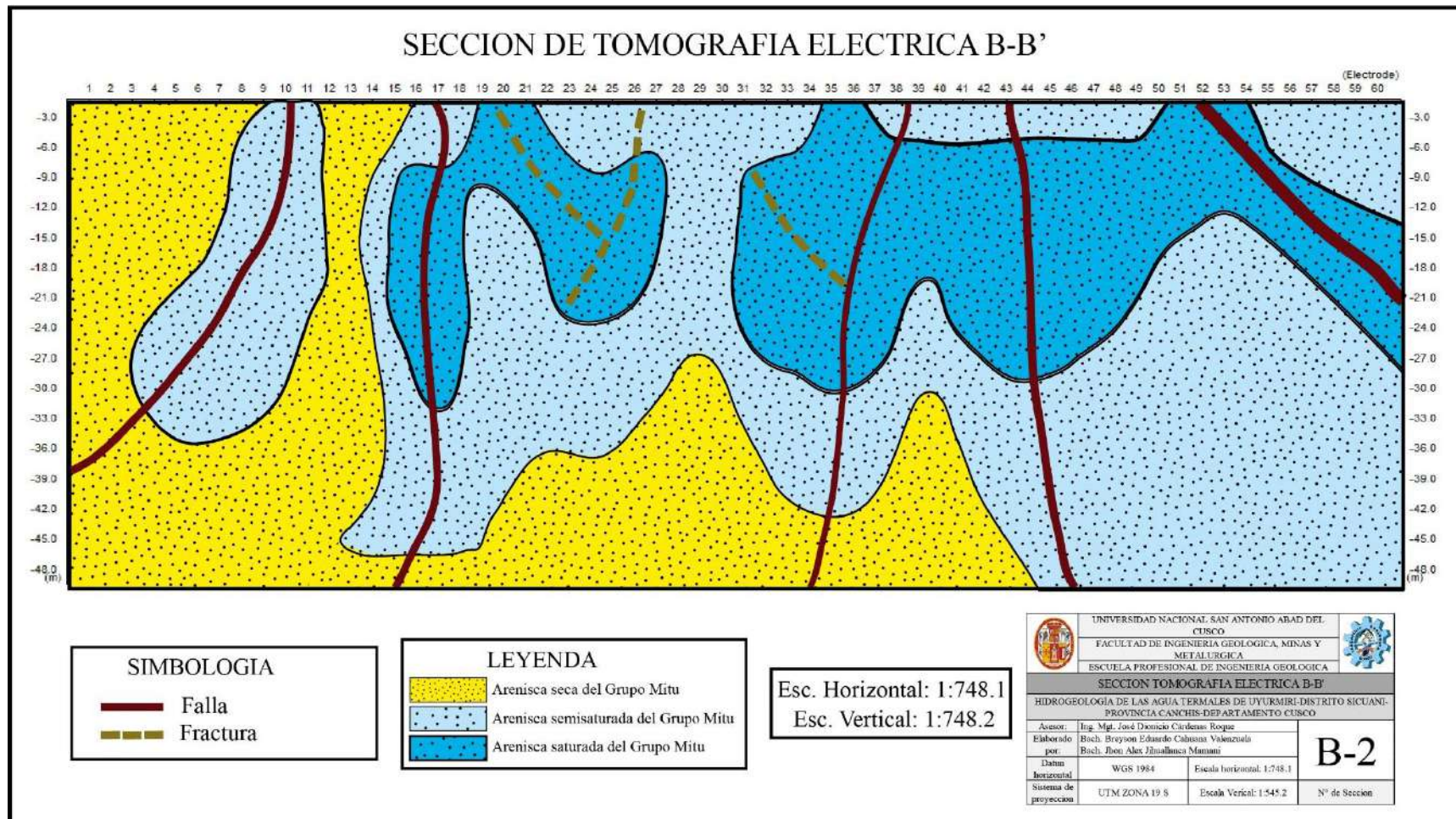
En la sección B-B' se logró observar cuerpos de agua subterránea de gran volumen alcanzando una profundidad máxima de 36m, esto se debe al alto grado de porosidad que presenta el depósito cuaternario y a la presencia de fracturas, fallas las cuales actúan como canales para la surgencia del agua termal. Esta sección B-B' está relacionado con la sección A-A' debido a que tenemos resistividades semejantes, por lo que se llegó a la conclusión que el nivel freático en el depósito aluvial es casi superficial (0-3m), lo que nos indica la interacción del agua fluvial acumulada por la cuenca con la surgencia de agua termal. Es necesario mencionar que al lado Norte de la sección las areniscas del Grupo Mitu afloran en la superficie, mientras que al lado Sur de la sección este cubierto por el depósito cuaternario aluvial lo cual es muy permeable con capacidad de retener y absorber agua.

Figura 5.10 Sección tomográfica eléctrica B – B'



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.11 Sección tomográfica eléctrica procesada B – B'



Fuente: Elaboración propia

5.4.3 LINEA SECCION TOMOGRAFICA C-C'

UBICACIÓN DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

La sección C-C' se ubica en la comunidad de Patahansa dentro del área de las aguas termales de Uyurmiri con una dirección N-S.

DESCRIPCION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar el ensayo de línea de sección tomográfica C-C' se trabajó con 60 electrodos, donde cada electrodo se dispuso equidistantemente cada 2m, alcanzando una longitud total de 120m, con una orientación N-S, lo cual nos permitió alcanzar una profundidad de 32m aproximadamente.

FINALIDAD DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Se realizo el ensayo de tomografía eléctrica en este sector para poder analizar el comportamiento hidráulico de la surgencia de agua termal y comprobar que la falla local esté relacionada con las fallas regionales San Felipe y Sicuani, o también verificar si se trata que la surgencia de agua termal se da por el contacto litológico de las Formación Muni y Grupo Mitu

INTERPRETACION DE LA SECCIÓN TOMOGRÁFICA

Para realizar la correcta interpretación se tomó en cuenta los horizontes que se aprecia en la sección tomográfica C-C'.

Horizonte 1: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 900 a 13000 $\Omega.m$ (color amarillo-rojo); en la sección se puede observar a lo largo de todo el tramo a partir de una profundidad de 10m, corresponde a areniscas impermeables (secas) del Grupo Mitu donde se observa un bajo grado de fracturamiento

Horizonte 2: Este horizonte pertenece a resistividades de 200 a 800 $\Omega.m$ (color verde); corresponde al depósito cuaternario aluvial que alcanza una profundidad de 4m aproximadamente, cubriendo al macizo rocoso del Grupo Mitu, cabe mencionar que las areniscas más superficiales del Grupo Mitu presenta un grado de saturamiento mayor, debido a la gran porosidad del depósito cuaternario aluvial.

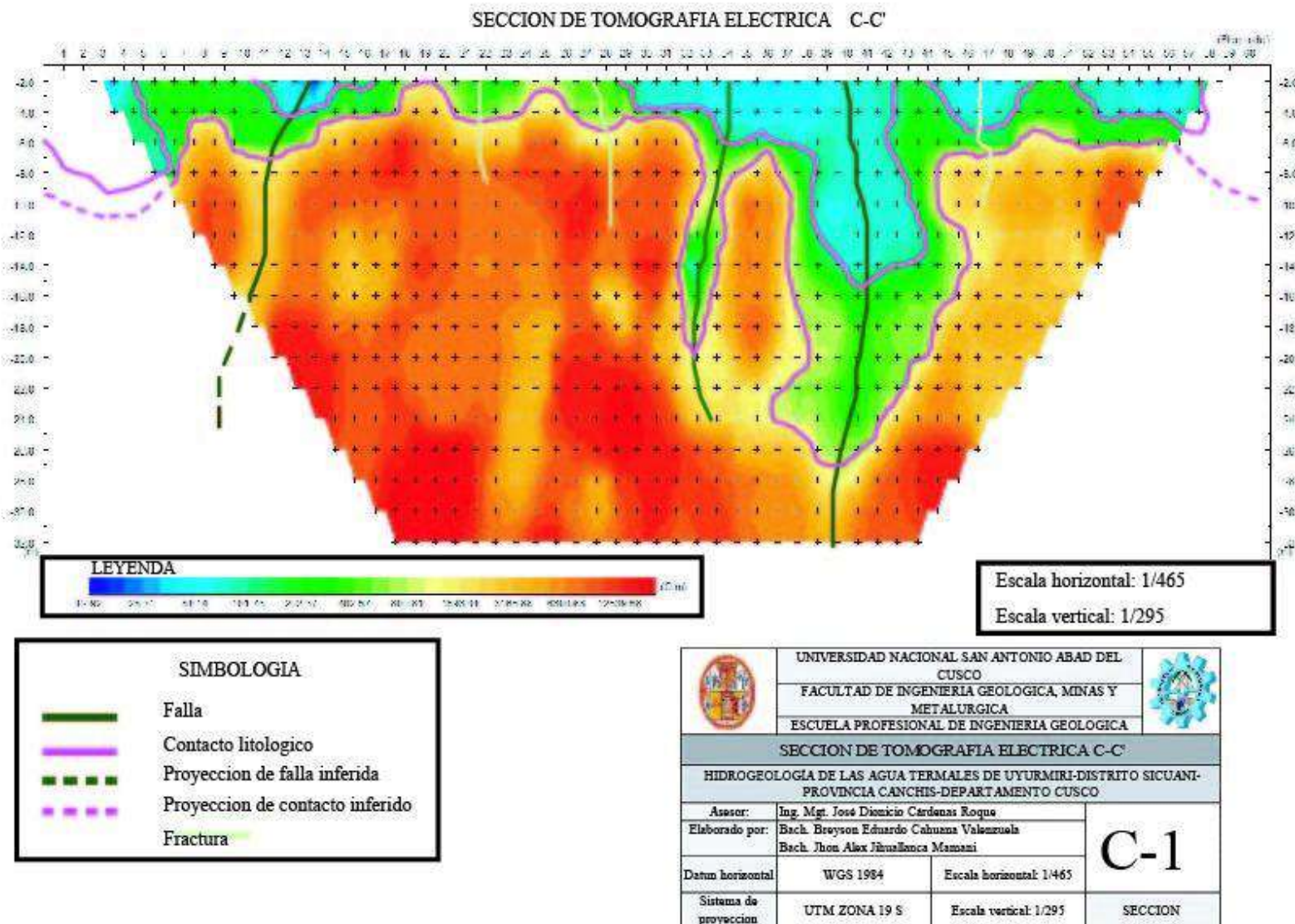
Horizonte 3: Este horizonte pertenece a resistividades que varían de 12 a 100 $\Omega.m$ (color azul); al lado sur de la sección corresponde al depósito cuaternario aluvial (arenas y gravas), en la progresiva

22-30 m del eje horizontal se logra observar el flujo de esorrentía fluvial de origen meteórico. Lo más importante de esta sección C-C' se encuentra en la progresiva 64-68 m del eje horizontal y a una profundidad de 16 m donde se identificó la posible falla con dirección NE-SW, que sirve como canal de la surgencia del agua termal y que tiene una dirección favorable en relación a las fallas regionales San Felipe y Sicuani

ANALISIS CRITICO

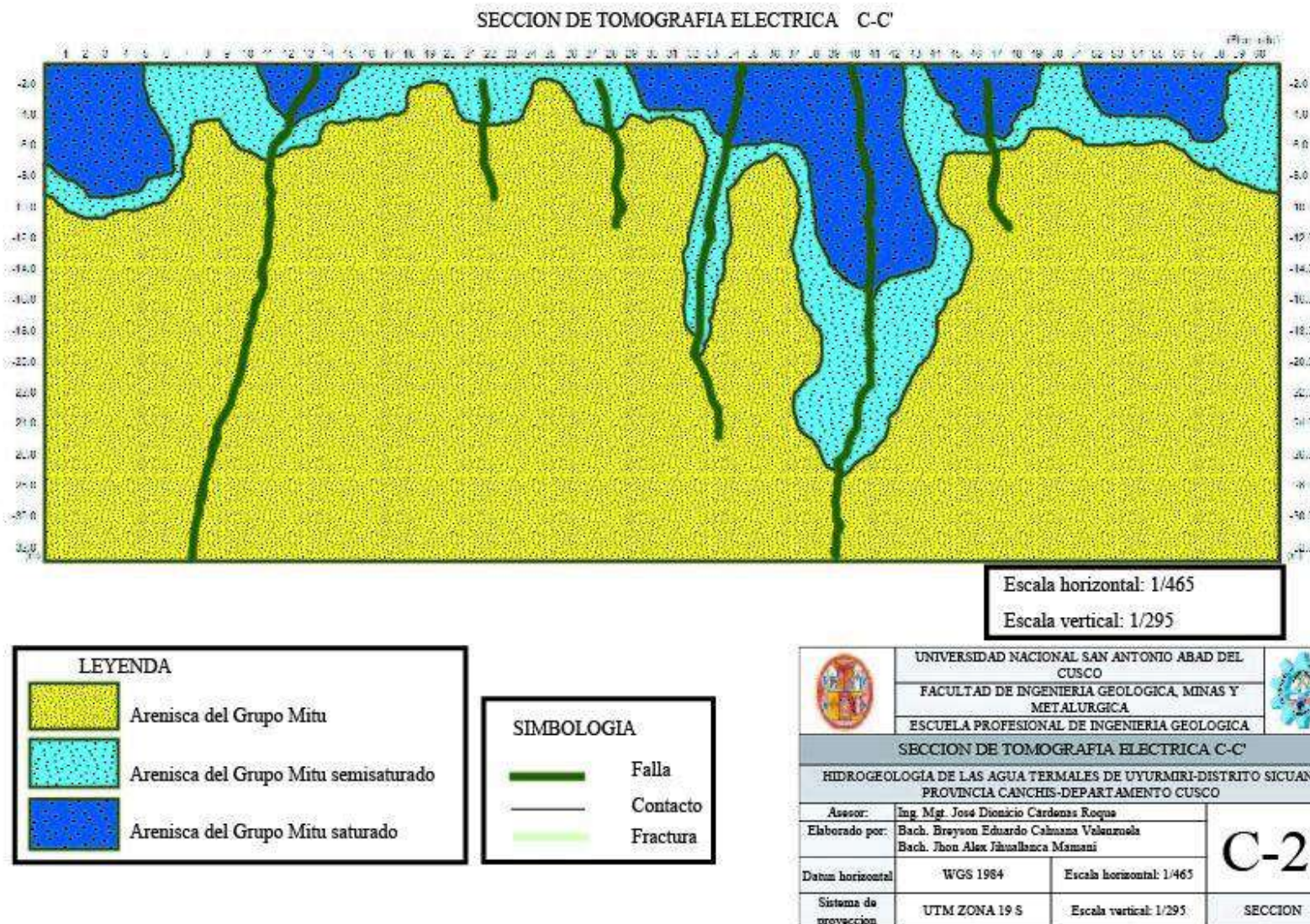
En la sección C-C' se logró observar cuerpos de agua subterránea a nivel superficial, esto se debe al alto grado de porosidad que presenta el depósito cuaternario. En esta sección C-C' se idéntico y se comprobó la existencia de la falla local que tiene una dirección NE-SW, que sirve de canal para el flujo del agua termal y este en contacto con las fallas regionales ya mencionas, podemos destacar que el Grupo Mitu pertenece a areniscas impermeables con bajo grado de saturación.

Figura 5.12 Sección tomográfica eléctrica C-C'



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.13 Sección tomográfica eléctrica procesada C-C'



Fuente: Elaboración propia

Ya realizado las 3 secciones tomográficas se puede evidenciar la falla inferida 2 tomada en campo (capítulo III) que corta la cuenta del río Oscuna en dos flancos, que tiene una dirección de NE-SW; En la sección tomográfica A-A' se puede observar resistividades que indican la surgencia del flujo termal con una tendencia vertical en la parte central, de la misma forma en la sección C-C' la cual está más al norte y paralela a la sección A-A', mientras que la sección B-B' tiene una dirección de N a S y podemos observar que las resistividad que nos indicar el flujo termal esta a lo largo de la sección, por lo que podemos concluir que la falla que trae el flujo termal tiene una tendencia de N S interceptando con la falla Regional.

CAPITULO VI: HIDROGEOLOGIA

6.1 GENERALIDADES

La hidrogeología es una disciplina que integra diversos campos del conocimiento, y se ve influenciada por factores como la litología, las estructuras geológicas y la composición química de suelos y rocas. Esta ciencia nos proporciona información sobre el comportamiento hidráulico, físico y mecánico de las aguas subterráneas, permitiéndonos además estimar los volúmenes de agua almacenados en los acuíferos. En este capítulo, se identificará el acuífero principal responsable del origen del agua termal.

Para la caracterización y clasificación de los acuíferos se debe tener en cuenta ciertos parámetros hidrogeológicos fundamentales como la permeabilidad, porosidad, transmisividad y coeficientes de almacenamiento, estos parámetros nos permite predecir el funcionamiento del acuíferos frente a unas determinadas acciones exteriores(Custodio & Llamas, 1976).

6.2 REGISTRO DE MANANTES

Se ha realizado el registro de manantes que se encuentran distribuidos en las diferentes formaciones geológicas pertenecientes al área de estudio. Donde se hizo el registro de 7 aforos de agua fría subterránea y 3 aforos de agua termal.

6.2.1 IDENTIFICACION DE FUENTES DE AGUA FRIA SUBTERRANEA

Dentro de esta etapa de estudio se realizó la localización de las captaciones en la zona de estudio donde se registró 7 aforos de agua fría subterránea. Estas fuentes fueron codificadas con una determina codificación y con un sus respectiva coordenada UTM, cabe resaltar que el registro se realizó en el mes de marzo

Tabla 6.1 Inventario de fuentes de agua fría subterránea

Fuentes de agua fría subterránea								
N°	Fecha	Código	Tipo de manante	Régimen	Uso	Coordenadas UTM		Caudal (lt/s)
						X	Y	
1	22/03/2024	Vil-01	Captado	Permanente	Consumo-riego	261739	8428444	2.02
2	22/03/2024	Vil-02	Captado	Permanente	Consumo-riego	261799	8428265	2.31

3	22/03/2024	Ay-01	Captado	Permanente	Consumo-riego	261577	8428078	1.46
4	22/03/2024	Hu-01	Captado	Estacionario	Riego	260612	8427539	0.18
5	23/03/2024	Vi-01	Captado	Estacionario	Riego	261400	8427751	1.15
6	23/03/2024	Vi-02	Captado	Estacionario	Riego	261662	8427442	1.04
7	23/03/2024	Mu-01	Captado	Permanente	Consumo-riego	261269	8426928	0.37

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 IDENTIFICACION DE FUENTE DE AGUA TERMAL SUBTERRANEA

Dentro de esta etapa de estudio se realizó la localización de las captaciones en la zona de estudio donde se registró 3 aforos de agua termal subterránea. Estas fuentes fueron codificadas con una determina codificación y con una sus respectiva coordenada UTM, cabe resaltar que el registro se realizó en tiempos de estiaje

Tabla 6.2 Inventario de fuentes de agua termal subterránea

Fuentes de agua termal subterránea									
N°	Fecha	Código	Nombre	Tipo de manante	Régimen	Uso	Coordenadas UTM		Caudal (lt/s)
							X	Y	
1	18/04/2024	Q-al-fl-01	Pampa Pujio I	Captado	Permanente	Recreativo	260851	8426685	3.12
2	18/04/2024	Q-al-fl-02	Pampa Pujio II	Captado	Permanente	Recreativo	260866	8426670	1.76
3	18/04/2024	Q-al-fl-03	Pampa Pujio III	Captado	Permanente	Recreativo	260823	8426589	1.54

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 CLASIFICACION DE LOS MANANTES SEGÚN LOS CAUDALES

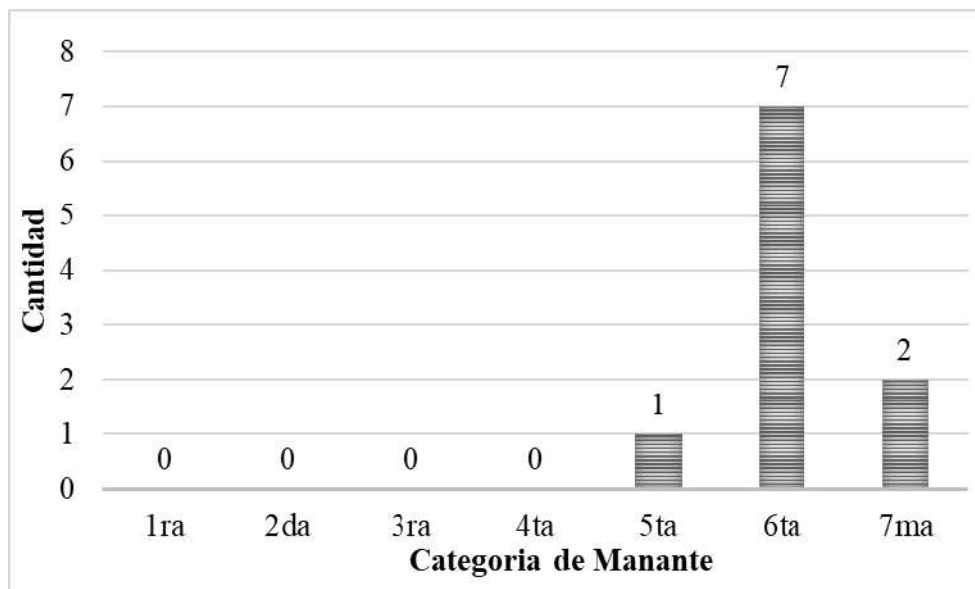
Para realizar la clasificación se tomó en cuenta los caudales máximos y mínimos de las captaciones que se encuentran en nuestra zona de estudio que se encuentran en nuestra zona de estudio (2.31-0.18 l/s) que fueron aforados en el mes de marzo del 2024.

Tabla 6.3 Clasificación de manantes por su productividad

Categoría	Unidad (lt/s)
1ra	Superior a 2830
2da	Entre 283 y 2830
3ra	Entre 28.3 y 283
4ta	Entre 10.0 y 28.3
5ta	Entre 3.0 y 10.01
6ta	Entre 1.0 y 3.01
7ma	Menores a 1.01

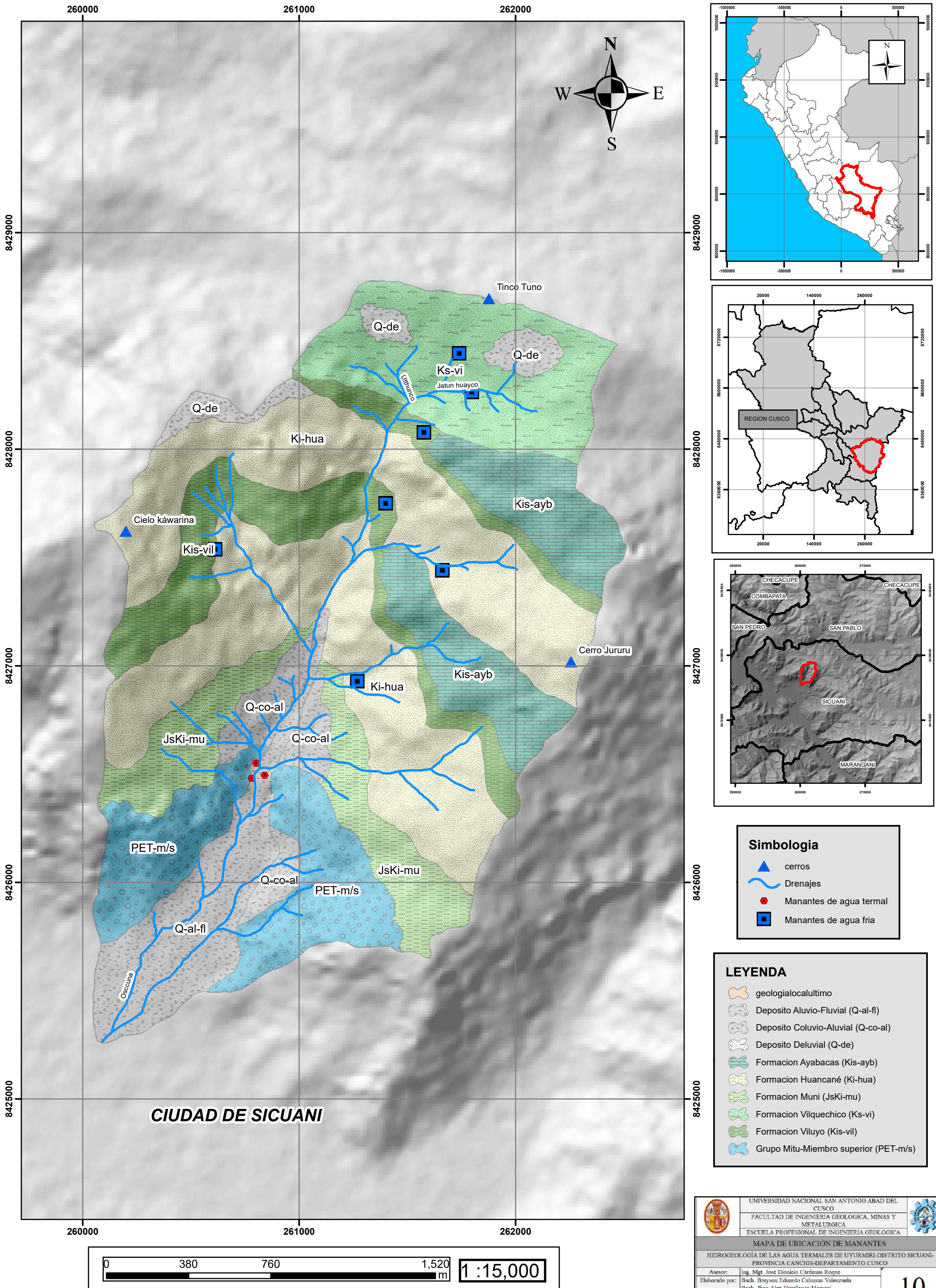
Nota: Según esta tabla se clasifico 10 manantes por su caudal, de los cuales 1 es de quinta categoría (agua termal), 7 de sexta (2 agua termal y 5 de agua fría) y 2 son de séptima categoría (agua fría). Fuente: Meizer (1923)

Figura 6.1 Diagrama de clasificación de manantes por su productividad



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.2 Mapa de distribucion manantes en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboracion propia

6.3 PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS

Los parámetros hidrogeológicos, nos ayudan a conocer el comportamiento del flujo subterráneo en interacción con el medio circundante, permitiéndonos caracterizar los acuíferos. Se describirá 4 parámetros hidrogeológicos fundamentales (permeabilidad, porosidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento), lo cual es necesario cuantificarlo para poder efectuar la clasificación hidrogeológica de las formaciones geológicas de la cuenca Uyurmiri.

6.3.1 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la medida con la que el agua pueda fluir a través de la porosidad primario o secundaria de las rocas, este parámetro cuantitativamente se define como el coeficiente de la permeabilidad y se define, como el caudal que pasa por una sección de acuífero bajo un gradiente (Custodio y Llamas, 1983).

6.3.1.1 PERMEABILIDAD DE MATERIALES NO CONSOLIDADOS

Para determinar la permeabilidad de este medio se realizó pruebas de infiltración en materiales no consolidados.

Este método consiste en realizar una perforación en el que se instala un tubo de marean perpendicular con el fin de determinar el descenso del agua en un periodo de tiempo (variación del nivel piezométrico).

Se hallará con la siguiente formula:

$$K = \frac{Q}{\pi \times d \times h}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

Q: Caudal admitido

d: Diámetro del sondeo (tubo)

h: Altura constante del agua por encima del nivel piezométrico

Tabla 6.4 Resultado del ensayo de permeabilidad de materiales no consolidados

P-1	Departamento	Cusco	Provincia	Canchis	Distrito	Sicuani	Q-co-al
	Norte	8425888	Este:	260827	Altitud	3730	
N°	Tiempo(s)	Descenso (cm)	Volumen (cm3)	Caudal cm3/s	Lt/s	Permeabilidad cm/s	m/s
1	120	3.2	75.988	0.633	0.00063	0.0267	0.0003
2	120	2.6	61.740	0.515	0.00051	0.0217	0.0002
3	120	1.8	42.743	0.356	0.00036	0.0150	0.0002
4	120	2	47.493	0.396	0.00040	0.0167	0.0002
5	120	1.5	35.619	0.297	0.00030	0.0125	0.0001
6	120	1.5	35.619	0.297	0.00030	0.0125	0.00013
7	120	1.7	40.369	0.336	0.00034	0.0142	0.00014
8	120	1.6	37.994	0.317	0.00032	0.0133	0.00013
9	120	1.5	35.619	0.297	0.00030	0.0125	0.0001
				Promedio	0.00038	0.01611	0.00016

P-2	Departamento	Cusco	Provincia	Canchis	Distrito	Sicuani	Q-de
	Norte	8427999	Este:	260894	Altitud	4292	
N°	Tiempo(s)	Descenso (cm)	Volumen (cm3)	Caudal cm3/s	Lt/s	Permeabilidad cm/s	m/s
1	120	2.2	52.242	0.435	0.00044	0.0183	0.0002
2	120	0.8	18.997	0.158	0.00016	0.0067	0.0001
3	120	1	23.746	0.198	0.00020	0.0083	0.0001
4	120	0.7	16.622	0.139	0.00014	0.0058	0.0001
5	120	0.6	14.248	0.119	0.00012	0.0050	0.0001
6	120	0.6	14.248	0.119	0.00012	0.0050	0.00005
7	120	0.5	11.873	0.099	0.00010	0.0042	0.00004
8	120	0.5	11.873	0.099	0.00010	0.0042	0.00004
				Promedio	0.00017	0.0072	0.0001

P-3	Departamento	Cusco	Provincia	Canchis	Distrito	Sicuani	Q-co-al
	Norte	8426657	Este:	260763	Altitud	3810	
N°	Tiempo(s)	Descenso (cm)	Volumen (cm3)	Caudal cm3/s	Lt/s	Permeabilidad cm/s	m/s
1	60	3	71.239	1.187	0.00119	0.0500	0.0005
2	60	2.5	59.366	0.989	0.00099	0.0417	0.0004
3	60	2.2	52.242	0.871	0.00087	0.0367	0.0004
4	60	1.5	35.619	0.594	0.00059	0.0250	0.0003
5	60	0.5	11.873	0.198	0.00020	0.0083	0.0001
6	60	1.7	40.369	0.673	0.00067	0.0283	0.00028
7	60	1.6	37.994	0.633	0.00063	0.0267	0.00027
8	60	1.5	35.619	0.594	0.00059	0.0250	0.00025
				Promedio	0.00072	0.0302	0.0003

P-4	Departamento	Cusco	Provincia	Canchis	Distrito	Sicuani	Q-al-fl
	Norte	8425668	Este:	260481	Altitud	3643	
N°	Tiempo(s)	Descenso (cm)	Volumen (cm3)	Caudal cm3/s	Lt/s	Permeabilidad cm/s	m/s
1	120	4.5	106.858	0.890	0.00089	0.0375	0.0004
2	120	3.5	83.112	0.693	0.00069	0.0292	0.0003
3	120	2.8	66.490	0.554	0.00055	0.0233	0.0002
4	120	2.5	59.366	0.495	0.00049	0.0208	0.0002
5	120	2.9	68.864	0.574	0.00057	0.0242	0.0002
6	120	1.2	28.496	0.237	0.00024	0.0100	0.00027
7	120	1.5	35.619	0.297	0.00030	0.0125	0.00027
8	120	1.5	35.619	0.297	0.00030	0.0125	0.00027
				Promedio	0.00050	0.0213	0.0003

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3 Prueba de infiltración en materiales no consolidados.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.5 Resumen de pruebas de infiltración para materiales no consolidados

Unidades geológicas	Caudal		Permeabilidad	
	Lt/s	cm/s	m/s	m/día
Deposito Coluvial-Aluvial	0.0004	0.0161	0.0002	13.92
Deposito Deluvial	0.0002	0.0072	0.0001	6.21
Deposito Coluvial-Aluvial	0.0007	0.0302	0.0003	26.1
Deposito Aluvio-Fluvial	0.0005	0.0213	0.0003	18.36

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.4 Valores de permeabilidad efectiva según la litología

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas				Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres				Impermeables	
Capacidad de drenaje	Drenan bien						Drenan mal		No drenan		

Fuente: Custodio & Llamas (1983)

Los valores de permeabilidad determinados en campo de los diferentes depósitos cuaternarios nos indican que los depósitos son altamente permeables, en cuanto a su composición podemos señalar que tenemos mayor contenido de sedimentos gruesos como arenas y gravas en relación a limos y arcillas; lo que implica que estos depósitos permiten el movimiento rápido del

agua subterránea favoreciendo la infiltración. Según los valores de permeabilidad de Custodio & Llamas, se clasificarían como buenos acuíferos con una buena capacidad de drenaje.

6.3.1.2 PERMEABILIDAD DE MATERIALES CONSOLIDADOS (Porosidad secundaria)

Para materiales consolidados se estimó valores a los macizos rocosos de los afloramientos para después realizar una transformación a datos de permeabilidad.

Para estimar los valores de permeabilidad, se aplicó el método indirecto de Hoek y Bray (1981), el cual se basa en calcular los valores de los macizos rocosos considerando su sistema de fracturación, específicamente la abertura y el espaciamiento de las fracturas.

$$K = \frac{a^2 \times \gamma}{12 \times u \times b}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

a: Promedio de aberturas de fracturas

u: Coeficiente de viscosidad dinámica de agua (0.01g/cm.s)

b: Promedio de espaciado de fractura

γ: Peso específico del agua (0.0998 g/cm³)

Tabla 6.6 Valores de promedio de apertura y espaciado de las formaciones geológicas

Formaciones geológicas		Abertura (cm)		Promedio		Espaciamiento (cm)		Promedio
	Estrat.	Familia 1	Familia 2	"a"	Estrat.	Familia 1	Familia 2	"b"
Formación Huancané	0.1	0.5	0.5	0.37	60	22	45	42.33
Formación Viluyo	0.1	0.15	0.3	0.18	70	20	30	40.00
Formación Ayabacas	0.2	1	1	0.73	15	30	20	21.67
Grupo Mitu	0.1	0.2	0.15	0.15	30	40	15	28.33
Formación Muni	0.05	0.3	0.2	0.18	40	35	25	33.33
Formación Vilquechico	0.08	1	0.4	0.49	50	35	30	38.33

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando valores en la formula general de la Formación Huancané

$$K = \frac{a^2 \times \gamma}{12 \times u \times b}$$

$$K = \frac{0.37^2 \times 0.998}{12 \times 0.01 \times 42.33}$$

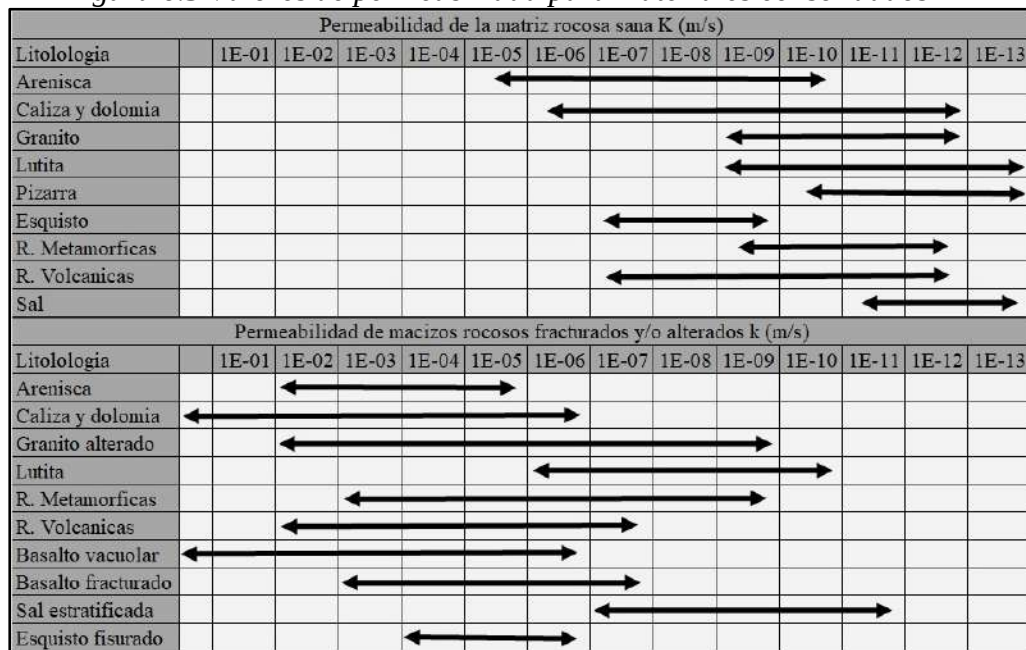
$$K = 0.026 \text{ cm/s}$$

Tabla 6.7 Cuadro resumen de los valores de permeabilidad de las formaciones geológicas

Formaciones geológicas	Permeabilidad efectiva "k"		
	(cm/s)	(m/s)	(m/dia)
Formación Huancané	0.026	0.00026	22.820
Formación Viluyo	0.007	0.00007	6.038
Formación Ayabacas	0.206	0.00206	178.350
Grupo Mitu	0.007	0.00007	5.706
Formación Muni	0.008	0.00008	7.245
Formación Vilquechico	0.053	0.00053	45.621

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.5 Valores de permeabilidad para materiales consolidados



Fuente: Hudson y Harrison (2000)

La permeabilidad de 0.00007 m/s que pertenecen a las formaciones Muni y Viluyo (intercalaciones de areniscas arcósicas y lutitas), nos indica una permeabilidad relativamente baja, cabe señalar que para la evaluación de los datos tomados en campo se realizó netamente de las areniscas sin considerar la baja permeabilidad de las lutitas, lo que implica que estas formaciones geológicas pueden almacenar agua debido al grado de fracturamiento de las areniscas pero no transmite el flujo fácilmente ya que tenemos predominancia de las lutitas. En cuanto a los valores de permeabilidad de 0.00026 y 0.00206 m/s correspondientes a las formaciones Huancané y Ayabaca (areniscas y calizas respectivamente), nos indican que el macizo rocoso está altamente fracturado, donde el almacenamiento y transporte del agua se da de manera eficiente debido a la alta permeabilidad.

6.3.2 POROSIDAD

La porosidad de un material consolidado y no consolidado esta expresado por la relación entre el volumen de vacíos (agua o aire) y el volumen total (Custodio & Llamas, 1976), dentro de los materiales consolidados se puede apreciar la porosidad primaria y secundaria; la porosidad primaria está referido a los poros que se forma durante la litificación del material y esto está condicionado por procesos geológicos como la compactación y sedimentación. En cuanto a la porosidad secundaria nos referimos a los poros que se forma después de la deposición y litificación de los materiales las cuales están condicionadas por procesos geológicos posteriores (esfuerzos tectónicos) y se expresan como fallas, fracturas.

6.3.2.1 POROSIDAD EFICAZ

La porosidad eficaz nos indica la capacidad de almacenar y transmitir fluidos (agua), esta porosidad es muy importante ya que determina el potencial de un material para permite el flujo a través de él, el cual se determina entre la relación del volumen de poros conectados entre sí y el volumen total de la muestra.

$$me = \frac{Ve}{Vt} \times 100$$

Donde:

m_e : Porosidad eficaz

V_e : Volumen total de poros conectados entre si

V_t : Volumen total

Relación entre el volumen total y volumen eficaz

$$m_t = m_e + m_s$$

m_t : porosidad total

m_e : porosidad eficaz

m_s : capacidad de retención específica

6.3.2.2 CAPACIDAD DE RETENCION ESPECIFICA

El agua retenida en el material esta expresado entre la relación del volumen de agua retenida saturada inicialmente y el volumen total

$$m_s = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Donde:

m_s : Capacidad de retención específica

V_s : Volumen de agua retenida en la roca

V_t : Volumen total

En la zona de estudio se aprecia la porosidad primaria y secundaria de los material consolidados y no consolidados. En cuando a la porosidad de fracturas a nivel regional está controlada por la falla Sicuani y San Felipe que tiene una dirección andina y controlan la sugerencia del agua termal, cabe resaltar que el área de trabajo también se observa estructuras como diaclasas y fallas locales que aumentan considerablemente la porosidad secundaria de las rocas y regulan el comportamiento hidráulico de la surgencia del agua termal.

Para la evaluación de la porosidad total y eficaz de los materiales de nuestra zona de estudio se tomó en cuenta el cuadro de valores de porosidad según Sanders (1998).

Figura 6.6 Valores de porosidad de materiales consolidados y no consolidados

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Fuente: Sanders (1998)

6.3.3 TRANSMISIVIDAD

La transmisividad hidráulica, o simplemente transmisividad, se refiere al flujo de agua subterránea que circula a través de una sección de un acuífero con un espesor saturado determinado, y es un indicador de la capacidad de explotación del acuífero. Este parámetro fue introducido por Teheis en 1935, quien lo definió como el caudal de agua que se filtra a través de una franja vertical del terreno, con un ancho unitario y una altura igual al manto permeable saturado, bajo un gradiente de unidad y a una temperatura constante (Custodio & Llamas, 1976). . Según la ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera:

$$Q = k \times A \times i$$

$$A: b * L$$

$$T= k * b$$

Donde: A: Área de sección a través de la cual fluye el agua

- b: Altura de la sección
- L: Longitud de la sección
- k: Coeficiente de permeabilidad
- T: Transmisividad

Para el cálculo de la transmisividad se utilizó la formula experimental de Galofre (Importante hidrogeólogo de la Generalitat de Catalunya) que comprobó que:

$$T \text{ (m}^2\text{/día)} = 100 * q \text{ (lt/s/m)}$$

Es decir, el caudal aforado en campo de una captación (q) se indica en lt/s/m teniendo en cuenta un declive de 10 m, la transmisividad expresada en m²/día es 100 veces q.

Tabla 6.8 Valores de transmisividad de los puntos de manantes captados

FUENTES DE AGUA FRIA SUBTERRANEA							
Código	Coordenadas UTM		Caudal		q	Transmisividad	
	X	Y	Q(lt/s)	Q(m3/día)	(lt/s.m)	T(m2/s)	T(m2/día)
Vil-01	261739	8428444	2.02	174.5	0.202	20.20	17.5
Vil-02	261799	8428265	2.31	199.6	0.231	23.10	20.0
Ay-01	261577	8428078	1.46	126.1	0.146	14.60	12.6
Hu-01	260612	8427539	0.18	15.6	0.018	1.80	1.6
Vi-01	261400	8427751	1.15	99.4	0.115	11.50	9.9
Vi-02	261662	8427442	1.04	89.9	0.104	10.40	9.0
Mu-01	261269	8426928	0.37	32.0	0.037	3.70	3.2

Fuentes de agua termal subterránea							
Código	Coordenadas UTM		Caudal		q	Transmisividad	
	X	Y	Q(lt/s)	Q(m3/día)	(lt/s.m)	T(m2/s)	T(m2/día)
Q-al-fl-01	260851	8426685	3.12	269.6	0.31	0.00031	27.0
Q-al-fl-02	260866	8426670	1.76	152.1	0.18	0.00018	15.2
Q-al-fl-03	260823	8426589	1.54	133.1	0.15	0.00015	13.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.9 Valores de transmisividad para puntos de caudales

T(m/d)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1lt/s con 10m de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10lt/s con 10m de depresión

100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50lt/s con 10m de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100lt/s con 10m de depresión
T>1000	Muy alta	Mas de 100lt/s con 10m de depresión

Fuente: Iglesias (2002)

Tomando en cuenta los datos de Iglesias, 2002; las aguas subterráneas frías (1.6 - 20.0 m²/d) se clasifican de muy bajas a bajas, según su transmisividad; mientras las aguas subterráneas termales (13.3 – 27 m²/d) son de baja transmisividad, de manera general en la zona de estudio según su transmisividad corresponde de muy bajas a bajas, lo que nos indica que son menores a 100 m²/d.

6.3.4 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El coeficiente de almacenamiento es un parámetro clave en hidrogeología, que se refiere al volumen de agua que puede extraerse de un prisma de acuífero, cuya base tiene una unidad de área y cuya altura corresponde a la altura saturada del acuífero. Este parámetro, denotado como S, es adimensional.

Figura 6.7 Diferencias de acuífero libre y cautivo con referencia al coeficiente de almacenamiento

Acuífero libre	Acuífero Cautivo
Simple drenaje físico	Efectos elasticos del agua y del acuífero. Problema de subcendencia o Hundimiento del terreno progresivos por explotacion excesiva del acuífero cautivo. Relacion con los cambios de presion atmosferica (eficiencia barometrica) o a las mareas (eficiencia a las mareas)
S= m _e Valores de 0 y 0.3 a 0.4 400 L/m3 y m de descenso	S= $Y \cdot b \cdot (m \cdot \beta + \alpha)$ Donde: Y = Peso especifico dela agua b = Espesor del acuífero m= Porosidad del acuífero β= Coeficiente de compresibilidad del agua α= Coeficiente de compresibilidad del terreno Valores= de E-3 a E-5 0.001 0.0001 L/m3 y metro de descenso.

Fuente: Custodio (2009)

Para el análisis de los materiales no consolidados de nuestra zona de estudio el coeficiente de almacenamiento sería semejante a la porosidad eficaz (m_e), dado que estos materiales trabajan como acuíferos libres.

En el caso de los materiales consolidados de la zona de estudio se tomó en cuenta el coeficiente compresibilidad del tipo del material y el coeficiente y compresibilidad del agua (depende del temperatura y composición química).

$$S1 = m \times \gamma \times b \times \beta$$

Donde: m: porosidad total del acuífero

- γ : peso específico del agua
- b: espesor del acuífero
- β : coeficiente de compresibilidad dinámica del agua

6.4 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS

Para la caracterización hidrogeológica se tomó en cuenta los valores determinados de los parámetros hidrogeológicos ya que tienen una estrecha relación con el movimiento de las aguas subterráneas.

Para el mejor entendimiento de la clasificación hidrogeológica de los acuíferos se dividió en acuíferos fisurados en rocas y acuíferos porosos no consolidados de depósitos cuaternarios.

6.4.1 ACUIFEROS SEDIMENTARIO

Los acuíferos sedimentarios son formaciones geológicas de roca sedimentaria que permiten el paso del agua a través de sus poros y fracturas. Se clasifican en acuíferos libres, que reciben su suministro directamente de la precipitación, y acuíferos confinados, que se alimentan desde zonas más alejadas. En la zona de estudio se identificaron los siguientes acuíferos.

6.4.1.1 ACUÍFEROS FISURADOS EN ROCA SEDIMENTARIA

Este tipo de acuífero se caracterizan por que están controladas mayormente por la porosidad secundaria (fallas, fracturas).

6.4.1.2 ACUIFERO FISURADO VOLCANICO-SEDIMENTARIO MITU

Este acuífero está ubicado en la parte sur (inferior) de la cuenca de Uyurmiri y presenta un alto grado de fracturamiento (porosidad secundaria) al igual del Huancané, litológicamente este compuesto por areniscas(grauvacas) y brechas. Esta formación geológica es muy importante ya que es donde aflora el agua termal debido a la conexión entre las fallas local con las fallas regionales San Felipe y Sicuani (Ver figura 6.16) .

Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos del Grupo Mitu presenta una porosidad eficaz de (n_e : 0.01 – 0.5) y una permeabilidad efectiva de ($7E-05$), tomando en cuenta y realizando la interpretación de permeabilidad, porosidad y la sección C-C' está unida geológica actúa como un acuífero fisurado por fallas y diaclasamiento (porosidad secundaria).

Figura 6.8 Acuífero fisurado volcánico-sedimentario Mitu



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.3 ACUIFERO FISURADO HUANCANE

El acuífero Huancané es muy importante en la zona de estudio debido a su alto grado de fracturamiento; litológicamente están constituidas por areniscas cuarzosas blanquecinas y lutitas insignificantes; este acuífero se caracteriza por la gran porosidad secundaria que presenta, debido a que este sector fue controlado por esfuerzos de compresión y distensión con fallamientos longitudinales, generados por la sobreimposición de eventos tectónicos.

El movimiento del flujo subterráneo de este acuífero se da a lo largo del Sinclinorio del Cretácico donde su zona de recarga ocurre por la infiltración de las precipitaciones en la comunidad de Sami (acuífero confinado). Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos de la Formación

Huancané, presenta una porosidad eficaz de (n_e : 0.5 – 10) y una permeabilidad efectiva de ($2.6E-04$) lo que nos indica que pertenece a un reservorio de aguas subterránea (acuífero potencial).

Figura 6.9 Acuífero confinado fisurado Huancané en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.4 ACUIFERO KARSTICO AYABACAS

Este acuífero está ubicado al NE de la cuenca Uyurmiri y está controlada por la falla Sicuani y a consecuencia por un alto grado de fracturamiento, es muy importante a que por esta formación geológica circula el agua termal, litológicamente este compuesto por calizas grises con bandeamiento de color pardo, lo más resaltante de este acuífero es el desarrollo posterior de las zonas permeables por disolución del carbonato, es decir la formación de un Karst por lo que actúa como un excelente acuífero.

Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos de la Formación Ayabacas presenta una porosidad eficaz de (n_e : 5 – 40) y una permeabilidad efectiva de ($2,06E-03$), tomando en cuenta y realizando la interpretación de permeabilidad y porosidad se puede deducir que dentro de esta formación se presenten posibles canales subterráneos.

Figura 6.10 Acuífero Kárstico Ayabacas en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.5 ACUIFERO LIBRE FISURADO VILQUECHICO

Este acuífero está ubicado en la cabecera de la cuenca Uyurmiri el cual abarca gran parte del área de recarga de toda la cuenca, es importante señalar que presenta capas impermeables (lutitas), litológicamente este compuesto por areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas rojas y verdosas, cabe resaltar que presenta un alto grado de fracturamiento (porosidad secundaria) al igual que la Formación Huancané, este acuífero es importante porque limita con la falla regional San Felipe, dicha falla se encarga de la surgencia a profundidad del agua termal.

Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos de la Formación Vilquechico presenta una porosidad eficaz de (n_e : 0.5 – 15) y una permeabilidad efectiva de ($5.3E-04$) dicha variación de los valores se debe a la intercalación de lutitas.

Figura 6.11 Acuífero libre fisurado de la Vilquechico en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

6.4.2 ACUITARDO DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Esta unidad hace referencia a las formaciones geológicas que tiene una baja transmisividad de agua subterránea (no deja pasar el agua) y son impermeables. Es muy importante ya que actúa como sello suprayacente o subyacente de otras unidades hidrogeológicas (acuíferos).

6.4.2.1 ACUITARDO MUNI

Esta unidad hidrogeológica se encuentra ubicado en la parte central de la cuenca Uyurmiri y está compuesta por areniscas subarcosicas, limoarcillitas, lodolitas y lutitas. Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos de la Formación Muni presenta una porosidad eficaz de (n_e : 0.5 – 12) y una permeabilidad efectiva de ($8E-05$), lo que nos indica una alta porosidad y una baja permeabilidad por lo que la transmisión de agua se da por fracturamiento y presión hidrostática; cabe resaltar que este acuitardo, actúa como capa subyacente al acuífero Huancané.

Figura 6.12 Acuitardo muni en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

6.4.2.2 ACUITARDO VILUYO

Esta unidad hidrogeológica (acuitardo) se encuentra en la parte central superior de la cuenca de Uyurmiri, la cual está compuesta por lutitas, limoarcillitas rojizas y areniscas arcosicas de grano fino a medio. Esta unidad es muy importante ya que limita con la falla regional Sicuani y se encuentra suprayaciendo como capa impermeable al acuífero Huancané a lo largo del sinclinorio Cretácico. Según el análisis de los parámetros hidrogeológicos de la Formación Viluyo presenta una porosidad eficaz de (n_e : 0.5 – 12) y una permeabilidad efectiva de ($7E-05$), lo que nos indica una alta porosidad y una baja permeabilidad por lo que la transmisión de agua se da por fracturamiento

y presión hidrostática; cabe resaltar que este acuitardo, actúa como capa subyacente al acuífero Huancané.

Figura 6.13 Acuitardo Viluyo en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

6.4.3 ACUIFEROS NO CONSOLIDADOS DE DEPOSITOS CUATERNARIOS

Esta unidad de acuífero corresponde a las formaciones detríticas no consolidadas, y se caracteriza por presentar capacidades de almacenamiento y transmisión buena, como se observa en la sección tomográfica A-A' (Sección realizada en el depósito aluvio-fluvial); en la zona de estudio litológicamente están conformadas por gravas, matriz arenosa, limos y arcillas, por lo que permite el movimiento del agua por este medio.

De acuerdo al análisis de los parámetros hidrogeológicos de estos materiales la permeabilidad efectiva varía entre (k : $1E-04$ a $3E-04$), y la porosidad eficaz de (n_e : 5 a 20), lo que nos indica que el grado de saturamiento en estos tipos de materiales no consolidados es alto.

Figura 6.14 Acuífero poroso de depósito aluvió – fluvial en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboracion propia

Figura 6.15 Acuífero poroso de depósito coluvio – aluvial en la quebrada Uyurmiri



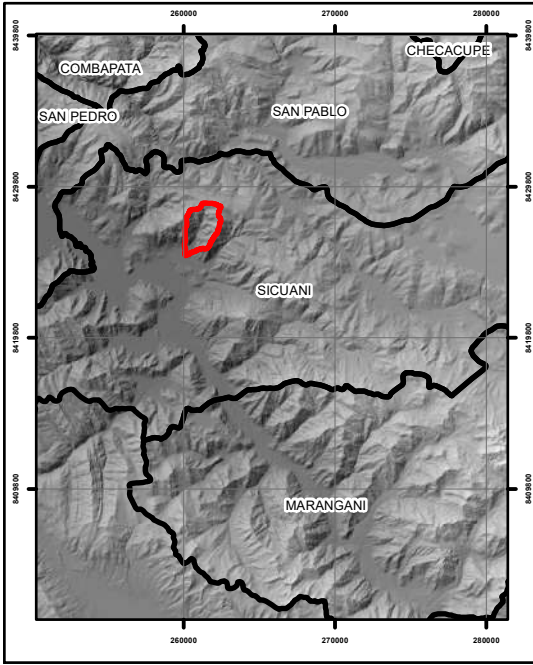
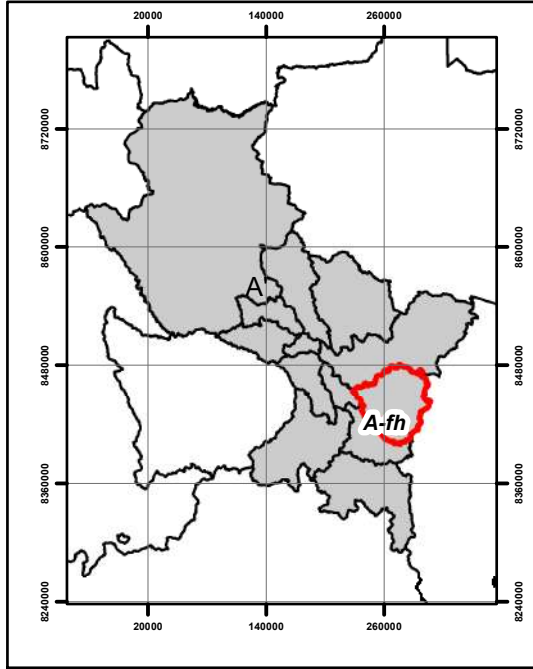
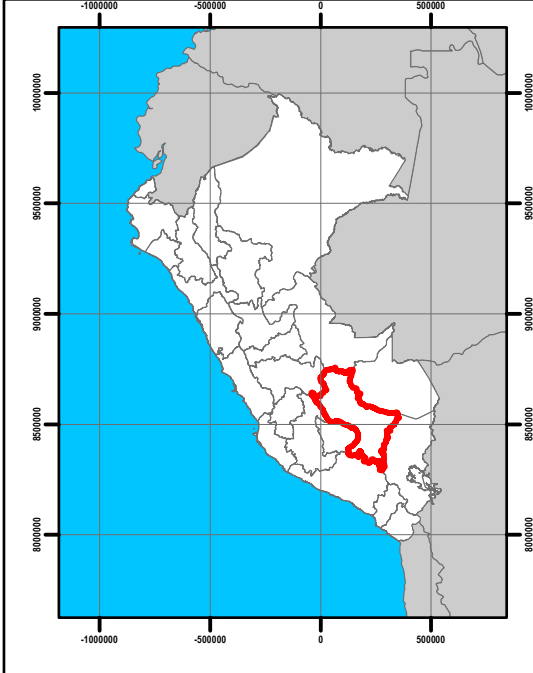
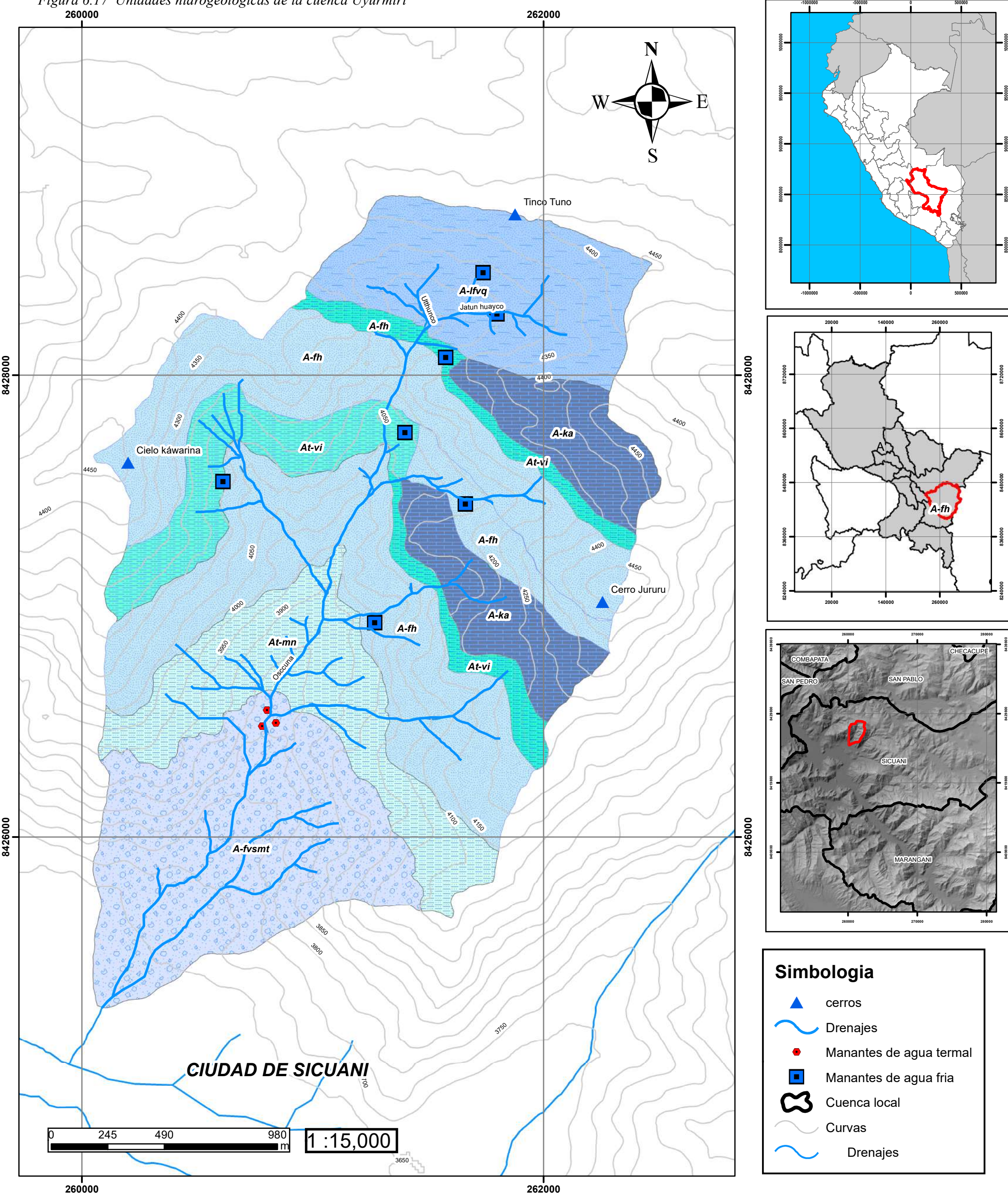
Fuente: Elaboracion propia

Figura 6.16 Acuífero poroso de depósito deluvial en la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.17 Unidades hidrogeológicas de la cuenca Uyurmiri



Simbologia

cerros

Drenajes

Manantes de agua termal

Manantes de agua fria

Cuenca local

Curvas

Drenajes

Leyenda

Acuifero Karstico Ayabacas(A-ka)

Acuifero fisurado Huancane(A-fh)

Acuifero fisurado volcanico-sedimentario Mitu(A-fvsm)

Acuifero libre fisurado Vilquechico (A-lfvq)

Acuitardo Muni (At-mn)

Acuitardo Viluyo(At-vi)

Fuente: Elaboracion propia

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

HIDROGEOLOGÍA DE LAS AGUA TERMALES DE UYURMIRI-DISTRITO SICUANI-PROVINCIA CANCHIS-DEPARTAMENTO CUSCO

Aseor: Ing. Mgt. José Dionicio Cárdenas Roque

Elaborado por: Bach. Breyson Eduardo Cahuana Valenzuela
Bach. Jhon Alex Jihuallanca Mamani

Datun horizontal: WGS 1984

Escala: 1:100 000

Sistema de proyeccion: UTM ZONA 19 S

N° de mapa: 11

CAPITULO VII: HIDROGEOQUIMICA

7.1 GENERALIDADES

La hidrogeoquímica estudia el flujo del agua como un medio de transporte de las características físico-química, química e isotópicas (Custodio & Llamas, 1976); en este capítulo el objetivo principal es el análisis de la composición química de las aguas subterráneas y su interacción con el entorno geológico en el que fluye, por lo que analizaremos la concentración de los distintos elementos o compuestos químicos en el agua subterránea.

En nuestra zona de estudio se realizó el muestreo para el análisis físico-químico en laboratorio y se evaluó los parámetros físico-químicos medidos en campo (Ph, conductividad, temperatura, contenido de sales), con el equipo multiparámetro.

7.2 PARAMETROS FISICO-QUIMICO

Durante la evaluación de los fluidos termales y las aguas superficiales se realizaron determinaciones in-situ de los parámetros físico-químicos (Ph, conductividad, temperatura, contenido de sales), este análisis se realizó donde aflora el agua termal. (ver tabla 7.9)

7.2.1 pH

El pH del agua nos indica el grado de acidez o de alcalinidad de una solución acuosa y depende de la geología por la que fluye el agua, la presencia de minerales sueltos y la actividad biológica. La medición de este parámetro físico-químico se realizó en campo durante la salida de campo por el mes de abril del 2024. La metodología que se utilizó para realizar la medición fue mediante el equipo portátil multiparámetro. Se realizó la evaluación en los puntos de surgencia del agua termal (3 afloras) y un afloramiento del agua superficial fría.

Tabla 7.1 Parámetros físico-químicos tomados en campo del pH

Fecha	Nombre	Coordenadas		pH
		Este	Norte	
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	6.53
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	6.54
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	6.57
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	9.66

Fuente: Elaboración propia

El registro del pH promedio es de 6.55 lo que nos indica que el agua es ligeramente acida ya que se encuentra por debajo del punto neutral de pH 7, este valor de pH es debido a la presencia de ácidos débiles disueltos en el agua como el dióxido de carbono (CO_2) que en reacción con el agua forma el ácido carbónico (HCO_4)

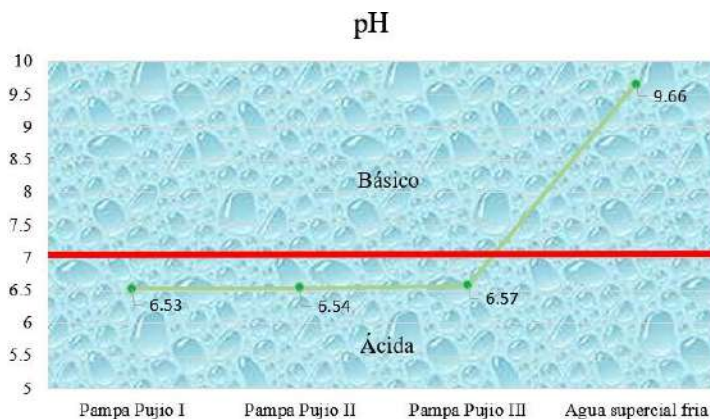
Figura 7.1 Medición del pH Pampa Pujio III



Fuente: Elaboración propia

Los valores de pH del agua termal varia de 6.53 a 6.57 los cuales indican que es más acida que básica con una tendencia casi neutra y el pH del agua superficial fría es de 9.66 lo que nos indica que tiene un contenido básico.

Figura 7.2 Histograma comparativo de los valores de pH de las fuentes termales y aguas superficiales



Fuente: Elaboración propia

7.2.2 TEMPERATURA

La temperatura es parámetro muy importante en la hidrogeoquímica ya que nos ayuda a conocer el origen geotermal la cual puede estar asociada por actividad volcánica, gradiente geotérmico o procesos tectónicos. La medición de este parámetro se realizó en la campaña de campo en abril del 2023, donde la temperatura varia de (38°C a 37.7°C) con un promedio de 36.67°C, también se realizó el registro de la temperatura de las aguas superficiales frías (13.8°C), con el fin de tener en cuenta el descenso de temperatura del agua termal.

Tabla 7.2 Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de temperatura

Fecha	Nombre	Coordenadas		T° (°C)
		Este	Norte	
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	37.7 °C
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	38.0 °C
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	37.3 °C
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	13.8 °C

Fuente: Elaboración propia

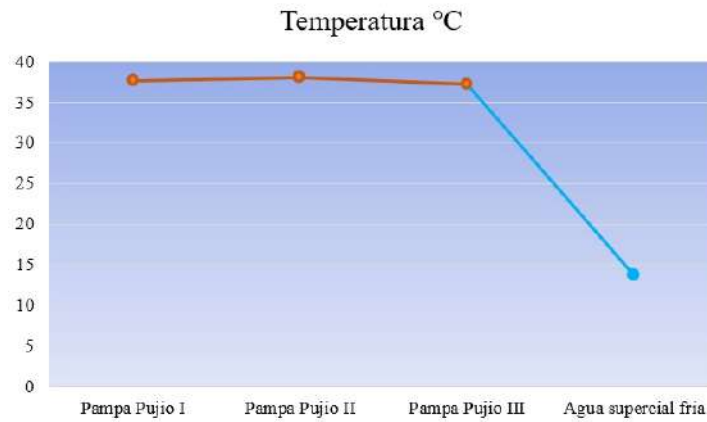
El promedio de temperatura registrado de la surgencia del agua termal es de 36.67 °C lo que nos indica que, de acuerdo a la evaluación geológica, hidrogeológica realizada está relacionado a la presencia de rocas permeables o semipermeables con alto grado de fracturamiento (acuífero fisurado Huancané) que facilita la circulación del agua caliente, mientras que las rocas impermeables (acuitardo Viluyo y Muni) forman reservorios que calientan y acopian el agua antes de su surgencia

Figura 7.3 Medición de temperatura Pampa Pujio I



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.4 Histograma comparativo de los valores de temperatura de las fuentes termales y aguas superficiales



Fuente: Elaboración propia

7.2.3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductividad eléctrica es la mediada de capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, se expresa en Microsiemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), este parámetro está relacionado con la cantidad de sales disueltas en el agua y con la temperatura, es muy importante porque nos ayuda a evaluar la calidad del agua y entender su composición química. En la zona de estudio se realizó el registro de este parámetro en los 3 puntos de surgencia del agua termal las cuales están en el rango de $3679 \mu\text{S}/\text{cm}$ - $3719 \mu\text{S}/\text{cm}$ con un promedio de $3701.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ y del agua superficial fría se registró el valor de $277 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 7.3 Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de conductividad eléctrica

Fecha	Nombre	Coordenadas		Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
		Este	Norte	
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	3706
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	3719
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	3679
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	277

Fuente: Elaboración propia

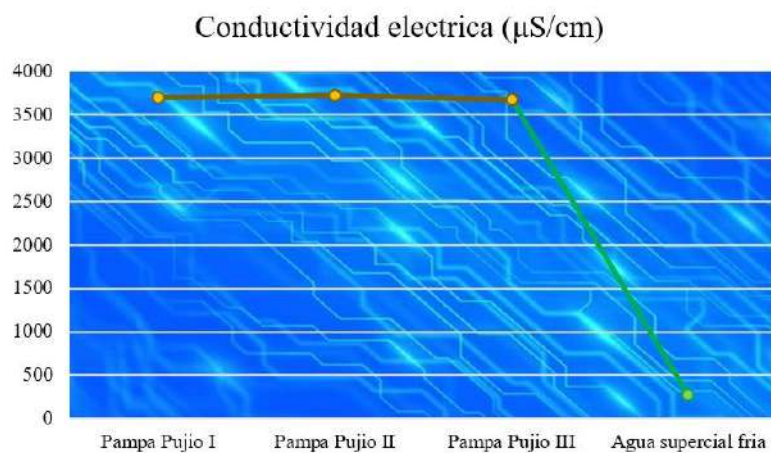
El promedio de la conductividad eléctrica de la surgencia del agua termal 3701.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nos indica una alta conductividad eléctrica, lo que significa que el agua contiene grandes cantidades de sales iónicas disueltas como cloruros, sulfatos, bicarbonatos, etc. Lo que no se puede apreciar en el agua superficial fría con un registro de 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 7.5 Medición de la conductividad eléctrica Pampa Pujio II



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.6 Histograma comparativo de los valores de conductividad eléctrica de las fuentes termales y aguas superficiales



Fuente: Elaboración propia

7.2.4 SALES SOLUBLES

La concentración de sales disueltas en el agua termal señala la existencia de cloruros, sulfuros, carbonatos, bicarbonatos, entre otros. Se disuelve debido a su solubilidad, estos compuestos provienen de las rocas del subsuelo por donde fluye el agua termal. En la zona de estudio se hizo el registro del 3 punto de surgencia del agua termal donde se encuentran en un rango de 1766-1793ppm con un promedio de 1779.7 ppm, también se registró en el agua superficial fría con un valor de 137ppm.

Tabla 7.4 Parámetros fisicoquímicos tomados en campo de contenido de sales

Fecha	Nombre	Coordenadas		Sales solubles (ppm)
		Este	Norte	
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	1777
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	1769
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	1793
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	137

Fuente: Elaboración propia

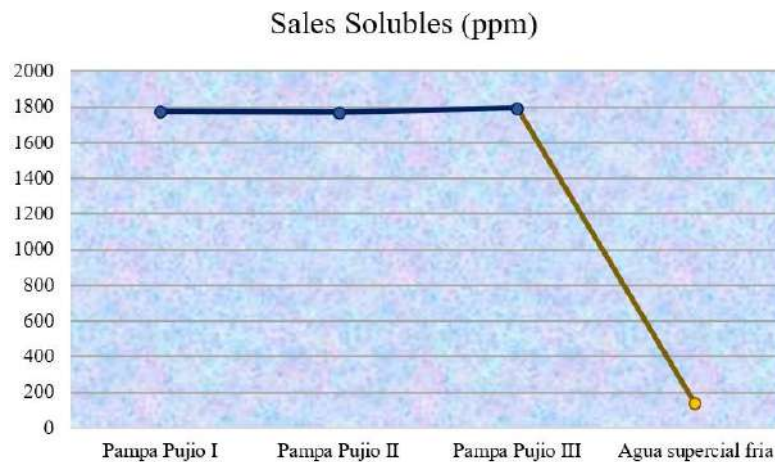
La media de sales solubles en el agua termal es de 3779.7 ppm, lo que sugiere una considerable concentración de sales disueltas, como cloruros, sulfuros, bicarbonatos, entre otros. La alta concentración de sales solubles nos indica que el agua termal ha estado en un contacto duradero con las rocas del subsuelo por el cual fluye el agua (acuífero fisurado Huancané) por lo que este acuífero presenta rocas con estos compuestos.

Figura 7.7 Medición de las sales solubles Pampa Pujio III



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.8 Histograma comparativo de los valores de contenido de sales de las fuentes termales y aguas superficiales



Fuente: Elaboración propia

Ya analizados los parámetros físico-químicos del agua termal se muestra a continuación un cuadro resumen de las características del agua termal.

Tabla 7.5 Parámetros fisicoquímicos tomados en campo

Fecha	Nombre	Coordenadas		T° (°C)	pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Sales solubles (ppm)
		Este	Norte				
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	37.7 °C	6.53	3706	1777
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	38.0 °C	6.54	3719	1769
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	37.3 °C	6.57	3679	1793
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	13.8 °C	9.66	277	137

Fuente: Elaboración propia

7.3 MUESTREO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES

En nuestra zona de estudio se recolecto 7 muestras de agua; 2 muestras de cada punto de surgencia de agua termal y 1 muestra del agua superficial fría. Para el correcto muestreo se tuvo en cuenta los siguientes detalles.

- Se identifico los puntos de muestreo representativos (donde aflora o surge el agua termal)

- Se llevo a cabo adecuadamente el muestreo con su codificación correspondiente, evitando la contaminación y asegurándonos de recolectar la muestra más representativa.
- El muestreo se realizó en recipientes limpios y estériles de contaminación y por ultimo las muestras fueron transportadas inmediatamente al laboratorio y en condiciones apropiadas.

El muestreo se realizó en los puntos de surgencia del agua termal y en el cauce del río del agua superficial.

Figura 7.9 Muestreo de aguas termales y aguas superficiales fría.

Las muestras M-5 y M-6 representa la surgencia de Pampa Pujio II; la muestra M-4 y M-3 representa la surgencia de Pampa Pujio III y la muestra M-1 y M-2 representa la surgencia de Pampa Pujio I y la muestra M-7 representa el agua fría





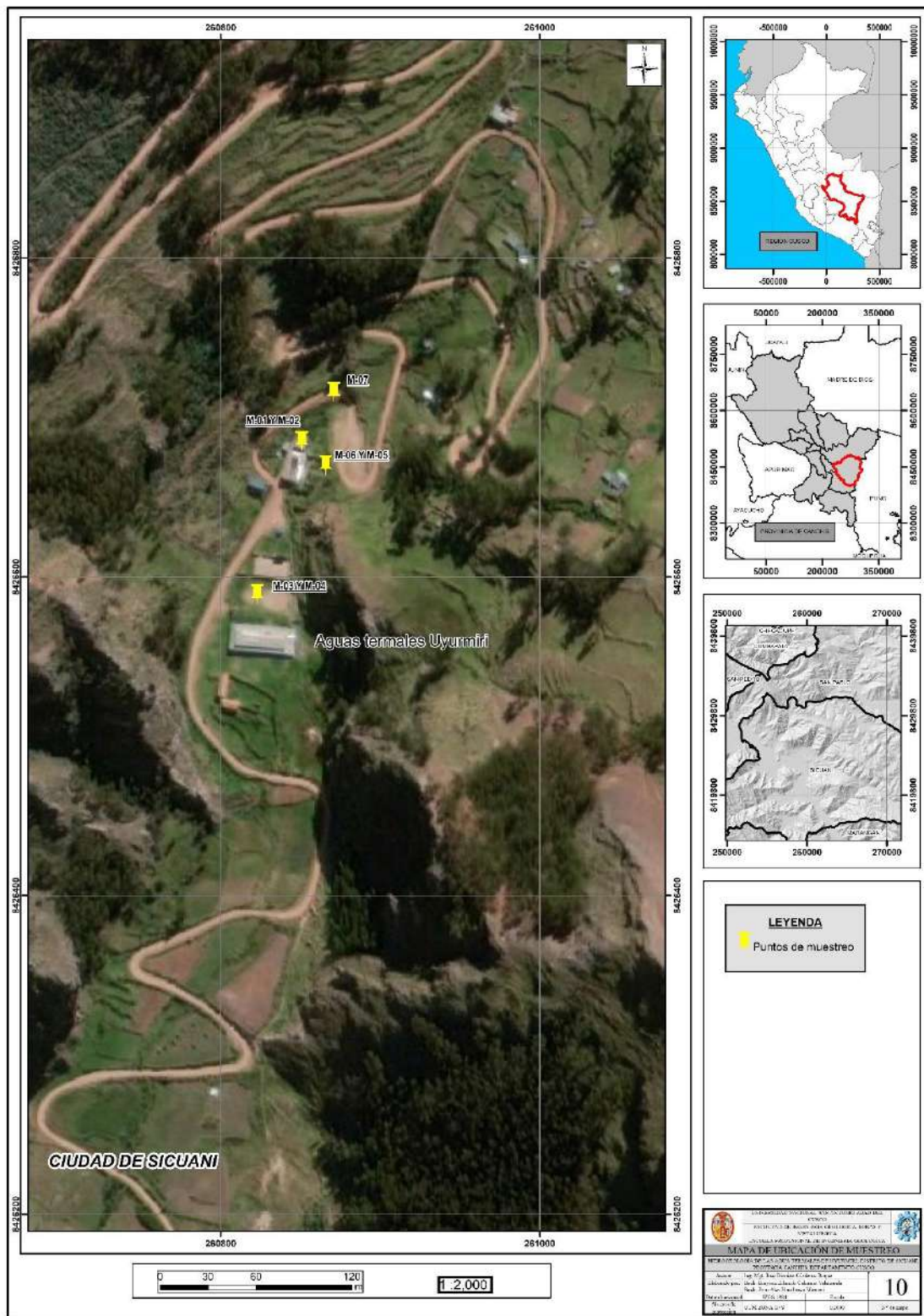
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.6 Datos de los puntos de muestreo en campo

Fecha	Nombre	Coordenadas		Muestreo
		Este	Norte	Código
18/04/2024	Pampa Pujio I	260851	8426685	M-1, M-2
18/04/2024	Pampa Pujio II	260866	8426670	M-5, M-6
18/04/2024	Pampa Pujio III	260823	8426589	M-3, M-4
18/04/2024	Agua superficial fría	260871	8426716	M-7

Fuente: Elaboración propia

Figura 7.10 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de aguas subterráneas



Fuente: Elaboración propia

7.4 RESULTADOS QUIMICOS

Ya realizadas las campañas de muestreo de las aguas y llevadas al laboratorio se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 7.7 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio I

Muestra M-01									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	368.3	210.9	42.1	83.6	1599.7	136.8	149.1	11.2	1269.87
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	
Contenido en meq/litros	18.42	9.17	1.08	6.97	26.22	2.85	4.26	0.34	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.8 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio II

Muestra M-05									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	265.7	240.2	58.4	59.0	1587.0	50.2	200.5	13.2	1289.61
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	
Contenido en meq/litros	13.29	10.44	1.50	4.92	26.02	1.05	5.73	0.41	

Muestra M-06									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	280.5	223.7	54.8	47.3	1538.0	53.4	223.2	11.9	1285.23

Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5
Contenido en meq/litros	14.02	9.72	1.41	3.94	25.21	1.11	6.38	0.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.9 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio III

Muestra M-03									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	486	252	74	16	1574	239	280	13	1281.97
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	
Contenido en meq/litros	24.3	11.0	1.9	1.3	25.8	5.0	8.0	0.4	
Muestra M-04									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	460.9	235.1	69.3	21.3	1597.8	252.8	264.3	14.3	1278.64
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	
Contenido en meq/litros	23.04	10.22	1.78	1.78	26.19	5.27	7.55	0.44	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.10 Resultados de laboratorio de las muestras de agua superficial fría.

Muestra M-07									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	65.4	4.2	1.6	7.4	136.0	80.5	7.0	0.3	111.5
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	
Contenido en meq/litros	3.27	0.18	0.04	0.61	2.23	1.68	0.20	0.01	

Fuente: Elaboración propia

7.5 EVALUACION DE RESULTADOS QUIMICOS

La evaluación de los resultados es de suma importancia para la confiabilidad de los resultados proporcionados por el laboratorio, en esta evaluación se hace el análisis mediante el

balance iónico que tiene como relación la diferencia de cationes y aniones entre el total es estos en (meq/l) como se muestra en la Figura 7.10.

7.5.1 BALANCE IONICO

Para realizar el balance iónico de los resultados del laboratorio los valores de los cationes y aniones deben estar expresados en miliequivalente por litro (meq/l).

Figura 7.11 Ecuación del porcentaje de error

$$Error = \left| \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones} \right| \times 100$$

Fuente: Gómez, 2009

Para la evaluación de los resultados el rango de error aceptado está en relación a la sumatoria de aniones y a la conductividad eléctrica esto se debe de acuerdo a los autores que lo definieron.

Tabla 7.11 Error aceptable según la sumatoria de aniones

Σ aniones (meq/L)	Error aceptable (%)
0 - 3	± 0.2
3 - 10	± 2
10 - 800	± 5

Fuente: Gómez, 2009

Análisis de resultados propuestos por el laboratorio mediante la ecuación de balance iónico

Tabla 7.12 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio I

Muestra 1			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
35.97	33.34	69.31	3.81%
Muestra 2			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
34.78	33.18	67.96	2.35%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.13 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio II

Muestra 5			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
30.55	32.79	63.34	-3.53%
Muestra 6			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
29.45	32.70	62.16	-5.23%
Fuente: Elaboración propia			

Tabla 7.14 Resultados de laboratorio de las muestras de agua termal Pampa Pujio III

Muestra 3			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
38.91	38.78	77.69	0.18%
Muestra 4			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
37.26	39.01	76.27	-2.29%
Fuente: Elaboración propia			

Tabla 7.15 Resultados de laboratorio de las muestras de agua superficial fría.

Muestra 7			
Catión	Anión	Catión + Anión	E%
4.11	4.11	8.22	0.07%
Fuente: Elaboración propia			

7.6 CLASIFICACION QUIMICA DE LAS AGUAS

De acuerdo a las características fisicoquímica del agua y al análisis químico en laboratorio se realizó la clasificación tomando en cuenta cada parámetro analizado.

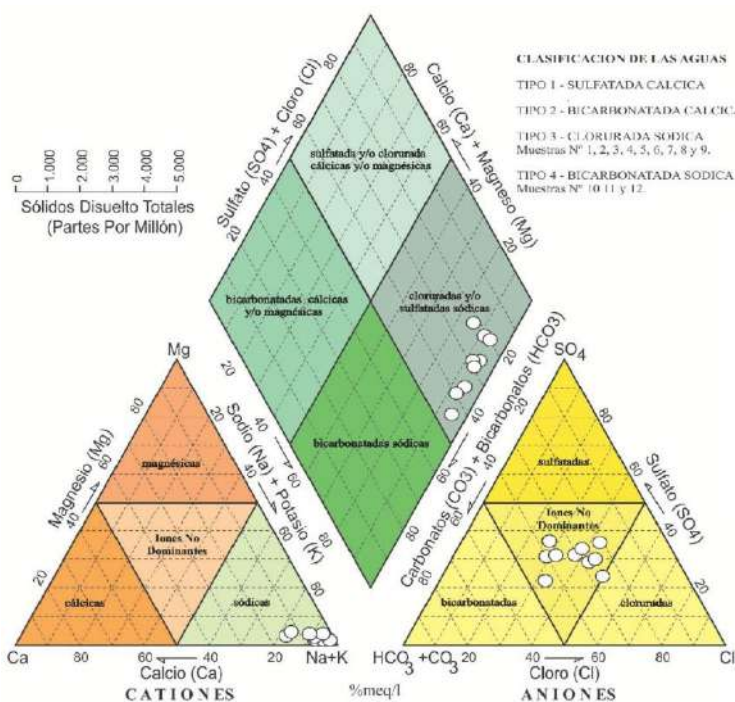
7.6.1 CLASIFICACION POR IONES DOMINANTES

En esta clasificación se caracterizará las aguas en base a los tipos y concentraciones de los iones presentes en ellos, esta clasificación es muy útil para comprender el origen del agua termal. Para lo empleo el diagrama de Piper, Stiff y Schoeller de tal manera que podamos comparar los resultados en estos 3 diagramas.

7.6.1.1 DIAGRAMA DE PIPPER

Este diagrama nos permite caracterizar y clasificar las aguas subterráneas, donde podemos representar las concentraciones relativas de los principales cationes y aniones presentes en el agua, de manera que podamos identificar el tipo de agua y sus características geológicas.

Figura 7.12 Diagrama de Piper Hill Langelier



Fuente: Pipper (1994)

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR EL DIAGRAMA DE PIPPER

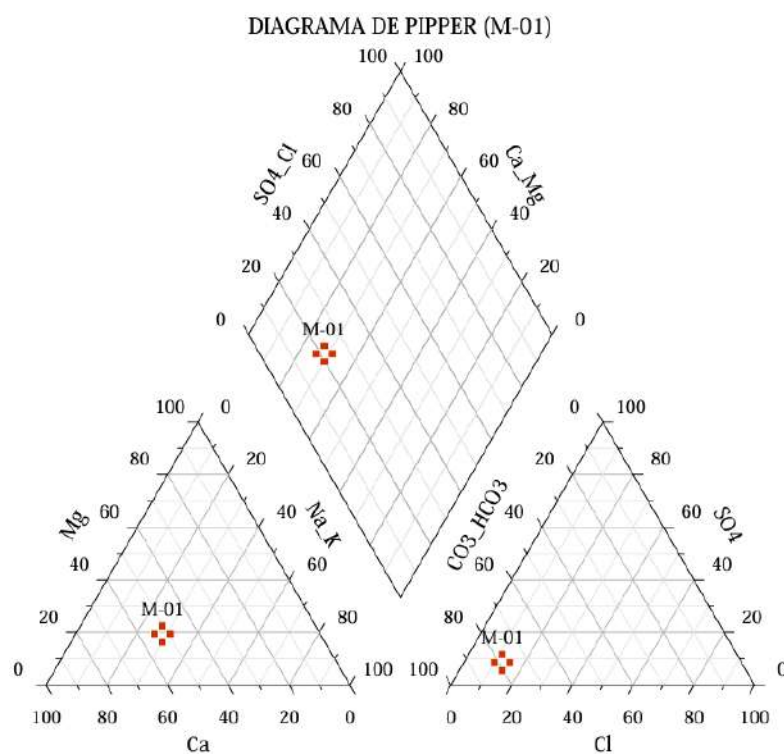
Para realizar el análisis en este diagrama es necesario que los iones deben estar expresado en miliequivalente por litro (meq/l).

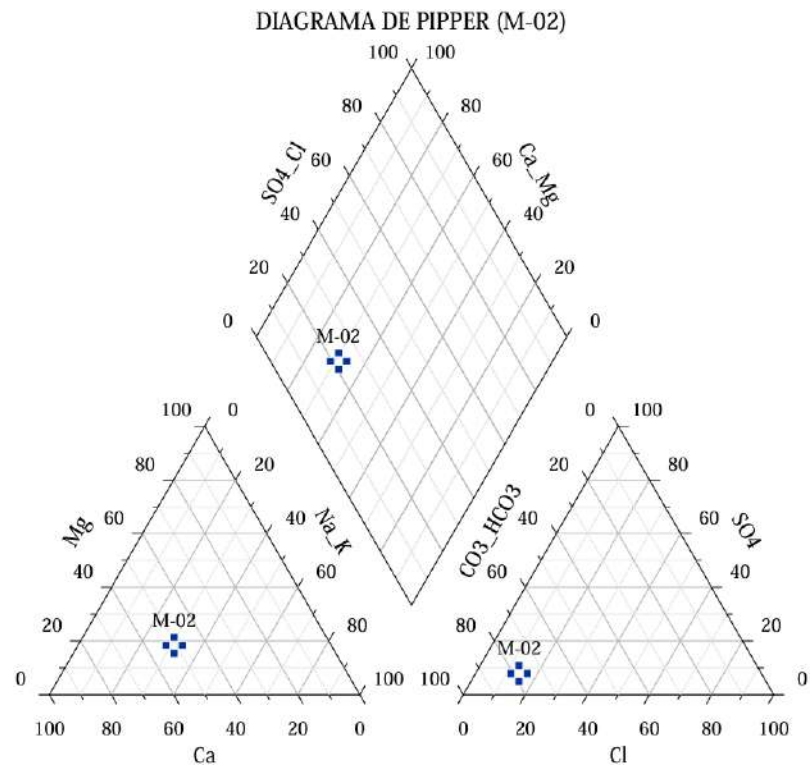
Tabla 7.16 Datos utilizados para la clasificación según el diagrama Piper en meq/l

Ca^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3$	Muestra
18.42	10.25	6.97	4.26	2.85	26.22	M-01
17.35	10.71	6.38	4.73	2.62	25.84	M-02
24.3	12.9	1.3	8.0	5.0	25.8	M-03
23.04	12.00	1.78	7.55	5.27	26.19	M-04
13.29	11.94	4.92	5.73	1.05	26.02	M-05
14.02	11.13	3.94	6.38	1.1	25.21	M-06
3.27	0.22	0.61	0.20	1.7	2.23	M-07

Fuente: Elaboración propia

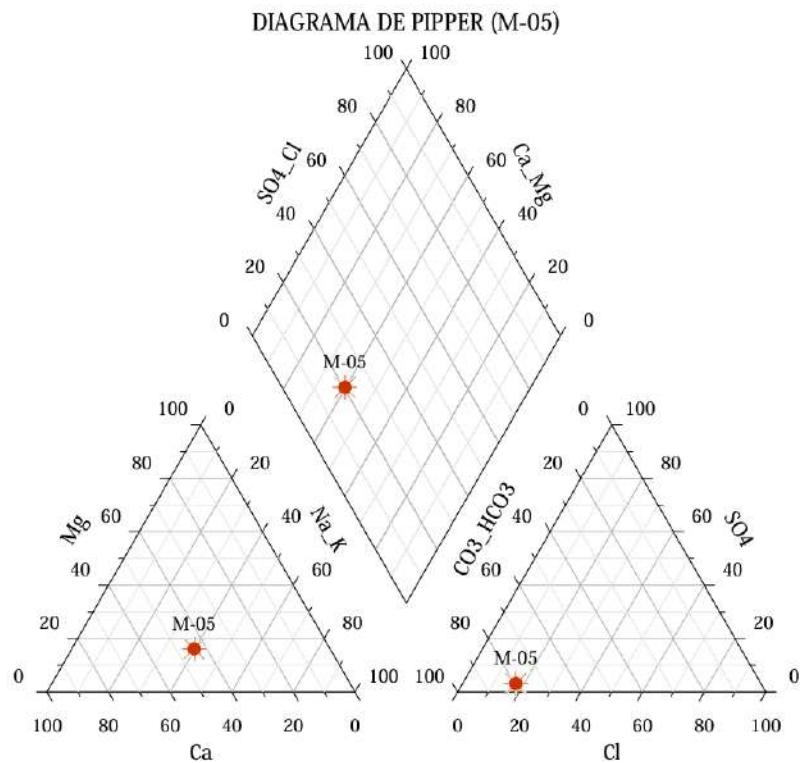
Figura 7.13 Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio I

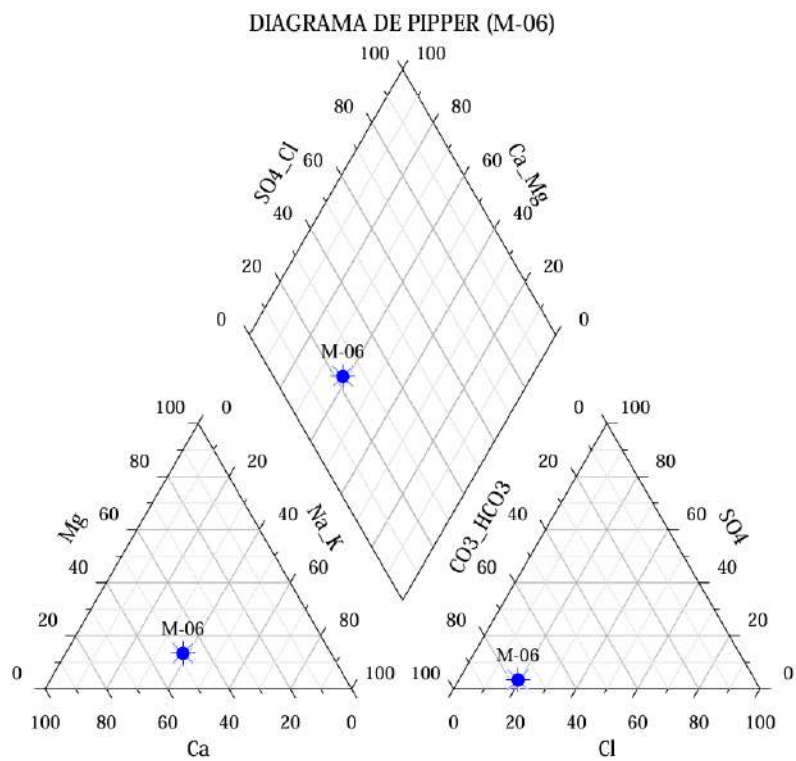




Fuente: Elaboración propia

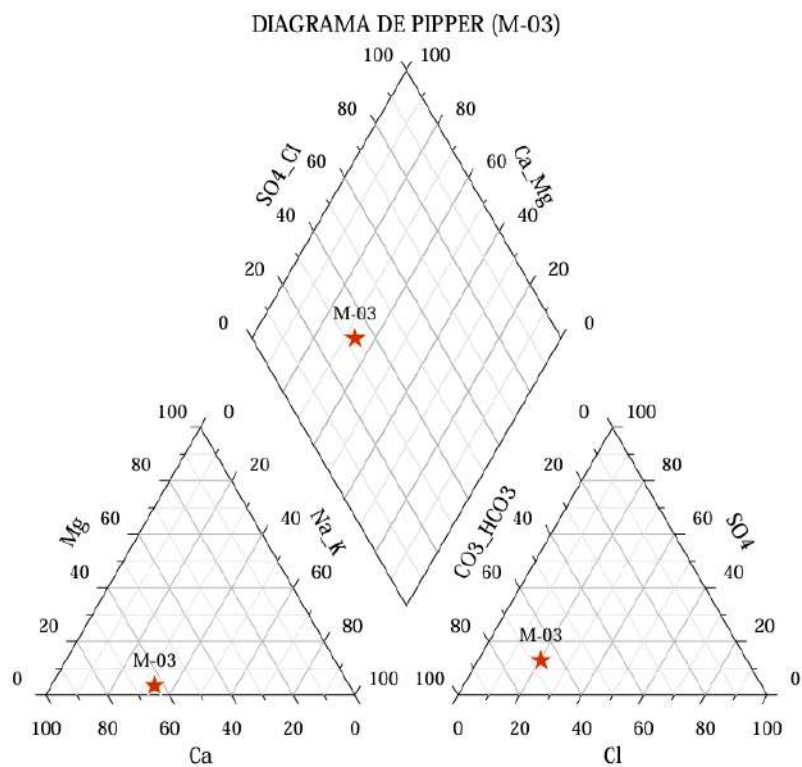
Figura 7.14 Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio II

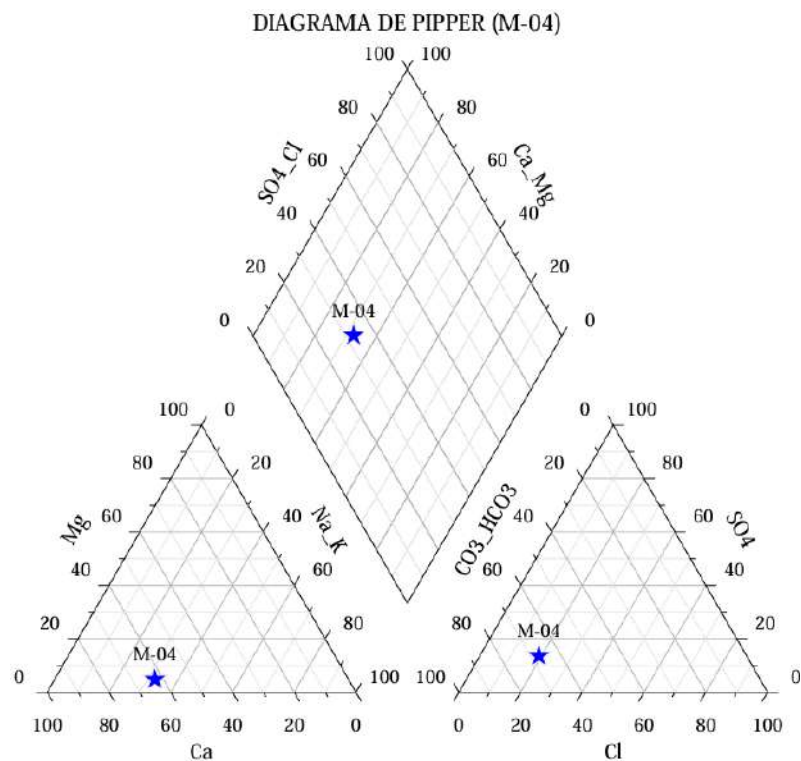




Fuente: Elaboración propia

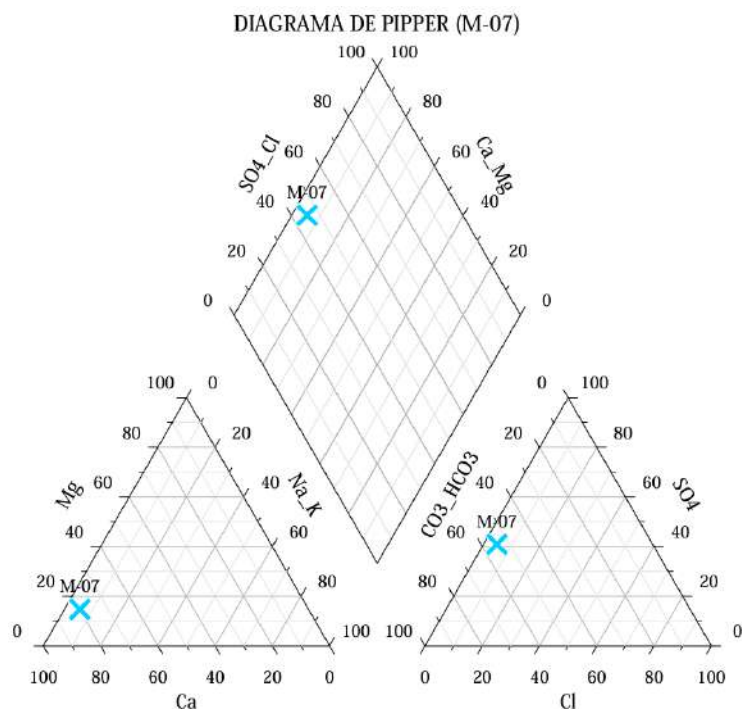
Figura 7.15 Análisis por el diagrama de Piper del agua termal Pampa Pujio III





Fuente: Elaboración propia

Figura 7.16 Análisis por el diagrama de Piper del agua superficial fría

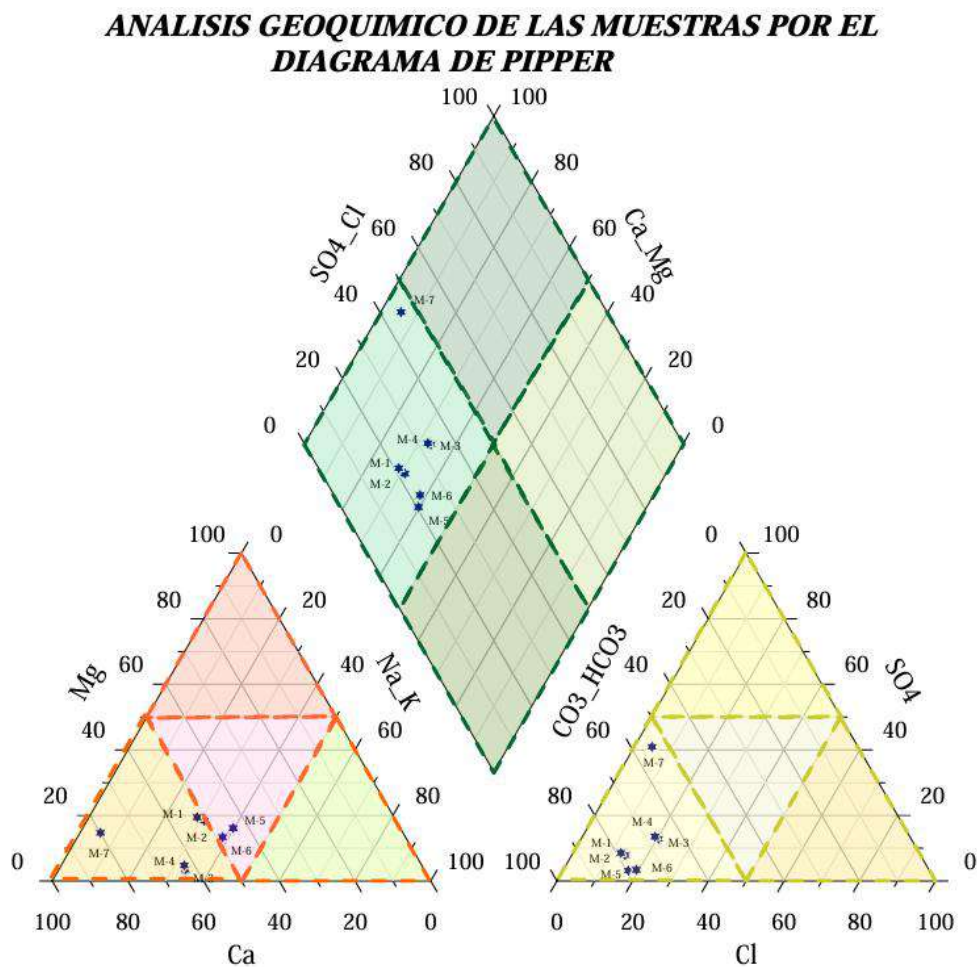


Fuente: Elaboración propia

En general el análisis de los resultados según el diagrama de Piper nos indica que pertenecen a aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con una tendencia a las bicarbonatadas sódicas, esto en cuanto a las aguas termales; mientras que le agua superficial frio tienen una tendencia sulfatada y/o clorurada cálcica y magnésica. En cuanto análisis ternario de los cationes tenemos como catión dominante el calcio mientras en el análisis de los aniones tenemos el bicarbonato.

Esta clasificación bicarbonatada cálcicas y/o magnésicas nos indica la interacción del agua fluvial con las calizas de la formación Ayabacas, ya que estas rocas suelen disolverse en el agua y liberan iones de calcio y bicarbonato.

Figura 7.17 Análisis por el diagrama de Piper de las muestras de agua



Fuente: Elaboración propia

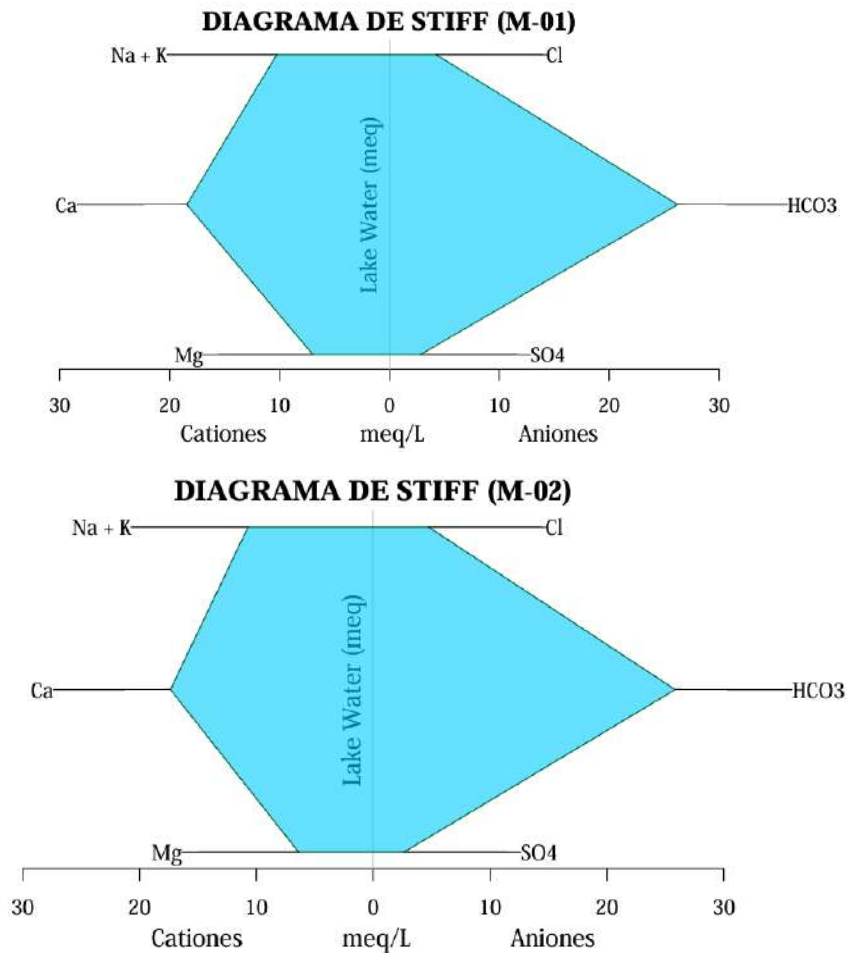
7.6.1.2 DIAGRAMA DE STIFF

El diagrama de Stiff se emplea para clasificar y visualizar de los principales iones en el agua, este diagrama es similar al diagrama de Piper con la diferencia de la distribución de sus iones (cationes en el margen izquierdo y los aniones en el margen derecho).

ANÁLISIS POR EL DIAGRAMA DE STIFF

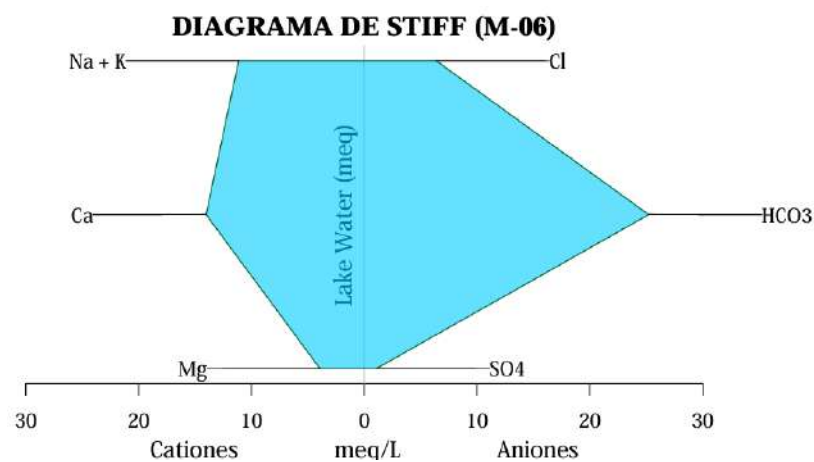
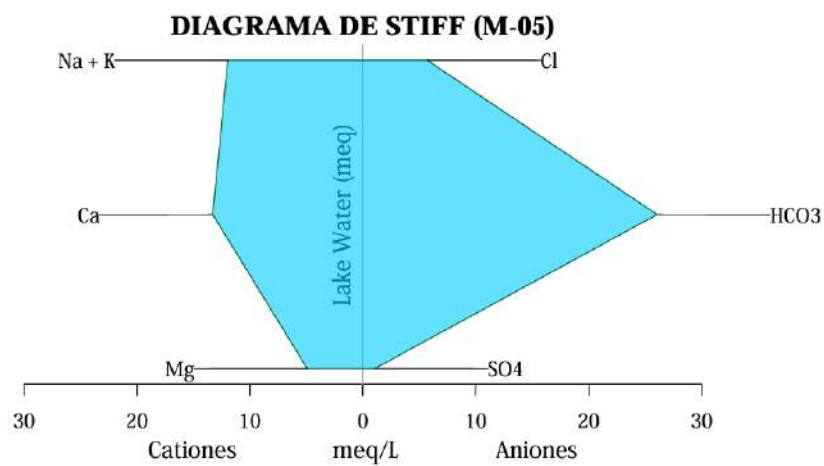
Para el procesamiento de datos se utiliza los valore de iones en miliequivalente por litro (meq/l).

Figura 7.18 Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio I



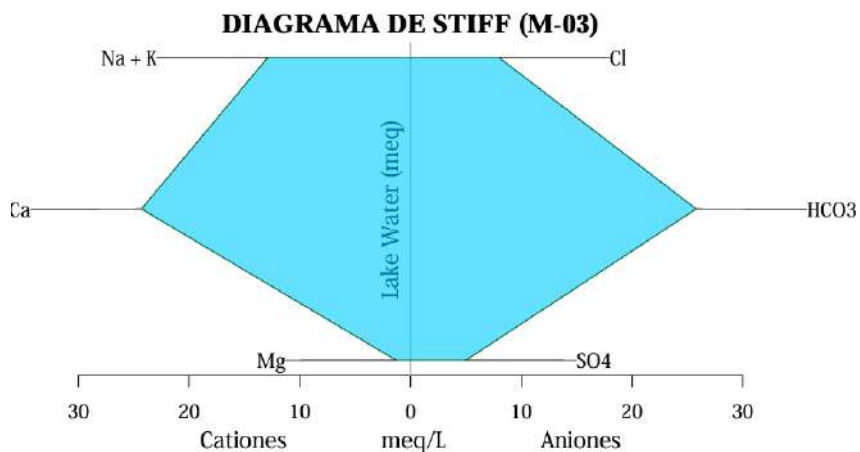
Fuente: Elaboración propia

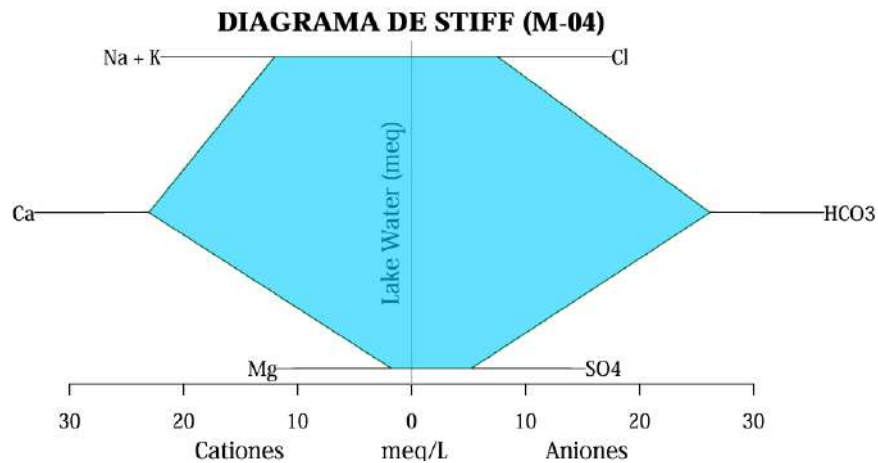
Figura 7.19 *Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio II*



Fuente: Elaboración propia

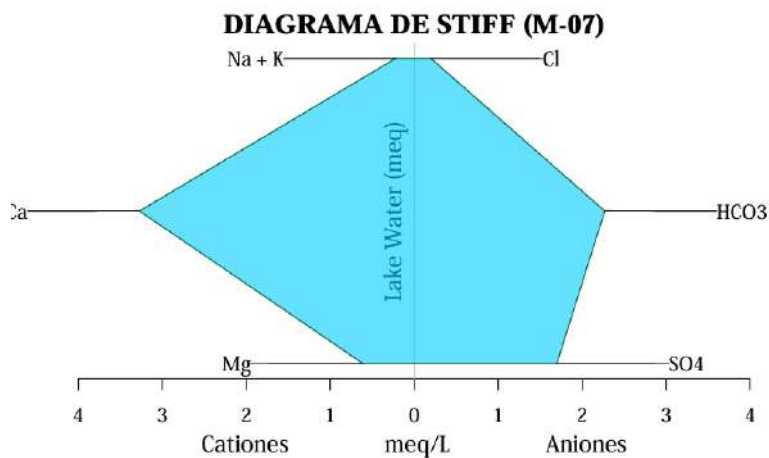
Figura 7.20 *Análisis por el diagrama de Stiff del agua termal Pampa Pujio III*





Fuente: Elaboración propia

Figura 7.21 Análisis por el diagrama de Stiff del agua superficial frio.



Fuente: Elaboración propia

En general el análisis de los resultados según el diagrama de Stiff nos indica que pertenece a aguas bicarbonatadas cálcicas, esto debido a que podemos observar que el margen izquierdo de los cationes hay una relevancia en el calcio mientras que en margen derecho la tendencia esta para el bicarbonato, esto en cuanto a las aguas termales

Mientras que para el agua superficial fría pertenece a cálcicos bicarbonatos, realizando esta misma interpretación.

Esta clasificación bicarbonatada cálcica por el diagrama de Stiff que este asociado a la disolución de rocas carbonatadas, en este caso perteneciente a la formación Ayabacas.

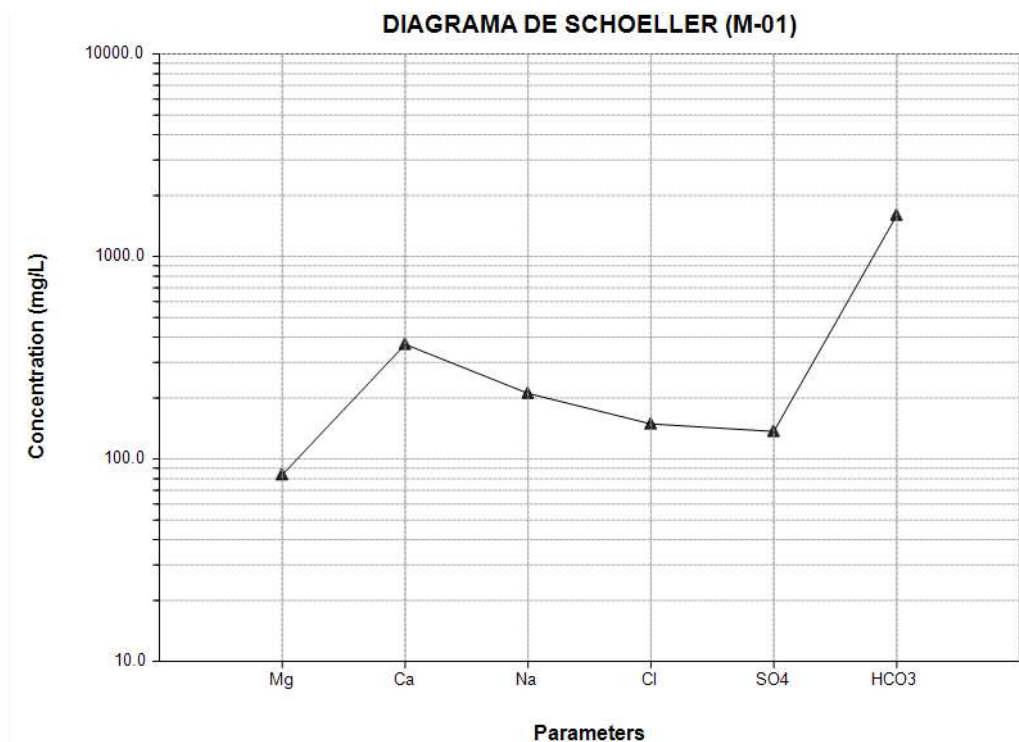
7.6.1.3 DIAGRAMA DE SCHOELLER

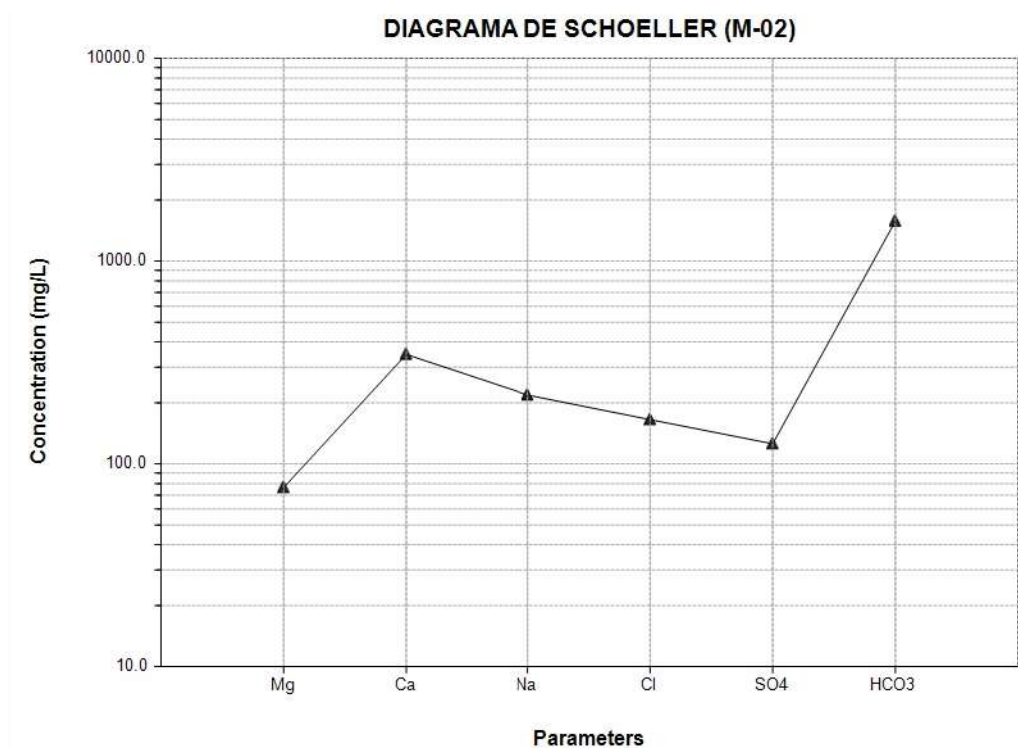
El diagrama de Schoeller se enfoca en demostrar la concentración de los iones del agua y nos permite interpretar sus características químicas, Este diagrama relaciona la concentración en (mg/l) de los iones presentes mediante un diagrama binario

ANALISIS POR DIAGRAMA DE SCHOELLER

Para realizar el análisis en este diagrama necesario que los iones deben estar expresado en miligramos por litro (mg/l).

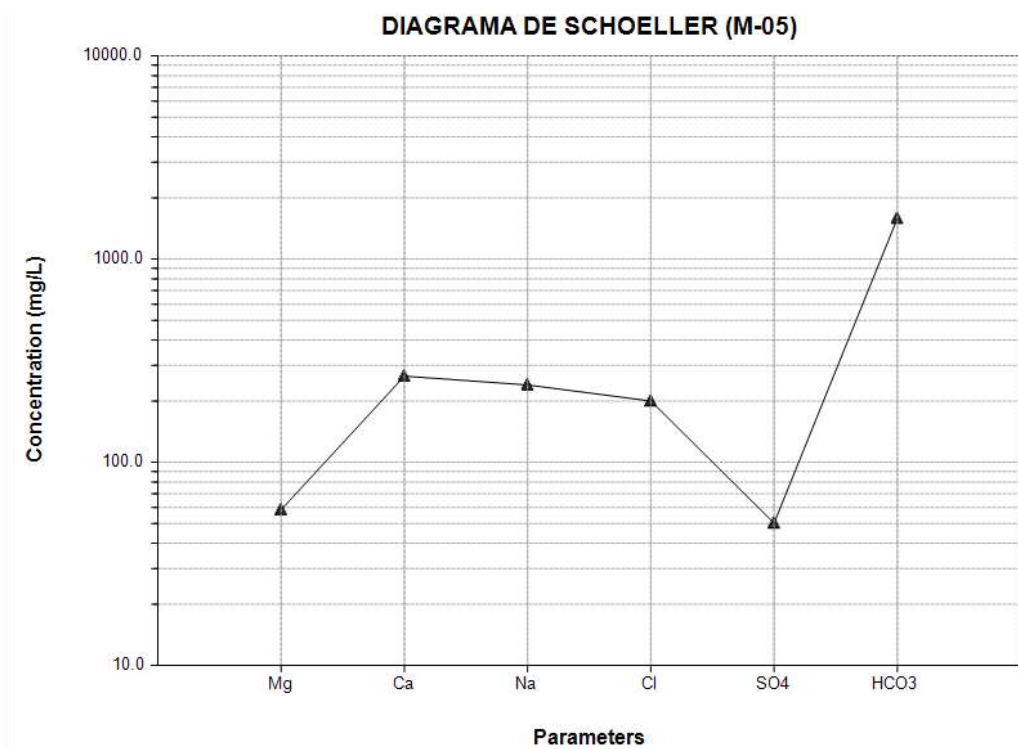
Figura 7.22 *Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio I*

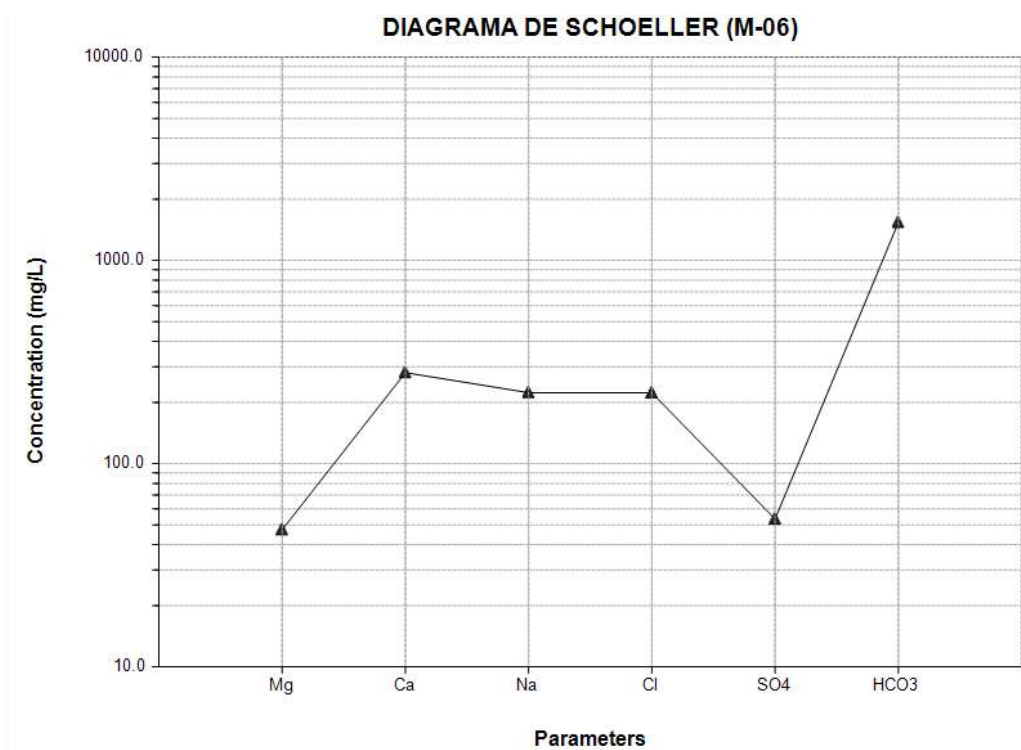




Fuente: Elaboración propia

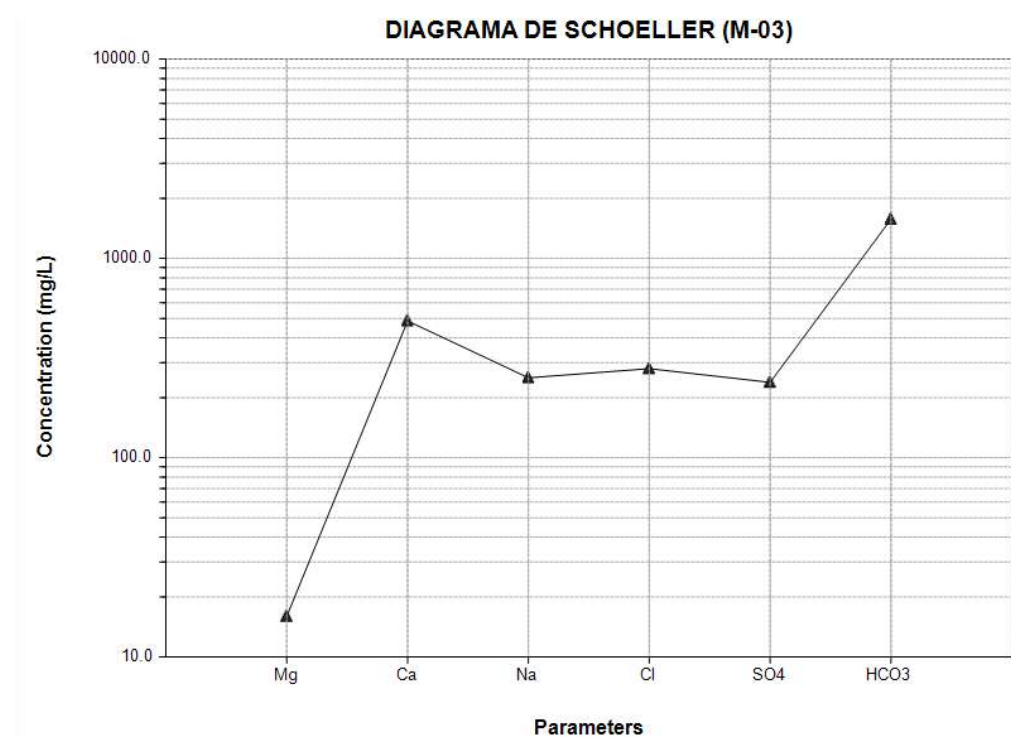
Figura 7.23 Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio II

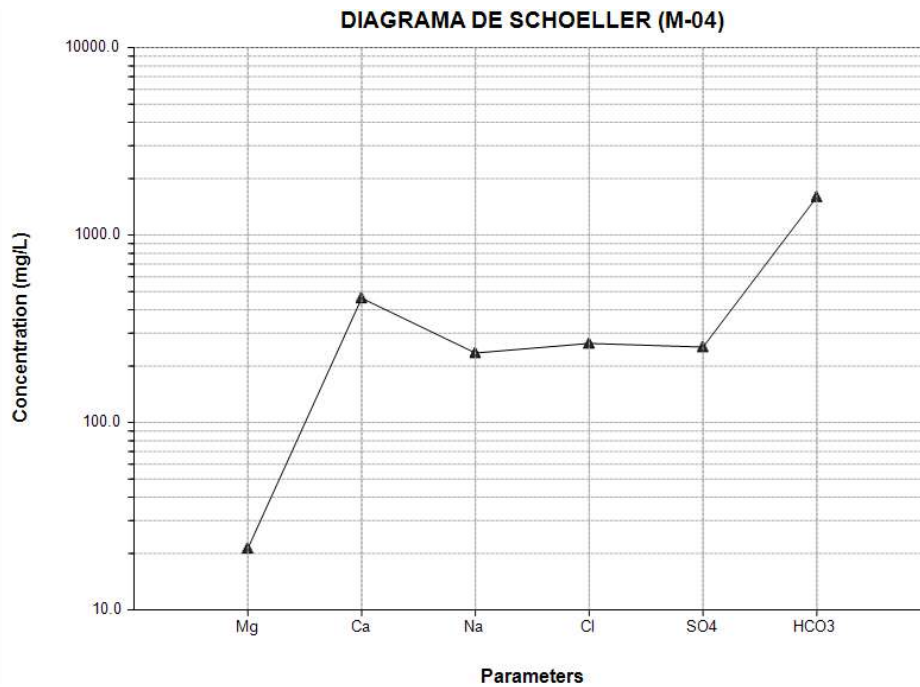




Fuente: Elaboración propia

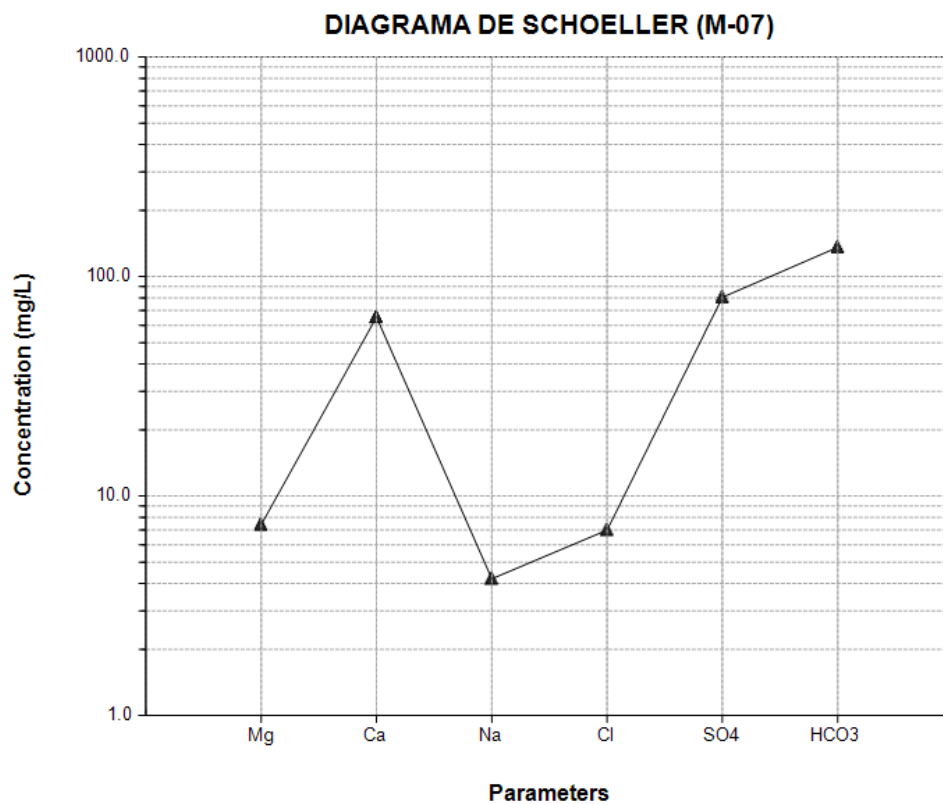
Figura 7.24 Análisis por el diagrama de Schoeller del agua termal Pampa Pujio III





Fuente: Elaboración propia

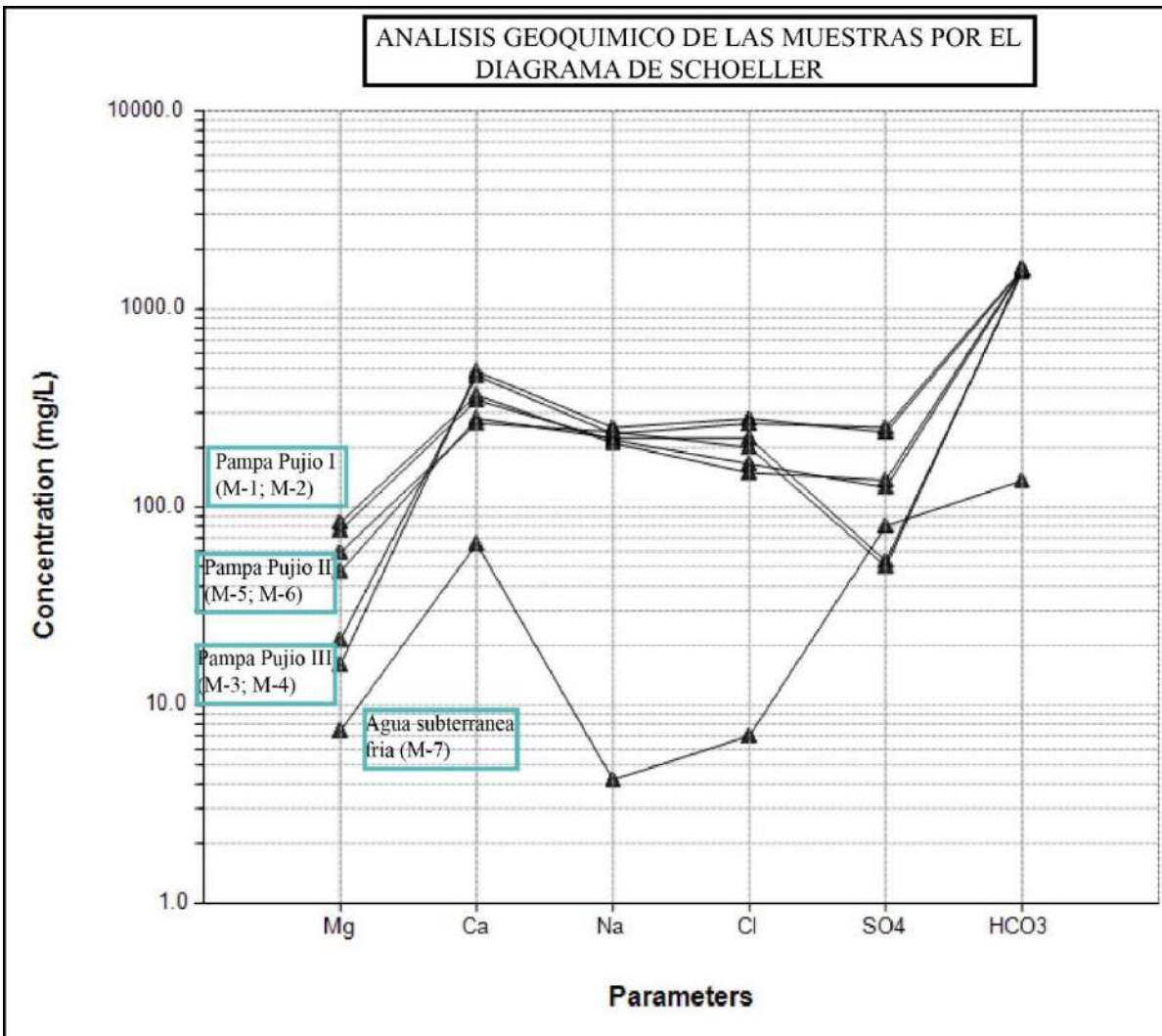
Figura 7.25 *Análisis por el diagrama de Schoeller del agua superficial fría*



Fuente: Elaboración propia

En general el análisis de los resultados según el diagrama de Schoeller nos indica que pertenece a aguas bicarbonatadas cálcicas, esto debido a que podemos observar la mayor altura en la barra del anión dominante bicarbonato y también hay una mayor altura en la barra del catión dominante calcio.

Figura 7.26 Análisis por el diagrama de Schoeller de las muestras de agua



Fuente: Elaboración propia

7.6.1.4 DIAGRAMA DE SCATTER-MIFFLIN

El diagrama de Mifflin es una representación gráfica que busca analizar el flujo del agua subterránea (termal) mediante la representación de los diferentes componentes y sus interacciones, esto nos ayuda a comprender como el agua se desplaza dentro del subsuelo.

ANALISIS POR DIAGRAMA DE SCATTER-MIFFLIN

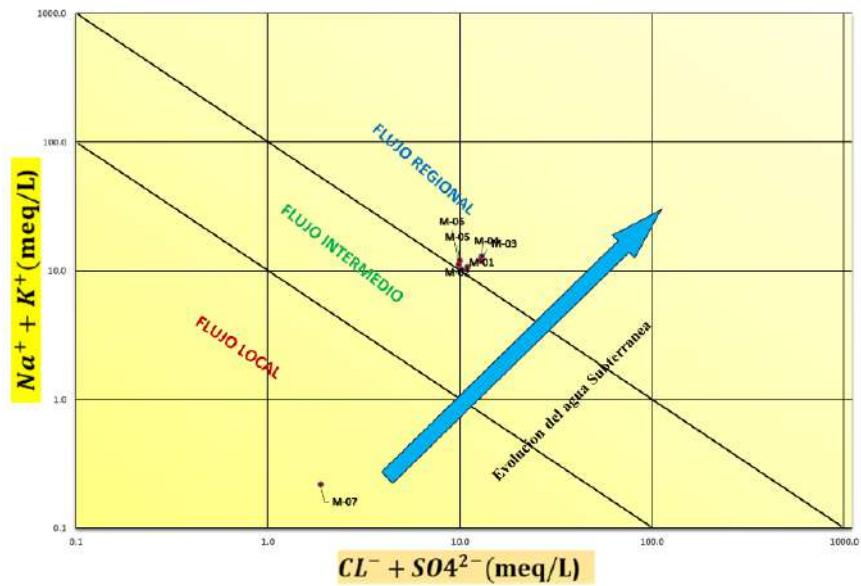
Para realizar el análisis en este diagrama necesario que los iones deben estar expresado en miligramos por litro (mg/l).

Tabla 7.17 Datos utilizados para el diagrama de Scatter-Mifflin

Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻	Muestra
10.3	10.2	M-01
10.7	11	M-02
12.9	13	M-03
12.00	12.8	M-04
11.94	10.0	M-05
11.1	9.9	M-06
0.2	1.9	M-07

Fuente: Elaboracion propia

Figura 7.27 Análisis del diagrama de Scatter-Mifflin de las muestras de agua



Fuente: Elaboracion propia

El diagrama de Mifflin (figura7.27) muestra de las aguas termales de Uyurmiri(M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 y M-6) son de flujo regional y de alta profundidad; y con respecto del agua subterránea fría es de flujo local.

7.6.1.4 CLASIFICACION SEGÚN SU TEMPERATURA

La clasificación de las aguas por su temperatura se basa en los diferentes rangos de temperatura que refleja las condiciones del agua en el subsuelo, y esta a su vez está relacionada con los iones presentes en el agua. INGEMMET clasifica el agua en función a su temperatura; cantidad de iones y composición química.

Cabe resaltar que, para la clasificación de las aguas termales, debemos tener el gradiente geotérmico, ya que es fundamental para comprender la distribución del calor en la superficie terrestre. En el área de trabajo el gradiente geotérmico tiene un comportamiento de 3°C por 100m de profundidad.

Para la clasificación de las aguas termales de Uyurmiri se clasifico en base a 2 autores: Clasificación según Schoeller (1962) que toma en cuenta la temperatura media anual del aire (T_{ma}) y la temperatura del suelo donde surge el agua y termal; mientras la clasificación de Armijo (2009) se basa en los rangos de temperatura en la que surge.

Tabla 7.18 Clasificación por la temperatura según Schoeller

Aguas hipertermales	$T > T_{ma} + 4^{\circ}\text{C}$ o $T > T_s + 2^{\circ}\text{C}$
Aguas ortotermales	$T = T_{ma} + 4^{\circ}\text{C}$ o $T = T_s + 2^{\circ}\text{C}$
Aguas hipotermales	$T < T_{ma} + 4^{\circ}\text{C}$ o $T < T_s - 2^{\circ}\text{C}$

Fuente: Schoeller, 1962

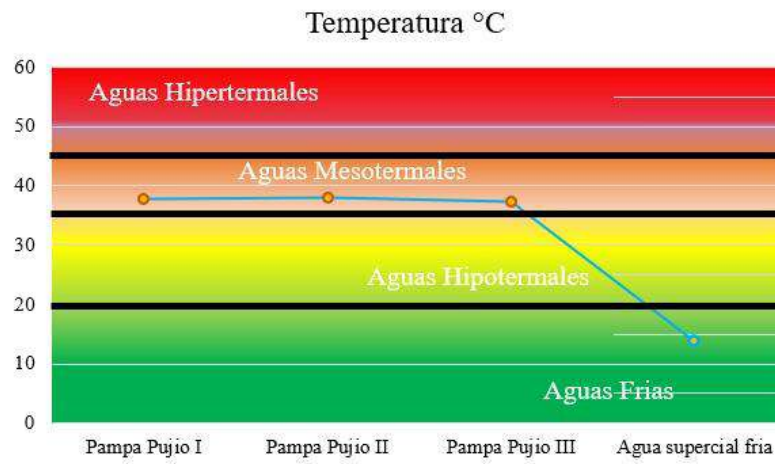
Tabla 7.19 Clasificación de aguas termales según Armijo

Aguas frías	$< 20^{\circ}\text{C}$
Aguas hipotermales	$20^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
Aguas mesotermales	$35^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$
Aguas hipertermales	$> 45^{\circ}\text{C}$

Fuente: Armijo, 2009

Haciendo el análisis de clasificación de temperaturas según Schoeller (1962), las aguas termales de Uyurmiri se clasifica como aguas hipertermales, ya que la temperatura del aire (T_{ma}) alcanza los 22°C; mientras que por la clasificación según Armijo (2009), las aguas termales de Uyurmiri se clasifica como aguas mesotermales como se muestra en la (Ver figura 7.27).

Figura 7.28 Gráfico de clasificación de aguas según Armijo (2009).



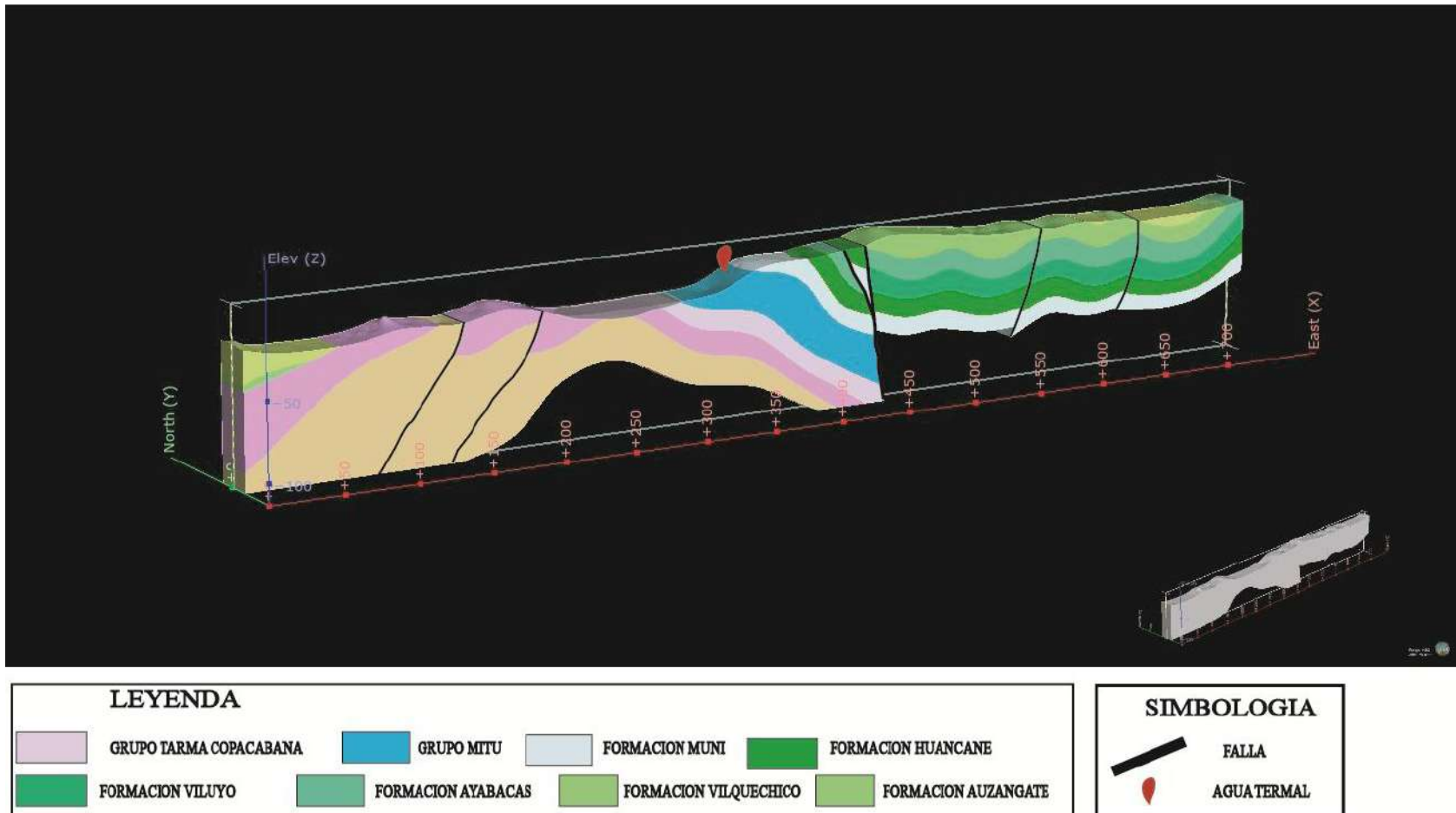
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VIII: MODELO Y RESULTADOS

SISTEMA HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

Ya realizado el estudio hidrogeológico se logró determinar la surgencia de agua termal.

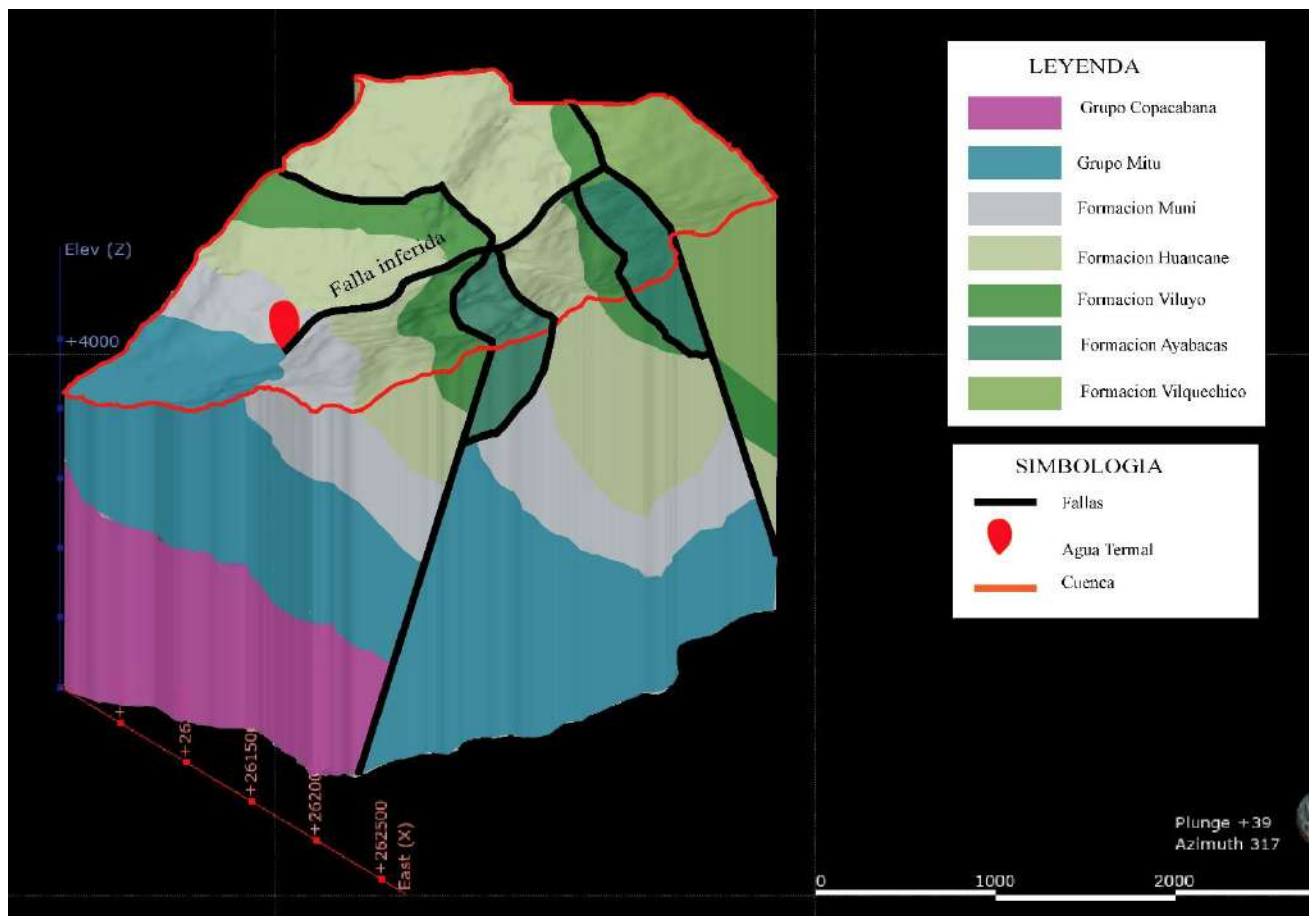
Figura 8.1 Modelo hidrogeológica 3D sección regional



Fuente: Elaboración propia

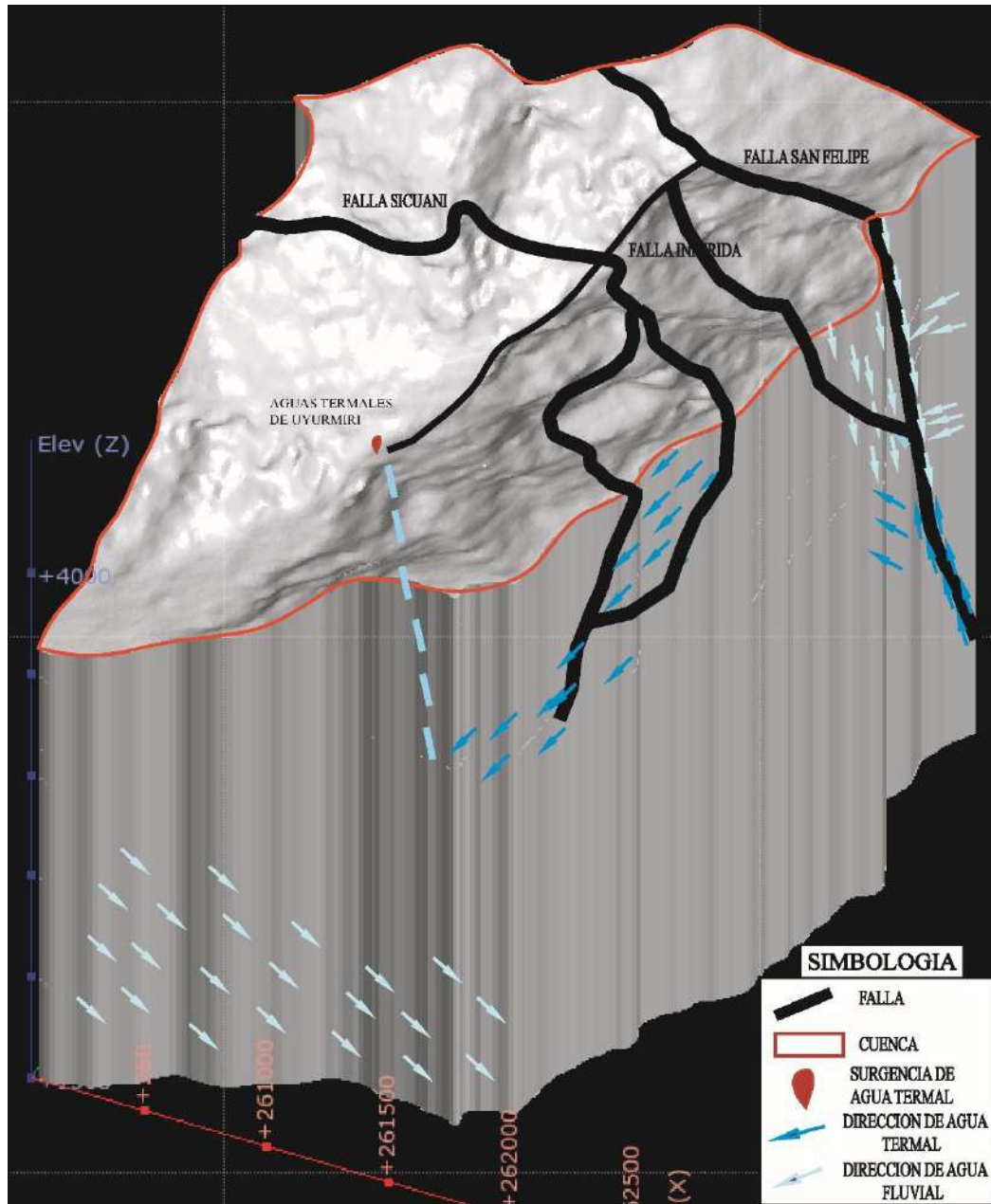
Viendo el modelo 3D (ver figura 8.1) se determinó que el área de recarga del agua termal se da en el depósito cuaternario que cubre el anticlinal del Vilcanota, descendiendo a una profundidad aproximada de 1800m hasta interceptar con la falla San Felipe, adaptando la composición de las calizas pertenecientes al Grupo Tarma-Copacabana y ascendiendo su temperatura en 54 °C, alcanzando una temperatura de 67 °C según el gradiente geotérmico; por la variación del peso específico el agua termal tiende a ascender por la falla San Felipe, donde cerca de la superficie intercepta con el agua fluvial y desciende su temperatura a 38 °C (Temperatura a la que aflora), por lo que se llega a la conclusión que esta agua tiene origen meteórico regional.

Figura 8.2 Modelo hidrogeológico en 3D de la quebrada Uyurmiri



Fuente: Elaboración propia

Figura 8.3 Dinámica de flujo subterráneo 3D en la quebrada Uyurmiri

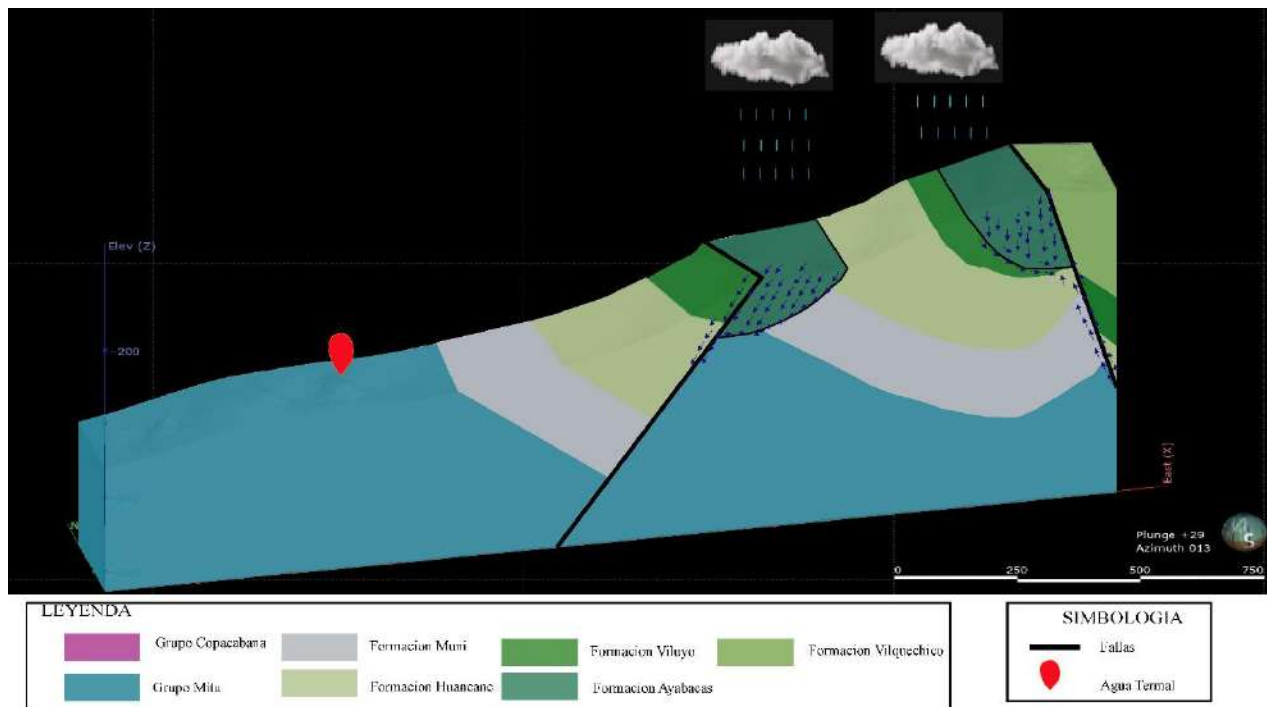


Fuente: Elaboración propia

En la figura 8.2 se observa el modelo hidrogeológico en 3D con sus respectivas formaciones geológicas y la integración de las fallas regionales San Felipe y Siquani con las fallas inferidas locales

En la figura 8.3 se observa la simulación del flujo subterráneo y su interacción formaciones geológicas a través del espacio y tiempo donde el flujo se desplaza a través de las formaciones hidrogeológicas con una alta porosidad y conductividad hidráulica.

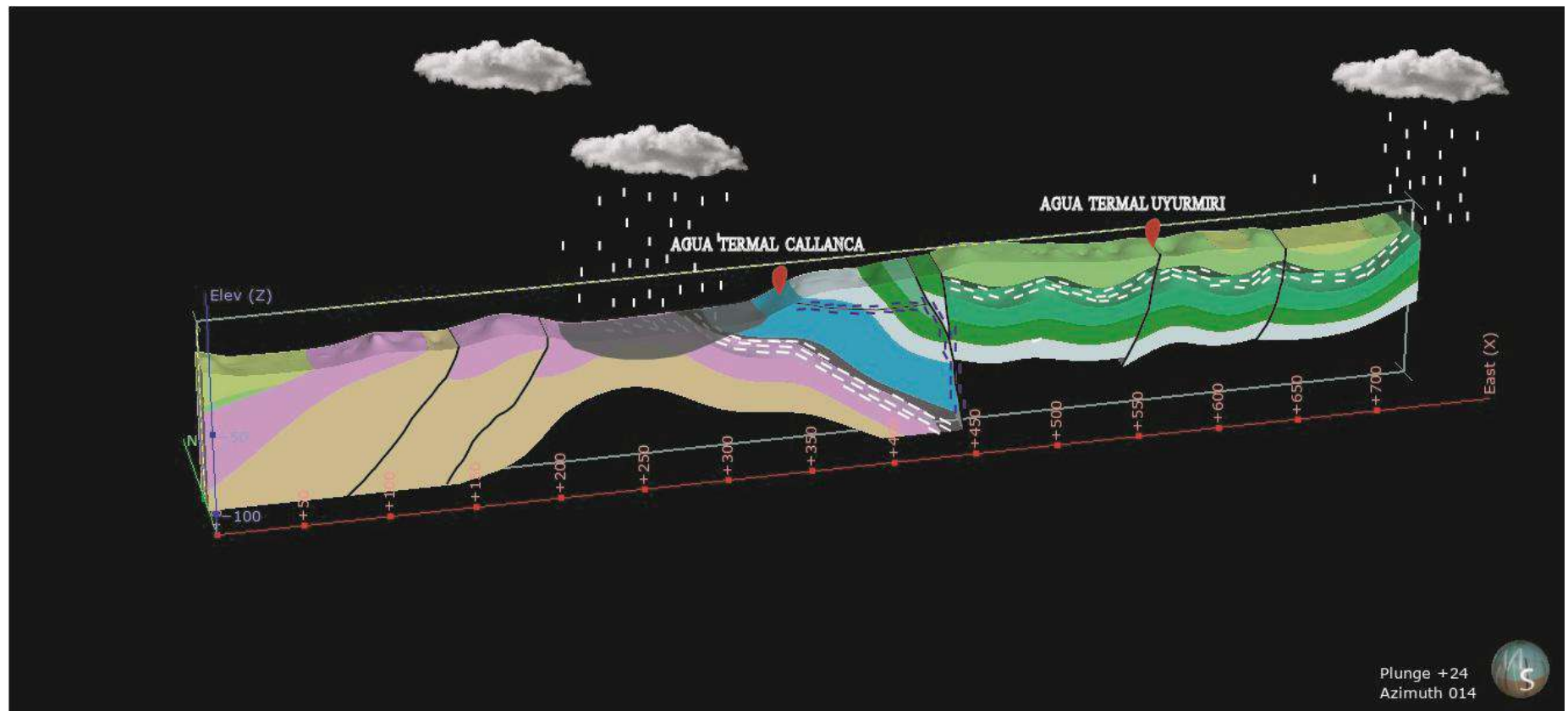
Figura 8.4 Modelo hidrogeológica local



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8.4 se observa el perfil de la sección geológica a nivel local en 3D donde agua termal aflora a través de la falla inferida y esta falla a su vez interactúa con las fallas regionales San Felipe y Sicuani; en este modelo cabe resaltar que las fallas inferidas son las causantes de la surgencia del agua termal en la quebrada de Uyurmiri.

Figura 8.5 Modelo hidrogeológico 3D final de la surgencia del agua termal



Fuente: Elaboración propia

Viendo el modelo 3D (ver figura 8.5) se determinó que el área de recarga del agua termal se da en el depósito cuaternario que cubre el anticlinal del Vilcanota, descendiendo a una profundidad aproximada de 1800m hasta interceptar con la falla San Felipe, adaptando la composición de las calizas pertenecientes al Grupo Tarma-Copacabana y ascendiendo su temperatura en 54 °C, alcanzando una temperatura de 67 °C según el gradiente geotérmico. Por la variación del peso específico el agua termal tiende a ascender por la falla San Felipe y Sicuani, donde cerca de la superficie intercepta con el agua fluvial y desciende su temperatura a 38 °C (Temperatura a la que aflora), por lo que se llega a la conclusión que esta agua tiene origen meteórico regional.

De acuerdo al análisis realizado tanto a nivel regional y local se llegó a la conclusión que el agua termal de Uyurmiri es de origen meteórico regional, haciendo un recorrido por el acuífero Tarma Copacabana y ascendiendo por la falla San Felipe en interacción con la falla local inferida.

Interpretación hidrogeoquímica de los resultados

Ya sabiendo que el área de recarga se da por los acuíferos no consolidados a las riberas del río Torcoma se realizó el análisis geoquímico lo cual se clasifica por el alto contenido de carbonato a aguas carbonatas cálcicas, esto se debe a que el agua sigue la trayectoria de la Formación Copacabana con su dirección de estratificación, ya que este material está constituido por calizas micríticas y son acuíferos con alto grado de permeabilidad, debido a la karstificación que se forma por la interacción del agua fluvial con el carbonato de calcio.

Así mismo se realizó la evaluación de la surgencia de las aguas termales cercanas a la zona de estudio, con la finalidad de encontrar la relación con el agua termal de Uyurmiri.

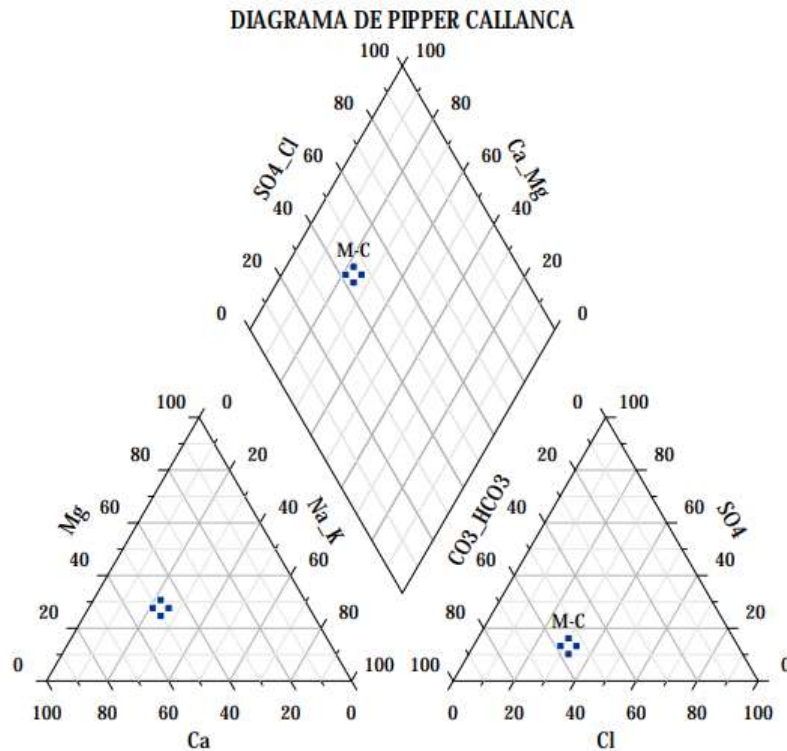
Para una mayor confiabilidad se realizó una comparación de la composición química del agua termal se realizó el análisis hidrogeológico regional con la ayuda de la sección regional (ver figura 2.13) lo cual se determinó que el agua termal sigue la trayectoria del sinclinorio cretácico, para validar esta hipótesis se realizó el análisis hidrogeoquímica de la surgencia del agua termal en la falla regional Callanca (ver tabla 8.5), lo cual se asemeja al análisis geoquímico realizado en la zona de estudio, en cuanto a su temperatura aflora a 41 °C.

Tabla 8.1 Resultado de las aguas termales de Callanca

Muestra M-C									
Elemento	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Zn ²⁺	Alcalinidad
Contenido en ppm	97.3	52.5	2.7	33.1	272.0	50.8	87.5	0.3	
Carga del ion	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	
Peso equivalente	20.0	23.0	39.0	12.0	61.0	48.0	35.0	32.5	222.95
Contenido en meq/litros	4.86	2.28	0.07	2.76	4.46	1.06	2.50	0.01	

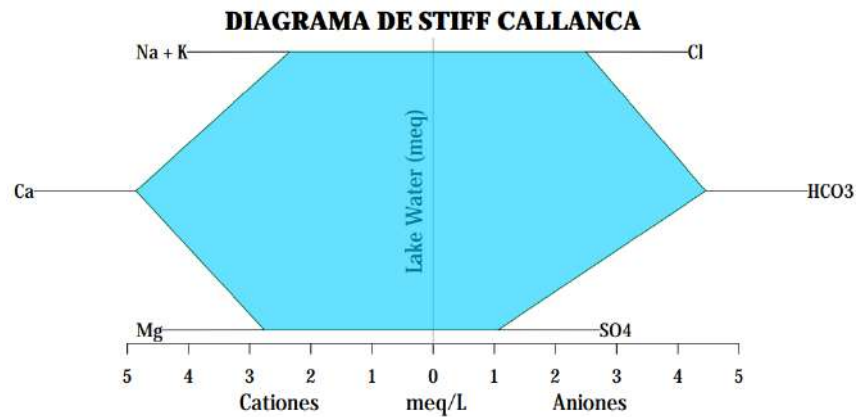
Fuente: Elaboración propia

Figura 8.6 Diagrama de Piper de Callanca



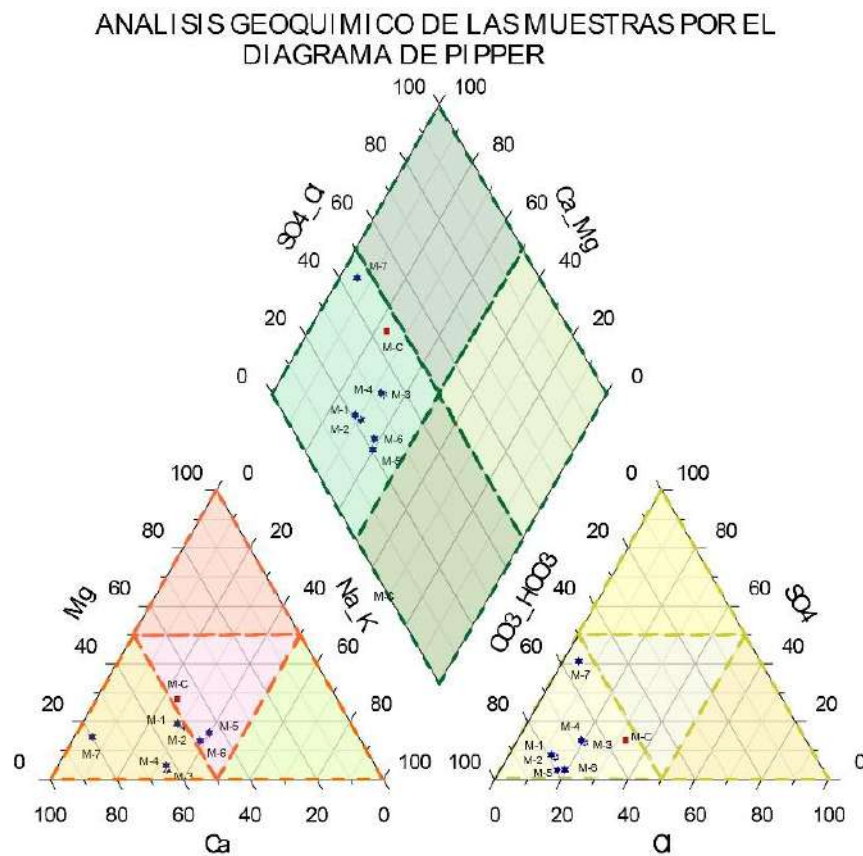
Elaboración propia

Figura 8.7 Diagrama de Stiff de Callanca



Elaboración propia

Figura 8.8 Análisis de aguas termales de termales de Uyurmiri y Callanca



Fuente: Elaboración propia

Ya teniendo todas las características hidrogeológicas en el presente proyecto de investigación se determinó que el agua termal es de origen meteórico regional, teniendo como origen la precipitación fluvial (zona de recarga) en las riberas del río Torcoma infiltrándose por medio de las fracturas y recargando el acuífero Karstico Copacabana elevando su temperatura por el gradiente geotérmico alcanza una profundidad de 1800m aproximadamente, hasta interceptar con la falla regional San Felipe y mediante la interacción del agua fluvial en profundidad con los gases del subsuelo (CO_2 y O), por variación de su peso específico asciende a la superficie siguiendo la trayectoria de la falla regional, y ya en la superficie se intercepta con fallas locales, lo cual da la surgencia del agua termal en el Grupo Mitu.

Por otro lado, se realizó la interpretación del sinclinorio cretácico que se encuentra al Norte de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, por lo que se caracterizó la composición química de la surgencia de agua termal de Callanca, el cual es la falla continua a la falla San Felipe, por lo que se determinó que el área de recarga se da por la quebrada del cerro Sami, lo cual recarga el acuífero Karstico Ayabacas y el acuífero fisurado de Huancané siguiendo la trayectoria del sinclinorio Cretácico como se muestra en la figura 8.5.

CONCLUSIONES

A) Se logro definir las características hidrogeológicas del agua termal de Uyurmiri; logrando determinar que pertenece a un origen meteórico regional profundo, teniendo como origen la precipitación fluvial infiltrándose por las zonas de recarga (río Torcoma y cerro Sami) hasta llegar a una profundidad de 1800m aproximadamente, elevando su temperatura según el gradiente geotérmico a 67°C y esta es controlada por los acuíferos Huancané y Ayabacas, llegando aflorar en la superficie a una temperatura de 37°C y se halla mediante la falla regional San Felipe y Sicuani interactuando con la falla local inferida tomada en campo.

A.1)La quebrada Uyurmiri geomorfológicamente se aprecia geoformas como carcavas, conos aluviales, terrazas, cimas, colinas y vertientes las cuales debido a su alta pendiente favorece a la zona de recarga de los acuíferos, la surgencia del agua se emplaza en el origen del cono aluvial. En cuanto a la geología local la quebrada Uyurmiri está conformado por el Grupo Mitu superior, Formación Muni, Formación Huancané, Grupo Moho, Formación Vilquechico y los depósitos cuaternarios como aluviales, fluvial, coluviales y deluvial, donde las formaciones Huancané y Ayabacas presentan buenas condiciones para el flujo subterráneo debido al alto grado de fracturamiento y al tipo de roca presente en cada formación, cabe resaltar que el agua termal aflora en el Grupo Mitu

A.2)Estructuralmente la quebrada Uyurmiri está controlado por falla regional Urcos-Sicuani-Ayaviri (NW-SE), localmente se mapeo 5 fallas locales de los cuales 1 es la que controla la trayectoria del flujo termal subterránea (NE-SW); estas fallas conducen el flujo termal desde la falla San Felipe hasta la Superficie (Grupo Mitu). En cuanto al grado de fracturamiento de las rocas, las formaciones Ayabacas y Huancané según el análisis de las estaciones geomecánicas presentan una permeabilidad 178.35 y 28.82 m/día respectivamente, mientras las formaciones Vilquechico, Muni, Viluyo presentan una permeabilidad 45.62, 7.24 y 6.03m/día respectivamente y el Grupo Mitu se puede apreciar sectores con alto-bajo grado de fracturamiento con una permeabilidad de 5.7 m/día.

A.3)Las aguas termales de Uyurmiri tienen un origen regional profundo debido a la filtración de las aguas pluviales por las formación Ayabacas, Huancané y el Grupo Copacabana por lo que la composición de las aguas pertenecen a la clasificación bicarbonatos cálcicas y magnésicas, con un contenido de bicarbonato de 1589 ppm aproximadamente en las muestras M-1 y M-2; mientras en las muestras M-3 y M-4 con un promedio de bicarbonato 1585 ppm y en las muestras M-5 y M-6 es

de 1562 ppm, como se aprecia en los resultados se puede observar el alto contenido de bicarbonato en comparación a los sulfatos, cloruros; y en cuanto al pH y conductividad de las aguas termales de Uyurmiri es de 6.55 y 3700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente

A.4) Se logro realizar el modelo hidrogeológico siguiendo el flujo subterráneo mediante el acuífero Karstico Ayabacas, Copacabana y el acuífero fisurado Huancané. Teniendo como zonas de recarga las riberas del río Torcoma y la quebrada del cerro Sami; la surgencia del agua termal ha sido controlada por la fallas regionales y locales. La infiltración se dio siguiendo la dirección del buzamiento de cada formación correspondiente del área de recarga.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios geofísicos a mayor detalle para determinar la presencia de aguas de flujo subterráneos y la posibilidad de descubrir más puntos de sugerencia de agua termal.
2. Se aconseja realizar estudios de pruebas microbiológicos de las aguas termales de Uyurmiri debido a que estas aguas son aprovechadas por el ser humano y es necesario saber la existencia de microorganismos que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el ser humano por que actualmente se desconoce la experiencia de la C.C. Patahansa sobre el mejor aprovechamiento de las aguas termales
3. Llevar a cabo programas de formación y concientización sobre la conservación y gestión de los recursos hídricos dirigidos a los miembros de la comunidad en el área de estudio, con el objetivo de promover un manejo más adecuado de las aguas termales de Uyurmiri.
4. Llevar a cabo un monitoreo mensual o bimensual del caudal y los parámetros fisicoquímicos a lo largo del año, con el fin de analizar el comportamiento de las aguas subterráneas y obtener datos más detallados sobre los aspectos hidrodinámicos y los componentes fisicoquímicos y químicos con la finalidad de llevar un mejor control de la calidad de las aguas termales.
5. Se recomienda a la C.C de Patahansa juntamente con la Municipalidad Provincial de Canchis realizar el mantenimiento a la infraestructura de las aguas termales de Uyurmiri, como también el tratamiento de dichas aguas termales con la finalidad de fomentar el turismo, generar empleo y el desarrollo económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

07.pdf. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6231/07.pdf?sequence=8>

ABATIMIENTO DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO EN UN ACUÍFERO LIBRE MEDIANTE ZANJAS DRENANTES. COMPARACIÓN ENTRE SOLUCIÓN ANALÍTICA Y SOLUCIÓN NUMÉRICA MEDIANTE MODFLOW. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5660/tfe-con-aba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Audebaud, E. (1973). *Geología regional de cuadrángulo de Ocongate 28t y Sicuani 29t.*

Caldaria Hoteles y Balnearios en Galicia. (2018, julio 10). <https://www.caldaria.es/formacion-aguas-termales/>

Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000—[Boletín A 138]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.* <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/99>

Colomé, D. G., & Serrano, B. (2018, enero). *METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA ESTUDIANTES DE POSGRADO EN INGENIERÍA.* https://www.researchgate.net/publication/332652994_METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION_PARA_ESTUDIANTES_DE_POSGRADO_EN_INGENIERIA?enrichId=rgreq-095dd01a6a78f0902a9f40714fb4dc00-

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMjY1Mjk5NDtBUzo3NTE2MDMwNDA2NDkyMTZAMTU1NjIwNzUzNzA4MQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/332652994_METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION_PARA_ESTUDIANTES_DE_POSGRADO_EN_INGENIERIA?enrichId=rgreq-095dd01a6a78f0902a9f40714fb4dc00-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMjY1Mjk5NDtBUzo3NTE2MDMwNDA2NDkyMTZAMTU1NjIwNzUzNzA4MQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)

Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrogeología Subterránea* (Segunda edición corregida, Vol. 2do). Ediciones Omega, S.A.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (Eds.). (1976). *Hidrología subterránea* (1. ed). Omega.

Cutipa, V. B. C., & Porroa, B. C. (s. f.). *CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE AGUAS TERMALES DE CCAYLLA, MARCANI, UYURMIRI Y DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LOS USUARIOS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO*.

Estudio hidrogeológico de aguas termales del complejo turístico del Inca y alrededores.pdf. (s. f.).

ESTUDIO_DE_CARACTERIZACION_FISICOQUIMICA_CON.pdf. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de https://fontur.com.co/sites/default/files/2020-12/ESTUDIO_DE_CARACTERIZACION_FISICOQUIMICA_CON.PDF

Hidrogeologia. [2009]—FCIHS (1).pdf. (s. f.).

martinez. (2000, agosto 25). Estratigrafía del paleozoico de la cordillera oriental al sureste del Peru, frontera Peru – Bolivia. *Monografias.com*.
<https://www.monografias.com/trabajos5/espale/espale>

Martinez. (2006). *Tipos de acuíferos de acuerdo con la presión atmosférica...* ResearchGate.
https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Tipos-de-acuiferos-de-acuerdo-con-la-presion-atmosferica-Martinez-et-al_fig2_344849717

Material didactico—Apuntes de Geología Estructural con ejercicios Que para obtener el título de P - Studocu. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-nacional-andres-bello/geologia-estructural-y-analisis-numerico-de-esfuerzos-y-deformaciones/material-didactico/8603882>

Monge Miguel, R., & Montoya Perez, C. (2003). *MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS CUADRÁNGULOS DE HUANCANÉ (31-x), MOHO (31-y) E ISLA SOTO (32-y)*.

- Ñaupas, H. Ñ. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. 5ta.*
- Pinuaga Espejel, J. I. (1984). *INFRAESTRUCTURA HIDROTERMAL*.
https://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/3_infraestructura.pdf
- U6-Selltiz-metodos-de-investigacion.pdf*. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de
<http://tsmetodologiainvestigaciondos.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/175/2019/05/U6-Selltiz-metodos-de-investigacion.pdf>
- Ulloa, A. (2021). *Fig. 10: Diagrama de Piper (1944) para la clasificación del agua...* ResearchGate.
https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-de-Piper-1944-para-la-clasificacion-del-agua-subterranea-en-cuatro-grupos_fig5_351005376
- Vargas, V. (2010). *Las fuentes termales en el Perú, estado y uso actual*. 1-2.
- Villegas, P. (2011, enero 10). *Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos*. <https://aguaysig.com/los-diagramas-mas-usados-para-la-interpretacion-de-analisis-hidroquimicos/>

ANEXOS

1. Precipitación anual calculada

ESTACION DE SICUANI													
Nº REG	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBR	OCTUBRE	NOVIEMBR	DICIEMBRE
1	1964	95.4	101	112	50	31.5	0	2.5	3.2	32.2	25.8	85.1	50
2	1965	43.2	89.7	119	51.7	2.1	0	2.4	3.7	52.5	64.1	61	179.7
3	1966	81.6	118.2	94.2	6	35	0	1.57	2.3	38.9	148.7	106	121
4	1967	63.4	117.2	155.9	33.6	8.2	1.4	21.2	28.7	40.4	49	46.8	129.5
5	1968	118.2	171.6	272.9	56.6	0	0	16	28.2	21.4	62.1	149.3	64.2
6	1969	132.5	127	140.4	67	33.6	2.8	8	1.6	18	78.2	76.2	80.8
7	1970	172.3	139.5	141.3	50.3	5.6	0	0	0	20.4	48.3	46.6	185.4
8	1971	189.5	162	66.1	66.9	6	1.28	0	0	8.45	41.01	3.8	71.6
9	1972	164.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0	15.9	29.6	0	8	35.2	94.4
10	1973	140.7	136.2	168	82.5	3.1	0	2	11.8	5.9	27	47.7	96.2
11	1974	168.5	223.3	91.1	25.1	0.8	6.5	0	16	24.5	13	51.5	84.22
12	1975	157	103.9	134.9	39.4	20.3	0.7	0	8.4	32.1	24.4	62.4	154.2
13	1976	161.9	68.7	130.4	27.5	11.4	6.7	5.1	9.6	17.9	9.3	29	86.3
14	1977	70.5	179.9	87	33.9	7.2	0	0.8	0	11	30.7	87.3	88.1
15	1978	214.4	71.3	183.4	83	0	0	0	0	25.5	24.2	73.4	37.9
16	1979	66.8	50.5	64.8	31.8	4.4	0	0.9	19.8	27.6	0.8	14.3	31.7
17	1980	86.6	49.3	26.1	0	15.6	18.6	19.9	21.6	1.6	65.9	60.2	82.6
18	1981	130.1	110.9	119	0.8	0	6.9	0	19.2	0	6	8.6	43.3
19	1982	66.3	26.3	48.4	0	0	0	0.9	0	24	58.1	34	8.6
20	1983	41.2	0	31.6	0	0	0	0	0	13.8	1	0	63
21	1984	131.2	52.1	45.3	3	0	3.24	2.08	18.87	14.93	65.8	84.76	68.51
22	1985	115.79	142.89	111.13	36.05	14.73	2.2	4.28	5.63	30.81	53.38	85.32	104.92
23	1986	91.71	86.94	101.01	19.28	12	1.3	3.38	7.31	22.03	32.94	69.52	66.49
24	1987	162.99	77.08	108.91	51.45	10.63	3.95	11.2	0.5	2.5	24.9	132.1	100.39
25	1988	119.61	94.9	121.1	87.4	5	1.3	1.61	4.25	20.14	44.87	37.09	102.6
26	1989	125.51	0	0	0	0	0	0	12	0	5.7	46.7	96.2
27	1990	127.1	104.8	69.9	33.8	12.38	10.85	1.61	9.75	16.27	55.9	62.79	96.17
28	1991	93.56	132.52	120.76	59.3	118.1	14.4	0	0	12.7	44.9	59.9	70.4
29	1992	99.2	63	109.76	49.77	8.56	11.02	1.61	19.5	19.1	62.8	96.8	53.7
30	1993	163	88.9	116.2	57.4	0	1.2	2	9.8	27.1	66	136.4	114.1
31	1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0	1.2	9.3	50.5	81	127.4
32	1995	107.4	101.1	131.3	72.5	3.1	1.2	2.8	0	16.6	36	91.7	114.6
33	1996	121.3	112	155.5	42.7	16.3	0	0	12	24.5	54.2	61.6	115.7
34	1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0	5.2	15.2	8.9	45.1	135.5	64.6
35	1998	102.3	131	94.4	15.1	0	0	0	4.2	1.7	92.2	67.4	89.2
36	1999	131.4	145.4	83.4	77.7	17.6	0	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2
37	2000	131.4	145.4	83.4	77.7	17.6	0	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2
38	2001	213	158.1	177.2	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	33.7	48.3	76.2	134.4
39	2002	154.7	205.2	145.7	117.7	32.9	0	26.1	4.7	37.4	75.9	86.9	141.5
40	2003	129.2	131.8	160	59.6	18.7	6.6	0	8	1.6	37.5	27.2	125.5
41	2004	162.6	191	80.4	47	7.6	8.2	4.2	12	51.6	28.9	92.4	98.4
42	2005	66.3	173.5	120.3	44.9	4.5	0	2.7	0	7.6	48.3	74.2	93.2
43	2006	151.2	120.6	92.8	99	3.3	5.7	0	10.3	23.3	45.5	111.3	106.4
44	2007	115.8	86.9	174.2	45.1	5.3	0	9	0	15.2	60.7	77	73.8
45	2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149
46	2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0	2.7	0	11.1	38.5	129	121.1
47	2010	144.1	177.7	93.9	72.6	0	0	13.5	1.5	27.2	67.8	101.4	23.3
48	2011	149.9	178.3	82.8	24.4	3.4	0	0.2	7.9	20.9	28.5	107.5	101.6
49	2012	193.7	147.5	180.2	45.3	0	7	12.8	0	4.5	79.9	109.2	71.6
50	2013	170.3	117.1	135.6	39	10.7	2	14.5	14.1	20.2	76.3	78.2	108.4
51	2014	125.1	127.1	114.2	68.6	8.8	3.3	7.7	14.7	29.4	7.7	72.8	81.1
52	2015	207.6	141.1	168.9	26.4	35.1	3.5	4.2	10.6	25.3	33.5	114.4	59.7
53	2016	155.3	171.7	56	17	31.8	8.8	2.8	0	37.9	23.4	59.8	81.5
54	2017	156.3	114.6	125.7	60.8	43.2	0	2.2	13.6	22.7	73.7	121.9	73.4
55	2018	118.9	166.7	115.2	30.8	5.2	20.4	20.1	23.6	4.4	83	105.4	43.3
56	2019	129.3	135.7	86.1	46.7	8.5	0.6	0	0	0.5	47.3	136.3	188.6
57	2020	114.3	170.5	119.4	11.8	19.8	0.1	0	0	10.8	27.6	25.1	106.8
58	2021	157.1	71.8	131	97.8	19.8	0	0.4	0.3	11.9	29.4	77.2	173
59	2022	175.6	158.89	152.1	33.4	0	4.6	2.1	2	10.7	5.9	2.9	82.1
60	2023	72.8	57.7	116.8	18.3	10.9	0	0	2	19.6	34	74.2	102

2. Presupuesto general

PRESUPUESTO				
ACTIVIDADES			DETALLADO	GASTOS
ETAPA DE PRECAMPO 1	01/01/2024 al 15/01/2024	Recopilación y revisión bibliográfica de los antecedentes de la zona de estudio a nivel local y regional.	Información de sitio web, biblioteca, etc.	S/ 300.00
ETAPA DE PRECAMPO 2	01/01/2024 al 08/02/2024	Preparación de mapas base para los trabajos de campo a escala.	Se utiliza programas informativos libres con internet	S/ 400.00
ETAPA DE CAMPO 1	01/02/2024 al 05/03/2024	Reconocimiento de las formaciones geológicas y geomorfológicas en la zona de interés.	Movilidad alimentos y diferentes materiales	S/ 800.00
	25/02/2024 al 20/04/2024	Mapeo geológico, rumbos y buzamientos, y geoformas.	Movilidad alimentos y diferentes materiales	S/ 800.00
ETAPA DE CAMPO 2	10/03/2024 al 15/04/2024	Mapeo estructural, Reconocimiento de fallas, diaclasas y pliegues.	Movilidad alimentos y diferentes materiales	S/ 800.00
ETAPA DE CAMPO 3	02/04/2024 al 30/04/2024	Pruebas Hidrológicas de campo y muestreo de aguas.	Movilidad alimentos, diferentes materiales, ensayos de campo	S/ 5000.00
ETAPA DE GABINETE 2	03/05/2024 al 31/05/2024	Análisis de datos de campo y laboratorio del muestreo y desarrollo de mapas según los objetivos.	Uso de programas con internet	S/ 500.00
ETAPA DE GABINETE 2	23/05/2024 al 30/05/2024	Análisis e interpretación de los resultados y su redacción de tesis.	Internet	S/ 500.00
Otros gastos				S/ 900.00
total				S/ 10000.00

3. Cronograma general

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
ACTIVIDADES		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Precampo 1	Recopilación y revisión bibliográfica de los antecedentes de la zona de estudio a nivel local y regional.																								
	Preparación de mapas base para los trabajos de campo a escala.																								
Campo 1	Reconocimiento de las formaciones geológicas y geomorfológicas en la zona de interés.																								
	Mapeo geológico, rumbos y buzamientos, y geoformas.																								
campo 2	Mapeo estructural, Reconocimiento de fallas, diaclasas y pliegues.																								
Campo 3	Pruebas Hidrológicas de campo y muestreo de aguas.																								
Etapa de gabinete 1	Análisis de datos de campo y laboratorio del muestreo y desarrollo de mapas según los objetivos.																								
Etapa de gabinete 2	Análisis e interpretación de los resultados y su redacción de tesis.																								

4. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TITULO	OLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENT				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENCIONES	INDICADORES
GENERAL	GENERAL	GENERAL			
¿Cuáles son las características Hidrogeologicas del agua termal de Uyurmiri, distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento de cusco?	Determinar las características Hidrogeologicas del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis y Departamento de Cusco.	Las características Geológica, Hidrogeológica, Hidrológica, Hidrogeoquímica y Geofísica del agua termal de Uyurmiri son de origen regional profundo.	Agua termal Hidrogeologia	Gradiente geotermico, Gradiente Hidraulico. Geologia, Geologia Estructural, Hidrogeoquímica, Geofísica, Hidrologia.	Profundidad, Temperatura, Caudal y Conductividad Hidraulica Unidades Litologicas, Geomorfologico, Estructurales, Ph, Conductividad, Resistividad, Precipitacion, Evapotranspiracion
ESPECIFICO	ESPECIFICO	ESPECIFICO	METODOLOGIA		
¿Cuáles son las características geomorfológicas y geológicas del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco? ¿Como es el comportamiento estructural de la surgencia de agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco? ¿Cuáles son las características hidrogeoquímicas del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco? ¿Cual es el modelo hidrogeológico del aguas termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco?	- Caracterizar las unidades geomorfológicas y geológicas donde se emplaza el agua terma de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco. - Definir el comportamiento estructural de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco. - Realizar un análisis hidrogeoquímico del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis y Departamento de Cusco. - Diseñar un modelo de la surgencia del agua termal de Uyurmiri, Distrito de Sicuani, Provincia de Canchis y Departamento de Cusco.	- Las unidades geológicas en la que se emplazan la surgencia de las aguas termales pertenecen al Grupo Mitú (volcanosedimentario) y Depósitos Cuaternarios. - En cuanto al comportamiento estructural la surgencia de agua termal de Uyurmiri esta controlada por una falla local. - Las aguas termales geoquímicamente a nivel regional tienen una composición bicarbonatada, sódica, cálcica, clorurada según (Cutipa & Porroa, s. f.), en uyurmiri asumimos que presenta una composición semejante. - El modelo hidrogeológico estructural de la surgencia de las agua termal de uyurmiri, representa a aguas de origen regional profundo.	METODO DE INVESTIGACION: Hipotetico deductivo ENFOQUE DE INVESTIGACION: Mixto TIPO DE INVESTIGACION: Aplicada NIVEL DE INVESTIGACION: Descriptivo, Exploratorio ETAPA DE PRE-CAMPO - Recopilación y revisión bibliográfica de los antecedentes de la zona de estudio a nivel regional y local 6.3.2 ETAPA DE CAMPO - Recolección y obtención de datos en campo. 6.3.3 ETAPA DE GABINETE O POST-CAMPO - Procesamiento de los datos obtenidos, interpretación de resultados y redacción de tesis.		

5. Resultados químicos de parte del laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0379-24-LAQ

SOOLICITANTE : BREYSON CAHUANA VALENZUELA
JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

MUESTRA : AGUA MANANTE
SECTOR : CALLANCA
DISTRITO : SAN PABLO
PROVINCIA : CANCHIS
REGION : CUSCO
FECHA : C/28/08/2024

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

pH	7,70
C.E. uS/cm	572,00
Calcio ppm	97,28
Magnesio ppm	33,12
Sodio ppm	52,50
Potasio ppm	2,70
Cloruros ppm	87,50
Nitratos ppm	36,20
Bicarbonatos ppm	272,00
Alcalinidad ppm CaCO ₃	222,95
Sales Solubles ppm	617,40

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Cusco, 05 de Setiembre 2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

Melguinda Herrera Arteaga
RESPONSABLE DEL LABORATORIO
DE ANALISIS QUIMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0290-24-LAQ

SOLICITANTE : BREYSON CAHUANA VALENZUELA
JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

TESIS : "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI,
DISTRITO SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

MUESTRA : AGUAS
FUENTE : M-07 Y M-03
DISTRITO : SICUANI
PROVINCIA : CANCHIS
REGION : CUSCO
FECHA : C/30/07/2024

ANALISIS FISICOQUIMICO:

	M-07	M-03
Sulfatos ppm	80,51	238,72
Calcio ppm	65,36	486,40
Magnesio ppm	7,36	16,10
Sodio ppm	4,20	252,00
Potasio ppm	1,58	74,20
Cloruros ppm	7,00	280,00
Bicarbonatos ppm	136,00	1564,00
Zinc ppm	0,25	12,80
Alcalinidad ppm	111,50	1281,97

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER , 9ª EDICION

Cusco, 07 de Agosto 2024

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

Melquides Herrera Arbelico
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

INFORME LABORATORIO

2024

980 978796 

RUC : 20612130371 

mz.project.2401@gmail.com 

3° San Sébastian - C. Pumacahua N°89 

INFORME N° 05-0824

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS PARA AGUAS TERMALES

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

1. RESULTADOS

Muestra - 01

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	368.3	ppm
Na ⁺	210.9	ppm
K ⁺	42.1	ppm
Mg ²⁺	83.6	ppm
HCO ₃ ⁻	1599.7	ppm
SO ₄ ²⁻	136.8	ppm
Cl ⁻	149.1	ppm
Zn ²⁺	11.2	ppm
Alcalinidad	1269.87	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

2. RESULTADOS

Muestra - 02

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	347.0	ppm
Na ⁺	218.6	ppm
K ⁺	46.8	ppm
Mg ²⁺	76.5	ppm
HCO ₃ ⁻	1576.2	ppm
SO ₄ ²⁻	125.7	ppm
Cl ⁻	165.4	ppm
Zn ²⁺	11.2	ppm
Alcalinidad	1276.58	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:



980 978 796



3° San Sebastián
C. Pumacahua N° 89



RUC: 20612130371



mz.project.2401@gmail.com

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

3. RESULTADOS

Muestra - 03

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	486	ppm
Na ⁺	252	ppm
K ⁺	74	ppm
Mg ²⁺	16	ppm
HCO ₃ ⁻	1574	ppm
SO ₄ ²⁻	239	ppm
Cl ⁻	280	ppm
Zn ²⁺	13	ppm
Alcalinidad	1281.97	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

4. RESULTADOS

Muestra - 04

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	460.9	ppm
Na ⁺	235.1	ppm
K ⁺	69.3	ppm
Mg ²⁺	21.3	ppm
HCO ₃ ⁻	1597.8	ppm
SO ₄ ²⁻	252.8	ppm
Cl ⁻	264.3	ppm
Zn ²⁺	14.3	ppm
Alcalinidad	1278.64	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

5. RESULTADOS

Muestra - 05

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	265.7	ppm
Na ⁺	240.2	ppm
K ⁺	58.4	ppm
Mg ²⁺	59.0	ppm
HCO ₃ ⁻	1587.0	ppm
SO ₄ ²⁻	50.2	ppm
Cl ⁻	200.5	ppm
Zn ²⁺	13.2	ppm
Alcalinidad	1289.61	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

6. RESULTADOS

Muestra - 06

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	280.5	ppm
Na ⁺	223.7	ppm
K ⁺	54.8	ppm
Mg ²⁺	47.3	ppm
HCO ₃ ⁻	1538.0	ppm
SO ₄ ²⁻	53.4	ppm
Cl ⁻	223.2	ppm
Zn ²⁺	11.9	ppm
Alcalinidad	1285.23	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:

ENSAYOS FISICOQUÍMICOS PARA AGUA

Proyecto: "HIDROGEOLOGIA DE LAS AGUAS TERMALES DE UYURMIRI, DISTRITO DE SICUANI, PROVINCIA CANCHIS, DEPARTAMENTO CUSCO"

Solicitante: JHON ALEX JIHUALLANCA MAMANI

BREYSON EDUARDO CAHUANA VALENZUELA

Fecha: 03-09-2024

7. RESULTADOS

Muestra - 07

ENSAYO	M1	UNIDAD
Ca ²⁺	65.4	ppm
Na ⁺	4.2	ppm
K ⁺	1.6	ppm
Mg ²⁺	7.4	ppm
HCO ₃ ⁻	136.0	ppm
SO ₄ ²⁻	80.5	ppm
Cl ⁻	7.0	ppm
Zn ²⁺	0.3	ppm
Alcalinidad	111.5	ppm

La muestra que se ha suministrado y debidamente identificada por el solicitante es la base de los resultados obtenidos, los cuales son aplicables exclusivamente a dicha muestra analizada en el laboratorio.

Es fundamental destacar que cualquier variación en las condiciones o la procedencia de la muestra podría influir en los resultados.



SABINA TANIA DELGADO CHOQUE
QUÍMICA
CQP. 1373

MÁS INFORMACIÓN:



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LM - C - 261 - 2024

Laboratorio de Masas

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 1 de 4

Expediente	1053835
Solicitante	PAZ LABORATORIOS S.R.L.
Dirección	CALLE OSCAR BENAVIDES 602
Instrumento de Medición	JUEGO DE PESAS
Valor Nominal	200 mg a 50 g
Clase de Exactitud	E2 (*)
Material	ACERO INOXIDABLE
Marca	ACCURATEWT (*)
Procedencia	NO INDICA
Número de Serie	2808 (*)
Cantidad	5
Fecha de Calibración	2024-07-01

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Este certificado es consistente con las capacidades que se incluyen en el Apéndice C del MRA elaborado por el CIPM. En el marco del MRA, todos los institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus certificados de calibración y medición para las magnitudes, alcances e incertidumbres de medición especificados en el Apéndice C (para más detalles ver <http://www.bipm.org>).

This certificate is consistent with the capabilities that are included in Appendix C of the MRA drawn up by the CIPM. Under the MRA, all participating institutes recognize the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see <http://www.bipm.org>).

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.

Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área

Responsable del laboratorio



Dirección de Metrología

Dirección de Metrología



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Masas

Certificado de Calibración

LM - C – 261 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 2 de 4

Método de Calibración

La calibración fue ejecutada mediante comparación con los patrones de referencia del laboratorio de calibración según el método de sustitución con corrección del empuje del aire

Lugar de Calibración

Laboratorio de Masas
Calle De la Prosa N° 150, San Borja - Lima

Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura	21,72 °C	21,76 °C
Humedad Relativa	47,8 %	57,4 %
Presión Atmosférica	997 mbar	996 mbar

Patrones de referencia

Trazabilidad Metrológica	Patrón de medición	Documento de calibración
Patrones de Referencia de la Dirección de Metrología (INACAL-PERÚ)	Pesas LM 01 015 Clase de exactitud: E1	INACAL DM/ LM-024-2024 del: 2023-12-13 al 2024-02-15

Observaciones

Manipular las pesas con cuidado y mantenerlas limpias para evitar la alteración de su masa.
Se ha considerado para la determinación de la masa una densidad : 7 950 kg/m³ con incertidumbre expandida de 140 kg/m³ .
(*) Datos dados en la caja que contiene a las pesas.
Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde INACAL - DM a la caja que contiene a las pesas.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Masas

Certificado de Calibración

LM - C – 261 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 3 de 4

Resultados de Medición

Masa convencional y error máximo permitido de conformidad con OIML R 111 - 2004 y NMP-004-2007

VALOR NOMINAL	IDENTIF.	MASA CONVENCIONAL	INCERTIDUMBRE	FORMA	MATERIAL	ERROR MÁXIMO PERMITIDO E2
200 mg	--	200 mg + 0,002 mg	0,006 mg	LAMINAR	ACERO INOXIDABLE	0,020 mg
1 g	--	1 g + 0,009 mg	0,010 mg	CILÍNDRICA CON BOTÓN	ACERO INOXIDABLE	0,03 mg
5 g	--	5 g + 0,009 mg	0,016 mg	CILÍNDRICA CON BOTÓN	ACERO INOXIDABLE	0,05 mg
10 g	--	10 g + 0,040 mg	0,020 mg	CILÍNDRICA CON BOTÓN	ACERO INOXIDABLE	0,06 mg
50 g	--	50 g + 0,02 mg	0,03 mg	CILÍNDRICA CON BOTÓN	ACERO INOXIDABLE	0,10 mg



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Masas

Certificado de Calibración

LM - C – 261 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Puesto que en general no se indica covariancias, hay que sumar para combinaciones de pesas las incertidumbres según la fórmula:

$$u_g = \sum u_i$$

siendo u_g la incertidumbre total y u_i las incertidumbres de las pesas empleadas.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPI mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO/IEC 17043; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

LABORATORIO DE MASAS - LM

Diversos servicios del Laboratorio de Masas cuentan con el reconocimiento internacional ya que están incluidos en el Apéndice C, dentro del marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo internacional (MRA) del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) conforme puede verse en la base de datos internacional del Bureau International des Poids et Mesures BIPM en el siguiente link

<https://www.bipm.org/kcdb/cmc/search?domain=PHYSICS&areald=4&keywords=inacal&specificPart.branch=-1&specificPart.service=-1&specificPart.subService=-1&specificPart.individualService=-1&countries=1&publicDateFrom=&publicDateTo=&unit=-1&minValue=&maxValue=&minUncertainty=&maxUncertainty=>

Concordantemente todos estos servicios tienen su Sistema de Calidad aprobado por el Quality System Task Force (QSTF) que es el grupo encargado de evaluar los Sistemas de Calidad de los Institutos Nacionales de Metrología INMs del Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - MVD009 - 24 - 7N

Página 1 de 5

- SOLICITANTE:** MZ PROJECT S.R.L.
- DIRECCIÓN DEL CLIENTE:** MZA. U LOTE. 1 CAL. SAN ISIDRO Cusco - Cusco - Cusco
- DATOS DEL EQUIPO:**

INSTRUMENTO	: Balanza analítica
MARCA	: ELECTRONIC BALANCE
MODELO	: FA2004
SERIE	: 240619001
IDENTIFICACIÓN	: No indica (*)
CAPACIDAD MÁXIMA	: 200 g
CLASE DE EXACTITUD	: I (**)
DIVISIÓN DE ESCALA	: 0,0001 g
DIVISIÓN DE ESCALA	: 0,001 g (**)
VERIFICACIÓN	
- LUGAR DE CALIBRACIÓN:** 3° San Sebastián -C.Pumacahua N° 89-cusco
- FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2024-07-08
- ORDEN DE TRABAJO:** 65730
- ACLARACIONES DEL CERTIFICADO:**

Este certificado de calibración es trazable a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI).

Los resultados reportados son válidos solo para el equipo de medición en las condiciones y momento en que se realizó la calibración. El solicitante y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva y exactitud de medición.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido de manera completa. Los extractos o modificaciones requerirán la autorización explícita de PAZ LABORATORIOS S.R.L.
Certificado sin la firma digital carece de validez.

Arequipa, 9 de julio de 2024

Signatario autorizado:



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - MVD009 - 24 - 7N

Página 2 de 5

8. PROCEDIMIENTO UTILIZADO:

PC-011 PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMATICO CLASE I Y CLASE II, EDICIÓN 4, 2010, INDECOPI.

9. PATRONES UTILIZADOS:

TRAZABILIDAD	INSTRUMENTO	N° CERTIFICADO
Este equipo es trazable a los patrones de INACAL-DM	Juego de pesas de 200 mg a 50 g con incertidumbre desde 0,006 mg hasta 0,03 mg	LM - C - 261 - 2024

10. CONDICIONES AMBIENTALES:

	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%HR)
Inicial	20,98	40,2
Final	21,45	40,8

Se utilizó un termohigrómetro con certificado PL-TH079-24-4.

11. OBSERVACIONES:

La incertidumbre expandida de medición reportada es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

La incertidumbre expandida declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Procedimiento PC-011 Para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automatico Clase I y Clase II " y "Guía par la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.

Se colocó en el equipo una etiqueta de calibración de Paz Laboratorios S.R.L. identificada con N° 01638

(*) Información proporcionada por el cliente.

(**) Información tomada del manual del equipo.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - MVD009 - 24 - 7N

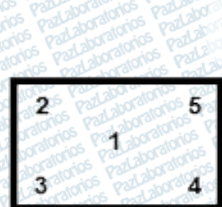
Página 3 de 5

12. INSPECCIÓN VISUAL:

Prueba	Resultado	Prueba	Resultado	Prueba	Resultado
Ajuste de cero	Tiene	Plataforma	Tiene	Escala	No tiene
Oscilación libre	Tiene	Sistema de traba	No tiene	Nivelación	Tiene

13. RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

13.1. ENSAYO DE EXCENTRICIDAD:



No



No



Si

Posición de la carga	Determinación de E ₀				Determinación de error corregido Ec					
	Carga mínima (g)	I (g)	ΔL (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	emp (±mg)
1	0,200	0,2001	-	0,15	60,000	59,9999	-	-0,05	-0,200	2
2		0,2003	-	0,35		59,9999	-	-0,05	-0,400	2
3		0,2002	-	0,25		60,0002	-	0,25	0,000	2
4		0,2002	-	0,25		60,0002	-	0,25	0,000	2
5		0,2002	-	0,25		60,0000	-	0,05	-0,200	2

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

$$Ec = E - E_0$$

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - MVD009 - 24 - 7N

Página 4 de 5

13.2. ENSAYO DE REPETIBILIDAD:

Medición N°	Carga L1: 10,000 g			Carga L2: 60,000 g		
	I (g)	ΔL	E (mg)	I (g)	ΔL	E (mg)
1	9,9998	-	-0,150	59,9992	-	-0,750
2	9,9999	-	-0,050	59,9983	-	-1,650
3	9,9998	-	-0,150	59,9983	-	-1,650
4	9,9999	-	-0,050	59,9983	-	-1,650
5	9,9999	-	-0,050	59,9983	-	-1,650
6	9,9998	-	-0,150	59,9983	-	-1,650
7	9,9998	-	-0,150	59,9976	-	-2,350
8	9,9999	-	-0,050	59,9977	-	-2,250
9	9,9998	-	-0,150	59,9974	-	-2,550
10	9,9998	-	-0,150	59,9976	-	-2,350

$$L = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

Carga (g)	Emáx-Emín (mg)	emp (±mg)
10,000	0	2
60,000	2	2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PL - MVD009 - 24 - 7N

Página 5 de 5

13.3. ENSAYO DE PESAJE:

	Carga L (g)	Carga creciente				Carga decreciente				emp (±mg)
		I (g)	ΔL	E (mg)	Ec (mg)	I (g)	ΔL	E (mg)	Ec (mg)	
1	0,2	0,2003	-	0,35	0,1	0,2001	-	0,1	0,2	1
2	1	0,9999	-	-0,05	0,1	1,0001	-	0,15	0,2	1
3	5	5,0001	-	0,15	0,1	5,0000	-	0,05	0,2	1
4	10	10,0000	-	0,05	0,2	10,0000	-	0,05	0,3	1
5	50	49,9999	-	0,05	0,2	49,9999	-	0,05	0,3	2

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

$$Ec = E - E_0$$

Fórmula para corregir la lectura indicada por el instrumento:

$$R_{corregida} = R - 0,000000843 * R ; |R| = g$$

Fórmula para encontrar la incertidumbre expandida con un nivel de confianza aproximado del 95 %

$$U_R = 2 * (0,000000287 + 0,000000000544 * R^2)^{\frac{1}{2}} ; |U_R| = g$$

I : Indicador del instrumento

E : Error encontrado

E₀ : Error en cero

Ec : Error Corregido

l : Carga

ΔL : Carga adicional

d : División de escala real

emp : Error máximo permitido

R : Lectura en uso de la balanza

U_R : Incertidumbre expandida del resultado de una pesada

***** FIN DEL DOCUMENTO *****

Salidas de campo para el cartografiado







Salida de campo a las aguas termales de Callanca

