

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

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

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL  
BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**TESIS PRESENTADO POR:**

Br. Guzmán Álvarez, Kevin Edson

Br. Huallpa Yucra, Marco Antonio

Para optar al Título Profesional de  
INGENIERO GEÓLOGO

**ASESOR:**

Ing. Cáceres Angulo, Iván

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**DEDICATORIA**

A mi querida madre, Auria Álvarez

A mi querido padre, Estanislao Guzmán

A mis hermanos; Edson Estanis y Estefany

A mi querida Araceli sin su apoyo esto no se hubiera hecho realidad

A mi personaje artístico Charrito, payasito del Cusco, sin el no sería lo que soy.

Al Ing. Iván Cáceres Angulo, por el apoyo, asesoramiento técnico y académico y nuestro agradecimiento profundo a nuestro compañero Efrain Anahui por su constante apoyo incondicional.

**AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y todos sus docentes

*Guzmán Álvarez, Kevin Edson*

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**DEDICATORIA**

Primeramente, agradecer a Dios por la oportunidad de permitirme lograr mi sueño de ser Ingeniero.

A mi querida madre, Georgina por su amor incondicional.

A mi querido padre, Vicente por su apoyo y preocupación por la finalización de mi trabajo de tesis.

A mis hermanos; Carlos, Helen, Nayda y Liz

A mi compañera incondicional, Anabel por su preocupación en el desarrollo y el avance de este proyecto y a todos los docentes de la familia Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y todos mis amigos de la universidad.

.

**AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y todos sus docentes

Al Ing. Iván Cáceres Angulo, por el apoyo, asesoramiento técnico y académico y nuestro agradecimiento profundo a nuestro compañero Efrain Anahui por su constante apoyo incondicional.

*Marco Antonio Huallpa Yucra*

# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

## RESUMEN

La presente tesis toca los aspectos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos y geofísicos, orientados a la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del sistema termal Pojpoquilla-Ayaviri, para dar explicación de los problemas de descenso del caudal de la fuente termal.

El Balneario de Pojpoquilla (área de interés) se encuentra en la misma ciudad de Ayaviri, en su borde sureste. Teniendo como acceso principal la vía asfaltada Cusco – Sicuani – Ayaviri y Juliaca – Ayaviri.

Morfoestructuralmente, el ámbito de estudio se encuentra en el Altiplano Occidental limitado hacia el NE por el sistema de fallas regionales Urcos-Sicuani-Ayaviri.

La geología de la zona está dominada por cinco unidades litoestratigráficas; la secuencia detríticos y carbonaticos del Grupo Puno. El cual esta suprayacido por la secuencia tobácea – detrítica de la Formación Tinajani, cubiertos por los depósitos aluviales y fluvioaluviales. Tectónicamente el área de estudio se encuentra afectado por la falla de Ayaviri.

El sistema hidrológico de la intercuenca de Ayaviri, está caracterizada por precipitación media anual de 704.64 mm H<sub>2</sub>O, temperaturas máximas 16° C y mínimas de -1.8° C; y evapotranspiración de 1269.32 mm/año.

La química de las aguas termales del Balneario Pojpoquilla y del del Colegio M. Melgar, muestran similar composición, con predominancia de facie sódico-potásica clorurada (Na/K-Cl-), presencia de ácido sulfhídrico en el olor y un color ligeramente amarillento, indicativos de que es alimentado por una misma fuente de origen profundo.

El modelo conceptual define al sistema termal conectada a fallas transversales a la falla de Ayaviri. Donde se tiene 2 ramales a 35 m de profundidad que comparten un

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

mismo origen. Siendo uno de los conductos del ramal la que emerge en el Balneario, y otro recientemente manifestado en el canal del Colegio M. Melgar. La surgencia de este último es debido al sismo de Lampa del 2016, que afectó el sistema de flujo de las aguas termales, haciendo descender el caudal de la primera, a su vez causando la surgencia en el canal del Colegio.

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**ABSTRACT**

This thesis deals with the geomorphological, geological, hydrological, hydrogeological, hydrochemical and geophysical aspects, oriented to the elaboration of the conceptual hydrogeological model of the Pojpoquilla-Ayaviri thermal system, to explain the problems of decrease in the flow of the thermal source.

The Pojpoquilla Spa (area of interest) is located in the same city of Ayaviri, on its southeast edge. Having as main access the paved road Cusco - Sicuani - Ayaviri and Juliaca - Ayaviri.

Morphostructurally, the study area is located in the Western Highlands limited to the NE by the Urcos-Sicuani-Ayaviri regional fault system.

The geology of the area is dominated by five lithostratigraphic units; the detrital and carbonatic sequence of the Puno Group. Which is overlain by the tuffaceous - detrital sequence of the Tinajani Formation, covered by alluvial and fluvialuvial deposits. Tectonically, the study area is affected by the Ayaviri fault.

The hydrological system of the Ayaviri inter-basin is characterized by mean annual precipitation of 704.64 mm H<sub>2</sub>O, maximum temperatures 16° C and minimum temperatures of -1.8° C; and evapotranspiration of 1269.32 mm/year.

The chemistry of the thermal waters of the Pojpoquilla Spa and the M. Melgar College show a similar composition, with a predominance of chlorided sodium-potassium facie (Na/K-Cl-), presence of hydrogen sulfide in the odor and a slightly yellowish color. , indicative that it is fed by the same source of deep origin.

The conceptual model defines the thermal system connected to transverse faults to the Ayaviri fault. Where there are 2 branches at a depth of 35 m that share the same origin. Being one of the conduits of the branch the one that emerges in the Spa, and another recently manifested in the channel of the College M. Melgar. The upwelling of the latter

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

is due to the 2016 Lampa earthquake, which affected the flow system of the hot springs, lowering the flow of the former, in turn causing the upwelling in the college channel.

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**INDICE**

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	v
LISTA DE MAPAS.....	xvi
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. UBICACIÓN .....	1
1.1.1. Ubicación política.....	1
1.1.2. Ubicación geográfica.....	1
1.2. ACCESIBILIDAD .....	4
1.3 ANTECEDENTES .....	4
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.4.1. Descripción del Problema.....	7
1.4.2. Formulación del problema.....	8
1.5. OBJETIVOS.....	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos .....	8
1.6. HIPÓTESIS .....	9
1.6.1. Hipótesis General .....	9
1.6.2. Hipótesis Específico .....	9
1.7. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.8.1. Variables Dependientes .....	11
1.8.2. Variables Independientes.....	11
1.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
1.9.1. Tipo de Investigación .....	11
1.9.3. Etapas y metodología de la Investigación .....	12

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

1.10.	ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	13
1.11.	MARCO TEÓRICO .....	14
1.11.1.	Las Aguas Subterráneas .....	14
1.11.2.	Clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico .....	15
1.11.3.	Clasificación de los acuíferos según su porosidad.....	15
1.11.4.	Clasificación de los acuíferos según su potencial hidráulico.....	17
1.11.5.	Aguas termales, minerales y termominerales y aguas minero-medicinales	18
1.11.6.	Clasificación de aguas termales, según su origen .....	19
1.11.7.	Áreas geotérmicas .....	21
1.11.8.	Surgencia de las Aguas Termales .....	22
1.11.9.	Mecanismos de surgencia de las Aguas Termales .....	24
1.11.10.	Clasificación de las aguas termales De acuerdo a su temperatura .....	25
1.11.11.	Análisis Químico de las Aguas Minerales .....	26
1.11.12.	Fundamentos básicos del método geoelectrico .....	27
1.12.	MARCO NORMATIVO O LEGAL .....	31
CAPITULO II GEOMORFOLOGÍA .....		33
2.1.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	33
2.1.1.	La Cordillera Occidental.....	34
2.1.2.	Altiplano .....	34
2.1.3.	Estribaciones de la Cordillera Oriental.....	35
2.2.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	36
2.2.1.	Pendientes .....	36
2.2.2.	Geomorfología local .....	37
MAPA N°04: GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....		41
CAPITULO III GEOLOGÍA .....		43
3.1.	GEOLOGÍA REGIONAL .....	43
3.1.1.	Paleozoico.....	43
3.1.3.	Cenozoico .....	47
3.2.	GEOLOGÍA LOCAL .....	51
3.2.1.	Grupo Puno (P-pu).....	52
3.2.2.	Grupo Tacaza (Nm-ta/an).....	54
MAPA N°06: GEOLOGÍA LOCAL .....		55

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

3.2.3. Formación Tinajani (Nm-ti) .....	57
3.2.4. Depósitos Cuaternarios .....	59
3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	60
3.3.1. Geología estructural regional.....	60
3.3.2. Geología estructural local.....	61
MAPA N°07: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	63
CAPITULO IV HIDROLOGÍA .....	66
4.1. HIDROGRAFÍA.....	66
4.1.1. Subcuenca de Pucará .....	66
4.1.2. Intercuenca de Ayaviri.....	66
4.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA .....	68
4.3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS.....	70
4.3.1. Análisis de saltos .....	70
4.3.2. Análisis de tendencias.....	73
4.4. COMPLETADO Y EXTENSIÓN DE LOS DATOS .....	74
4.4.1. Método de la recta de regresión lineal.....	74
4.4.2. Extensión de los datos .....	75
4.5. REGIONALIZACIÓN DE LOS DATOS .....	77
4.5.1. Precipitación .....	78
4.5.2. Temperatura.....	81
4.6. BALANCE HÍDRICO ATMOSFÉRICO .....	81
CAPITULO V HIDROGEOLOGÍA .....	85
5.1. HIDROMETRÍA .....	85
5.1.1. Equipos y materiales.....	85
5.1.2. Inventario de fuentes de agua termal del balneario Pojpoquilla .....	85
5.1.3. Régimen y comportamiento de las fuentes geotermales.....	85
5.1.4. Medición de caudal de producción del agua geotermal.....	85
5.2. HIDRODINÁMICA .....	86
5.2.1. Equipo y materiales .....	86
5.2.3. Dirección de flujo de aguas subterráneas .....	88
5.2.4. Origen de las aguas geotermales.....	90
5.2.5. Situación de la poza termal.....	91
5.3. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	92

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

5.3.1. Identificación de unidades hidrogeológicas.....	92
5.3.2. Clasificación de acuífero por profundidad y confinamiento .....	93
CAPITULO VI HIDROQUÍMICA .....	95
6.1. INTRODUCCIÓN.....	95
6.2. MUESTREO DE AGUAS TERMALES DEL BALNEARIOPOJPOQUELLA ..	95
6.2.1. Equipo y materiales .....	95
6.2.2. Selección de la serie analítica .....	95
6.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA TERMAL.....	96
6.3.1. pH .....	96
6.3.2. Temperatura.....	97
6.3.3. Conductividad eléctrica .....	97
6.3.4. Oxígeno disuelto.....	97
6.3.5. Propiedades organolépticas .....	98
6.4. FACIES HIDROQUÍMICAS (DIAGRAMAS STIFF).....	98
6.4.1. Programa Aquachem .....	98
6.4.2. Diagramas Stiff.....	98
6.4.3. Interpretación.....	99
6.5. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA TERMAL .....	100
6.5.1. Análisis físico-químico y biológico del agua termal .....	100
6.5.2. Análisis de resultados .....	105
CAPITULO VII PROSPECCIÓN GEOFÍSICA .....	107
7.1. MÉTODO GEOELÉCTRICO (TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA-ERT) .....	107
7.1.1. Equipo general de la tomografía geoelectricaA.- Electrodos .....	107
7.2. UBICACIÓN DE LAS SECCIONES ERT .....	109
7.2.1. Trabajo en campo .....	109
7.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS SECCIONES ERT .....	113
7.3.1. Sección AA' .....	113
7.3.2. Sección BB' .....	114
7.3.3. Sección CC' .....	116
7.3.4. Sección EE' .....	117
CAPITULO VIII MODELO HIDROGEOLÓGICOCONCEPTUAL .....	120
8.1. INTRODUCCION.....	120
8.2. SISTEMA GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL .....	120

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

8.3. RÉGIMEN HIDROLÓGICO .....	120
8.4. SISTEMA HIDROQUÍMICO .....	121
8.5. SISTEMA HIDROGEOLÓGICO .....	121
8.6. MODELO GEOFÍSICO .....	122
8.7. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	123
8.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	125
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES .....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	130
ANEXOS.....	132
ANEXO I. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS .....	132
ANEXO 1.1. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO HISTORICOORIGINAL DE PRECIPITACIÓN .....	132
ANEXO 1.2. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO COMPLETADO Y EXTENDIDO .....	134
1.3. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO HISTORICO DE LA TEMPERATURA 138	
ANEXO II. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA.....	140
2.1. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA POZA POJPOQUELLA .....	140
2.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA – CANAL DEL COLEGIO M.M.....	141

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Zona saturada y no saturada de un acuífero .....	15
Figura 2. Tipos de acuíferos según su posidad .....	16
Figura 3. Comportamiento de los distintos tipos de pozos según el potencial .....	18
Figura 4. Esquema del origen meteórico de las aguas termales .....	20
Figura 5. Esquema del origen mixto de las aguas termales .....	21
Figura 6. Esquema de un sistema hidrotermal en una fosa tectónica .....	22
Figura 7. Principio del flujo de energía del método resistivo .....	28
Figura 8. Espaciamiento de electrodos, método Wenner ( $W_n$ modo $N=1$ ) .....	29
Figura 9. Espaciamiento de electrodos, método Schlumberger (Modo $S_b1$ ) .....	30
Figura 10. Espaciamiento de electrodos, método Schlumberger (Modo $S_b2$ , $N \geq 1$ ) ....	31
Figura 11. Unidades morfoestructurales regionales .....	33
Figura 12. Vista de la montaña baja Tinajani .....	38
Figura 13. Vista de la vertiente de montaña Tinajani .....	40
Figura 14. Vista de piedemonte y terraza aluvial .....	40
Figura 15. Estratigráfica del cuadrángulo de Ayaviri .....	44
Figura 16. Sección geológica regional .....	46
Figura 17. Columna estratigráfica de la Formación Tinajani .....	49
Figura 18. Afloramiento de la serie detrítica del Grupo Puno .....	52
Figura 19. Afloramiento de secuencia calcárea del Miembro IV del Grupo Puno .....	53
Figura 20. Intercalación de niveles detríticas y calcáreas del Grupo Puno .....	53
Figura 21. Afloramiento de flujos lávicos del Grupo Tacaza .....	54
Figura 22. Sección geológica local .....	56
Figura 23. Coladas andesítica-basálticas del Grupo Tacaza .....	57
Figura 24. Afloramiento de la serie detrítica de la Formación Tinajani .....	58
Figura 25. Intercalación de la serie detrítica de la Formación Tinajani .....	58
Figura 26. Depósitos de suelos aluviales y fluviales .....	59
Figura 27. Sistema de Fallas Urcos - Sicuani – Ayaviri .....	61
Figura 28. Vista de la Falla Ayaviri desde el Cerro Pincorio .....	62
Figura 29. Sección geológica estructural local .....	64
Figura 30. Falla Ayaviri que pone en contacto la Formación Calapuja con el Grupo Puno .....	65
Figura 31. Diagrama de salto para la estación Ayaviri, Chuquibambilla y Pucará .....	71
Figura 32. Cálculo del $T_c$ y $T_t$ del registro histórico para la estación Ayaviri .....	72
Figura 33. Cálculo de la desviación estándar para la estación Ayaviri .....	73
Figura 34. Tendencia lineal de la media .....	73
Figura 35. Tendencia en la desviación estándar sin corregir para la estación Ayaviri .....	74

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

Figura 36. Completado de datos por regresión lineal para estación Ayaviri.....	75
Figura 37. Interfaz del programa EasyFit.....	76
Figura 38. Línea de regionalización de la precipitación.....	79
Figura 39. Diagrama precipitación vs evapotranspiración para la intercuenca Ayaviri...	84
Figura 40. Canal de salida derivada del colegio Mariano Melgar.....	86
Figura 41. Esquema de los conductos de agua hidrotermal.....	89
Figura 42. Muestras que evidencia el hidrotermalismo por conductos.....	90
Figura 43. Bloque de pared y pared del conducto hidrotermal.....	90
Figura 44. Estados inicial y final del conducto principal del acuífero.....	91
Figura 45. Configuración del acuífero profundo, naturaleza confinada, vista en sección .....	92
Figura 46. Configuración del acuífero profundo, naturaleza confinada, vista en planta	92
Figura 47. Equipo multiparámetro HQ40d.....	96
Figura 48. Diagrama Stiff de las aguas de la poza geotermal .....	99
Figura 49. Diagrama Stiff de las aguas del canal del colegio Mariano Melgar.....	99
Figura 50. Interfaz de la pantalla modelo DZD-6A.....	108
Figura 51. Interfaz de la pantalla modelo DZD-6A.....	108
Figura 52. Línea AA' – ERT.....	109
Figura 53. Línea BB' – ERT .....	110
Figura 54. Línea CC' ERT .....	110
Figura 55. Línea DD' ERT .....	112
Figura 56. Línea EE' –ERT.....	112
Figura 57. Sección ERT AA' por método Wenner.....	113
Figura 58. Interpretación de la sección ERT AA' .....	114
Figura 59. Sección ERT BB' por método Wenner.....	115
Figura 60. Interpretación de la sección ERT BB' .....	115
Figura 61. Sección ERT CC' por método Wenner.....	116
Figura 62. Interpretación de la sección ERT CC' .....	117
Figura 63. Sección ERT EE' por método Wenner.....	118
Figura 64. Interpretación de la sección ERT EE' .....	119
Figura 65. Modelo conceptual hidrogeológico del agua termal Pojpoquilla – Ayaviri	124

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Ubicación política del Balneario Pojpoquilla .....	1
Tabla 2. Ubicación geográfica del Balneario Pojpoquilla .....	1
Tabla 3. Accesibilidad a la zona de estudio.....	4
Tabla 4. Valores y rango de resistividades para rocas y minerales .....	27
Tabla 5. Clasificación de pendientes .....	36
Tabla 6. Pendientes del área de estudio .....	37
Tabla 7. Geomorfología del área de estudio .....	37
Tabla 8. Extensión de las unidades geológicas locales.....	52
Tabla 9. Estaciones meteorológicas para la intercuenca de Ayaviri .....	68
Tabla 10. Completado de datos con la media mensual-estación Ayaviri .....	70
Tabla 11. Completado y extensión de los datos de precipitación histórica para la estación Ayaviri.....	77
Tabla 12. Precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas .....	78
Tabla 13. Altitudes y precipitación media histórica de las estaciones hidrometeorológicas .....	78
Tabla 14. Coeficientes de correlación de las ecuaciones de regionalización .....	79
Tabla 15. Datos regionalizados de la precipitación para el intercuenca de Ayaviri.....	80
Tabla 16. Temperatura Media Mensual (°C) - Promedio Multianual.....	81
Tabla 17. Número de horas sol máximo diario para diferentes latitudes sur .....	82
Tabla 18. Número de horas sol máximo diario del mes para la Intercuenca Ayaviri.....	82
Tabla 19. Número de horas sol máximo mensual para la Intercuenca Ayaviri.....	82
Tabla 20. Radiación extraterrestre media diaria del mes para la intercuenca Ayaviri ...	82
Tabla 21. Evapotranspiración potencial Hargreaves III modificado .....	83
Tabla 22. Balance hídrico a nivel atmosférico y resultados obtenidos.....	83
Tabla 23. Relación precipitación vs evapotranspiración para la intercuenca Ayaviri....	83
Tabla 24. Valores estimados de la porosidad (%) .....	87
Tabla 25. Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros/día).....	88
Tabla 26. Características físicas del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001 ...	100
Tabla 27. Elementos químicos metálicos del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001 .....	102
Tabla 28. Elementos químicos y minerales del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001 .....	102
Tabla 29. Análisis bacteriológico y físico-químico del agua Pojpoquilla por LABORATORIOS Cerper DEL PERU - LIMA .....	102

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

Tabla 30. Análisis biológico y químico del agua Pojpoquilla por Laboratorio INCAL – Arequipa 2019 .....	103
Tabla 31. Análisis Físico-químico de las aguas de la poza Pojpoquilla por LAQ, UNSAAC-2021 .....	104
Tabla 32. Análisis Físico-químico de las aguas del canal del Colegio M.M. por LAQ, UNSAAC-2021 .....	104
Tabla 33. Propiedades Físico-químicas INSITU del agua Pojpoquilla y Canal del Colegio M.M. 2021 .....	105
Tabla 34. Secciones ERT levantadas en campo .....	109

**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

**LISTA DE MAPAS**

MAPA N°01: UBICACIÓN.....	2
MAPA N°1.1: SATELITAL .....	3
MAPA N°02: ACCESIBILIDAD .....	6
MAPA N°03: PENDIENTES.....	39
MAPA N°04: GEOMORFOLOGIA LOCAL .....	41
MAPA N°05: GEOLOGÍA REGIONAL .....	45
MAPA N°06: GEOLOGÍA LOCAL .....	55
MAPA N°07: GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL.....	63
MAPA N°08: HIDROGRAFÍA... ..	67
MAPA N°09: HIDROLOGÍA... ..	69
MAPA N°10: HIDROGEOLOGÍA.....	101
MAPA N°11: SECCIONES GEOFÍSICAS ERT .....	111



## CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

### 1.1. UBICACIÓN

#### 1.1.1. Ubicación política

La zona de estudio está ubicada en el CC.PP. de Ayaviri a 3,913 m.s.n.m, y explícitamente el balneario Pojpoquilla se halla a las faldas del cerro Pincorio, en el extremo sureste de la Ciudad, sobre la Av. Garcilazo (Ver MAPA N° 01: UBICACIÓN y N° 1.1 SATELITAL). En la Tabla 1 se aprecia la ubicación política general.

*Tabla 1. Ubicación política del Balneario Pojpoquilla*

<b>División política</b>	<b>Nombre</b>
Región	Puno
Provincia	Melgar
Distrito	Ayaviri
Centro Poblado	Ayaviri

*Fuente: elaboración propia*

#### 1.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente el balneario Pojpoquilla se ubica según se muestra en la Tabla 2.

*Tabla 2. Ubicación geográfica del Balneario Pojpoquilla*

<b>Sistema</b>	<b>Datum</b>	<b>Componentes</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>Coordenadas Geográficas</b>	Horizontal WGS 1984	Longitud Oeste	70°35'18"
		Latitud Sur	14° 52'42"
<b>Coordenadas UTM Zona 19 sur</b>	Horizontal WGS 1984	Este (m)	330038
		Norte (m)	8353622
<b>Altitud</b>	Vertical Nivel Medio del Mar	m.s.n.m.	3913

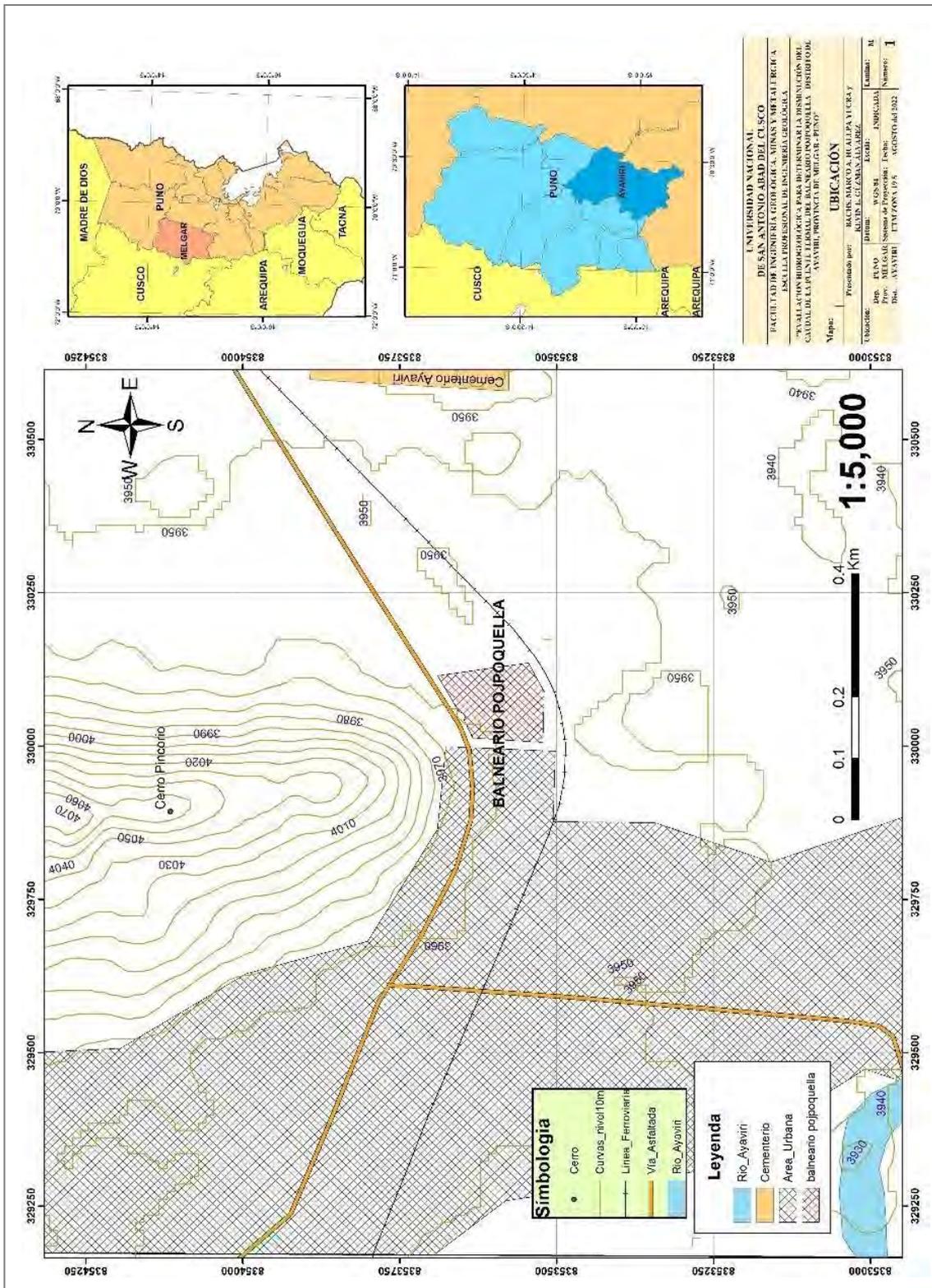
*Fuente: elaboración propia*



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N° 01: UBICACIÓN

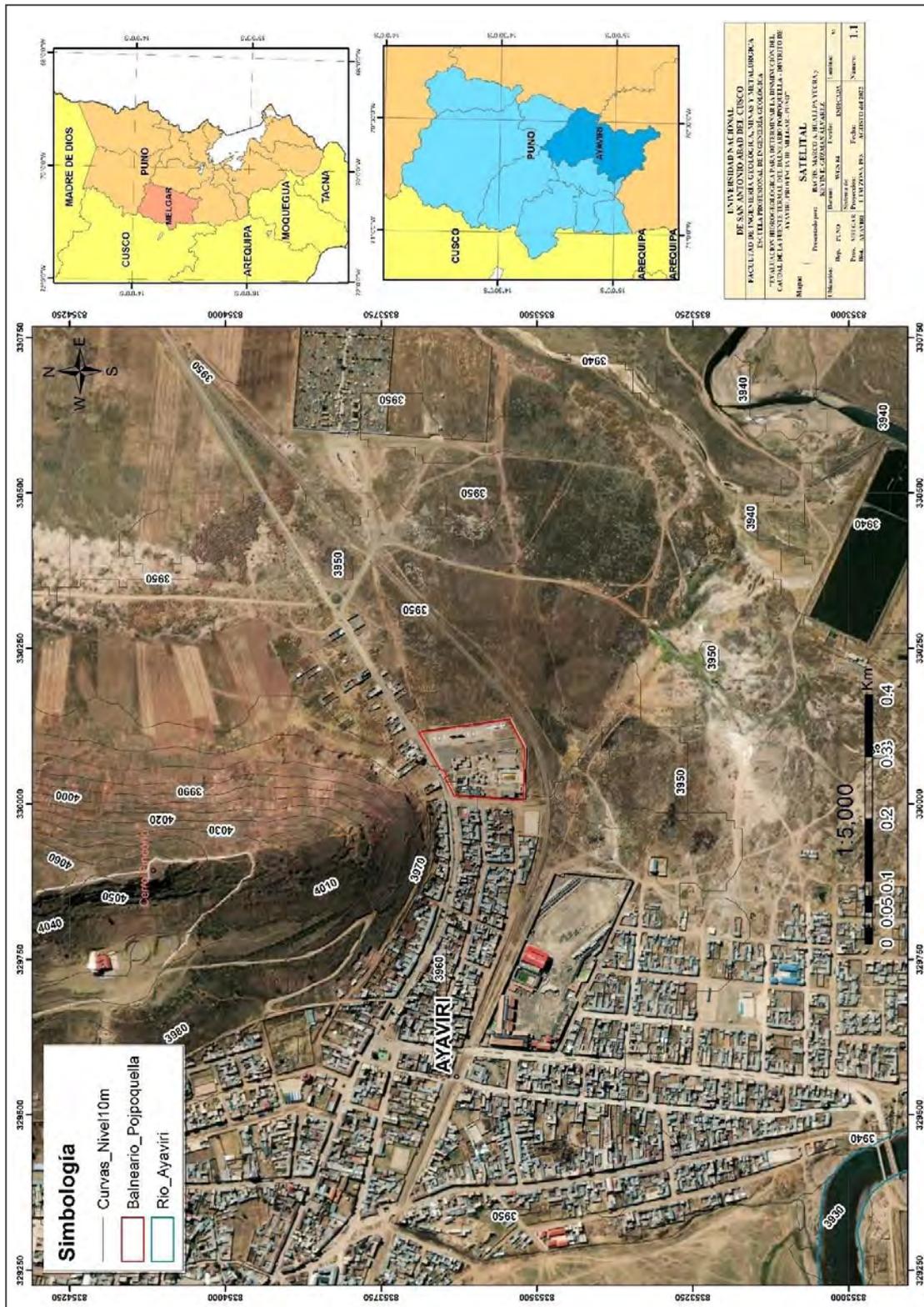




# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N° 1.1: SATELITAL





## 1.2. ACCESIBILIDAD

Para llegar a la zona de estudio, básicamente es por vía terrestre, el cual se muestra en la Tabla 3. También ver MAPA N°02: ACCESIBILIDAD.

*Tabla 3. Accesibilidad a la zona de estudio*

Vías de acceso	Distancia (Km)	Tiempo de viaje	Tipo de vía
Cusco – Ayaviri – Balneario de Pojpoquilla	248 Km	5 horas y 30 minutos	Asfaltado
Lima – Juliaca	1460 Km	1 h y 50 min	Aérea
Juliaca – Ayaviri	84 Km	1 h y 15 min	Asfaltada

*Fuente: elaboración propia*

## 1.3 ANTECEDENTES

Ya, allá por los años 1860, ya el sabio Antonio Raimondi, y más tarde el químico Dr. Felipe Urquieta, hicieron el análisis físico-químico respectivo de las aguas termales de Pocpoquilla – Ayaviri, “constatando su composición sulfurosa yodada, bicarbonatada, ferruginosa y clorurada, muy indicada para la cura del reumatismo y de afecciones de la piel. De las siete fuentes termales quedan hoy día la de Pocpoquilla, convertida gracias a notable trabajo de la Beneficencia Pública de Ayaviri, en un complejo deportivo digno de admirar: piscina oficial, piscina para niños, plataforma deportiva. Ambientes sociales y la conservación de su renovada poza, con servicios de duchas” (Wikipedia, 2006).

En lo que respecta a la Hidrogeología del área de estudio se dispone de poca información. Tan sólo existen estudios realizados en algunas cuencas y subcuencas en el departamento de Puno y en las pampas altas del departamento de Moquegua entre los años 1967 a 1993; se pueden mencionar los trabajos de: PASTRANA, M. (1989): “Hidrogeología de la Cuenca del Río Coata, Puno” y PÉREZ, G. (1976) – “Acuíferos regionales en las altiplanicies del extremo sur de los Andes del Perú”. En Congreso



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Latinoamericano de Geología, 2 Caracas, 1973. (Huamaní, 2001).

También existen, trabajos de tesis realizados para la obtención del grado en la Universidad Nacional del Altiplano. Estos estudios se realizaron en algunas cuencas y subcuencas en el departamento de Puno. Estos trabajos por ser regionales, incluso hasta locales, tienen sus propias apreciaciones y conclusiones acerca de los acuíferos existentes en los respectivos sectores. Generalmente, se han analizado los acuíferos del Cuaternario, los cuales, sin duda son las más aprovechables. Entre estos están: CALLA, J., (1993): “Estudio Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Juliaca” y ESPINOZA, G. (1993) – “Evaluación hidrogeológica de la parte baja de la cuenca del río Ilave margen izquierda” (Huamaní, 2001).

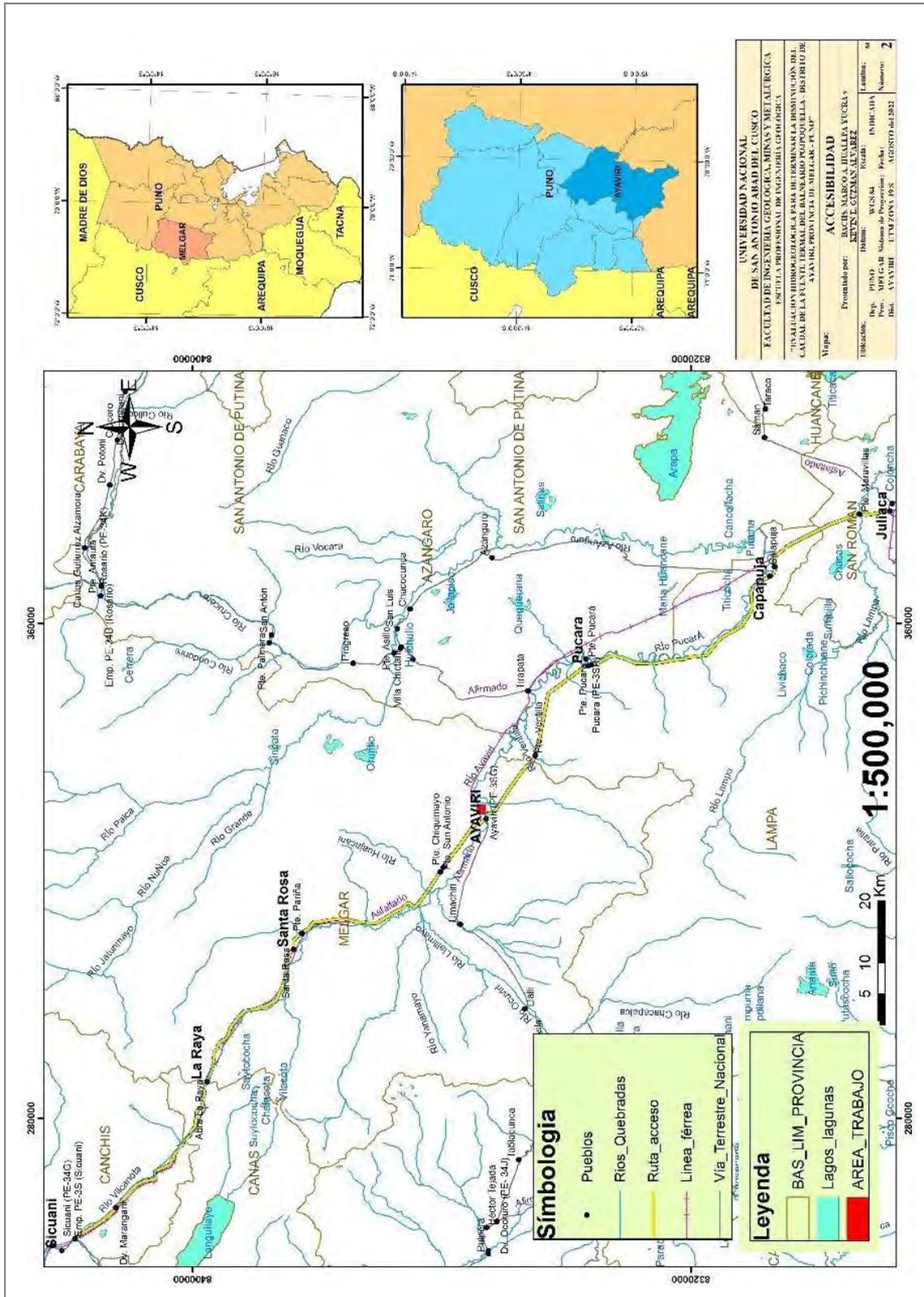
INGEMET (2001) publicó el boletín N° 25 denominado “Aguas termales y minerales en el suroriente del Perú”, delimitados en cuatro sectores de estudio, que abarca los departamentos de Cusco, Madre de Dios, Puno y parte de Apurímac y Moquegua. En tal estudio se planteó completar el inventariado general de las fuentes termales, minerales y termominerales en el país, llegando a estudiar 101 fuentes termominerales, entre los cuales figura la fuente termal de Pojpoquilla. En este estudio se determinaron su geología, propiedades hidroquímicas y fisicoquímicas del Pojpoquilla. Atribuyendo a las areniscas y conglomerados del Grupo Puno como el acuífero que los almacena; un caudal de 20 l/s; una temperatura de 36 °C; un pH de 6.4; una conductividad eléctrica de 400 microsienes/cm; presencia de gases como el H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>; etc. Por ello lo clasificaron como agua termomineral.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N° 02: ACCESIBILIDAD





## 1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.4.1. Descripción del Problema

El Balneario de Pojpoquilla, está catalogado como un complejo termal turístico, para uso termo medicinal, según estudios del INGEMET. Cuya explotación empezó a partir del año de 1940, bajo la conducción de la Sociedad de Beneficencia Pública de Melgar - Ayaviri.

La fuente termal desde sus inicios producía un caudal relativamente constante hasta hace algunos años atrás. Según estudios realizados por el INGEMET en su publicación “Aguas termales y minerales en el suroriente del Perú” año 2001, donde se inventario 101 fuentes termales y minerales en los departamentos de Apurímac, Cusco, Madre de Dios y Puno, entre ellos la fuente geotermal del Balneario de Pojpoquilla. En este estudio se le atribuye un caudal de salida de 20 l/s, el cual bajo por alguna razón y se estabilizo en 12 l/s, manteniéndose hace relativamente constantes hasta hace 6 años atrás. Pero repentinamente disminuyó más de 10 cm del nivel de piscina en año 2016, hasta que se hizo muy notorio, llegando hasta casi secarse años después, lo cual preocupo en gran manera a las autoridades locales competentes. Por tal razón el Balneario de Pojpoquilla fue cerrada ese mismo año por la disminución del caudal. Ya en el año 2021 se hizo aforo de caudal de salida, y efectivamente había descendido a 2.2 l/s; y además sus propiedades fisicoquímicas habían cambiado algo de lo que era originalmente.

Por ello en este estudio, se planteó hacer una evaluación hidrogeológica, para llegar a determinar la(s) causa(s) de esta disminución del caudal de la fuente termal. Y según ello proponer las alternativas viables para recuperar el caudal original de la fuente, y así contribuir a favorecer nuevamente al sector turístico del Distrito de Ayaviri.



## **1.4.2. Formulación del problema**

### **1.4.2.1. Problema General**

¿Cuáles son las características hidrogeológicas de las aguas subterráneas que se hallan bajo balneario Pojpoquilla del Distrito de Ayaviri; y por qué la disminución del caudal de la fuente termal?

### **1.4.2.2. Problemas Específicos**

1. ¿Cuáles son las características geomorfológicas y geológicas de la zona de estudio “balneario Pojpoquilla-Ayaviri”?
2. ¿Cuál es el comportamiento hidrometeorológico en la zona de estudio?
3. ¿Cómo está configurado el sistema termal se halla bajo el balneario Pojpoquilla?
4. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua termal del balneario Pojpoquilla?
5. ¿Cómo es el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero y por qué ha descendido en caudal de la fuente termal del balneario Pojpoquilla?
6. ¿Cuál(es) son las alternativas de solución a la situación actual del balneario Pojpoquilla?

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar las características hidrogeológicas de las aguas subterráneas que se hallan bajo balneario Pojpoquilla del Distrito de Ayaviri; para determinar la causa de la disminución del caudal de la fuente termal.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar las características geomorfológicas y geológicas de la zona de



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



estudio “balneario Pojpoquilla - Ayaviri”.

2. Determinar el comportamiento hidrometeorológico en la zona de estudio.
3. Determinar la configuración del sistema termal que se hallan bajo el balneario Pojpoquilla, mediante prospección geofísica eléctrica (tomografía).
4. Determinar las características físicoquímicas del agua termal del balneario Pojpoquilla.
5. Determinar la causa o causas de la disminución del caudal de la fuente termal en base a los parámetros anteriores, sintetizado en un modelo hidrogeológico conceptual.
6. Proponer las alternativas de solución a la situación actual del balneario Pojpoquilla.

### 1.6. HIPÓTESIS

#### 1.6.1. Hipótesis General

Los acuíferos volcanosedimentarios de la Formación Tinajani y Tacaza, se hallan atravesados por uno de los ramales de la falla Ayaviri, que es aprovechada por el agua termal que alcanza a la superficie en el punto de Pojpoquilla. Este sistema termal fue afectado por el sismo de Lampa de magnitud 5.5 (1 de diciembre del 2016), que causó la obstrucción del conducto termal, que a su vez generó el descenso gradual del caudal de la fuente termal.

#### 1.6.2. Hipótesis Específico

1. La localidad de Ayaviri, donde se el Balneario Pojpoquilla, se halla en llanura altiplánica (depósitos aluviales), rodeado de montañas bajas o cerros, como el volcanosedimentario (detrítico-tobáceo) de Tinajani, afloramientos de calizas dispersas y la serie detrítica del Grupo Puno. Además de la presencia de la Falla Ayaviri que atraviesa la cuenca de Ayaviri.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



2. La localidad de Ayaviri por hallarse en el altiplano, sobre los 3900 msnm, presenta bajas precipitaciones y altas evapotranspiraciones.

3. Empleando prospección geofísica ERT (tomografía eléctrica) es posible delimitar la geometría, la configuración de acuífero volcanosedimentario de Pojpoquilla; y explicar los conductos o ramales hidrotermales.

4. Las características fisicoquímicas del agua subterránea del balneario Pojpoquilla, han cambiado desde el año 2016.

5. El acuífero volcanosedimentario de la Formación Tinajani, cubierto por depósitos aluviales en la zona, se halla fracturado. Tal es que uno de sus fracturas (conductos) llega a la superficie, por donde sube y fluye el agua termal Pojpoquilla. Y que un movimiento sísmico produjo nuevas fracturas y/o obstruyendo el conducto y, por ende, alterando el curso del fluido caliente.

6. Para recuperar el caudal original de la fuente termal, se debe realizar bombeo con electrobomba sumergible, sellar las grietas de escape, y dar una limpieza adecuada del fondo(6m) de la poza termal que permita liberar los detritos que obstruyen el conducto de ascenso del agua.

### 1.7. JUSTIFICACIÓN

La fuente termal del Balneario Pojpoquilla es una fuente de ingresos económicos para el pueblo de Ayaviri, que esta administrado por Sociedad de Beneficencia Pública de Melgar – Ayaviri. Este foco termal además constituye un atractivo parque ecoturístico, uno de más concurridos de Puno. Debido a las instalaciones modernas como los complejos deportivos y piscinas; y fundamentalmente por sus propiedades curativas en tratamiento de males de articulación. Lo cual conlleva que cualquier percance negativo, como la aliteración de las propiedades o caudal, es contraproducente para los interesados.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Por ello conocer la configuración hidrogeológica de la surgencia del agua termomineral de Pojpoquilla es vital para comprender el comportamiento del acuífero termal; y por ende explicar porque el caudal ha descendido a partir del año 2016.

### 1.8. VARIABLES E INDICADORES

#### 1.8.1. Variables Dependientes

- Aguas termales subterráneas de Pojpoquilla - Dist. Ayaviri

#### 1.8.2. Variables Independientes

##### a). Geología

- Litología: tipos de rocas
- Estratigrafía: estratos (m), discordancias
- Formas estructurales: geoformas, fallas, pliegues

##### b). Hidrología

- Precipitación pluvial
- Evapotranspiración

##### c). Hidrogeología

- Composición de las aguas subterráneas.
- Estudio hidrogeológico de aguas termales subterráneas.
- Flujo de las aguas subterráneas.
- Parámetros de litopermeabilidad.

### 1.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.9.1. Tipo de Investigación

La presente tesis corresponde al tipo de investigación “aplicada” ya que la investigación “busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar; le



## **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad concreta. Este tipo de investigación es la que se realiza para conocer la realidad de su ámbito y plantear soluciones concretas, reales, factibles y necesarias.” (Ávila, 1997).

### **1.9.2. Nivel de la Investigación**

El nivel de la presente tesis es una investigación “descriptiva y explicativa” ya que “tiene como objetivo determinar y explicar las características de un fenómeno, así como establecer relaciones entre algunas variables, en un determinado lugar o momento”. (Ávila, 1997).

### **1.9.3. Etapas y metodología de la Investigación**

Las etapas de la esta investigación se dividen en cuatro fases de trabajo, entre trabajos de gabinete (I y II), campo (I) y laboratorio.

#### **1.9.3.1. Fase de Recopilación de Información (Gabinete I)**

Corresponde a la fase donde se hace la recopilación de toda la información preliminar pertinente al estudio, entre los cuales están:

- Memoria descriptiva del boletín del INGEMMET correspondiente al cuadrángulo de Ayaviri 30-u, información relacionada con el marco geológico regional y tectónica.
- Mapa geológico del cuadrángulo de Ayaviri 30-u.
- Mapa del balneario Pojpoquilla en AutoCAD.
- Informe de los antecedentes y geoquímica del balneario Pojpoquilla, papers y otros.

Con todo ello se elaboró los mapas base y el plan de trabajo para la siguiente etapa.

#### **1.9.3.2. Fase de Campo**

El trabajo de campo se realizó en visitas correspondientes al área de estudio en tres campañas o periodos.

Campaña 01: mapeo geológico. Comenzando inicialmente con la visita preliminar



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

al balneario y aledaños. Seguidamente se procedió con el levantamiento de información geomorfológica y geológica (2 km a la redonda), principalmente la estratigrafía y estructuras geológicas.

Campaña 02: inventario y muestreo de las surgencias hidrotermales. Para ello se procedió a la toma muestras del agua de la poza geotermal del balneario; y de las pocas surgencias existentes; entre ellas las aguas que desaguan el canal del colegio Mariano. También se procedió a tomar los parámetros físicos IN SITU.

Campaña 03: prospección geofísica ERT. Para ello se empleó el equipo de tomografía eléctrica. Con el cual se procedió a levantar los puntos de prospección en cuatro líneas geofísicas, dos de ellos alrededor del balneario, y los otros más allá del perímetro.

### **1.9.3.3. Fase de Laboratorio**

En esta fase se sometió las muestras traídas del campo para su análisis químico correspondiente. Sobre se priorizo la muestra de la propia fuente termal del Balneario Pojpoquilla (1A) y del canal del colegio Mariano Melgar (3C).

### **1.9.3.4. Fase de Gabinete II (redacción del documento investigativo)**

Esta fase representa el análisis de la información recopilada y producida. Por ello los resultados de la investigación se plasmaron en el informe final de la investigación, acompañando con sus respectivas: mapas, figuras y esquemas; así también las conclusiones y recomendaciones al problema planteado.

## **1.10. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

La explotación del Agua Minero Medicinal del Balneario de Pojpoquilla, se da a partir del año de 1940, bajo la conducción de la Sociedad de Beneficencia Pública de Melgar - Ayaviri. En una primera instancia se construye una pequeña poza de largo de 18



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

metros por 8.80 metros de ancho, esto alrededor del afloramiento del agua minero medicinal que posee una profundidad de más de 6 metros. Y a partir de 1965, la Sociedad de Beneficencia Pública Melgar, amplía su cobertura y construye el Balneario de Pojpoquilla.

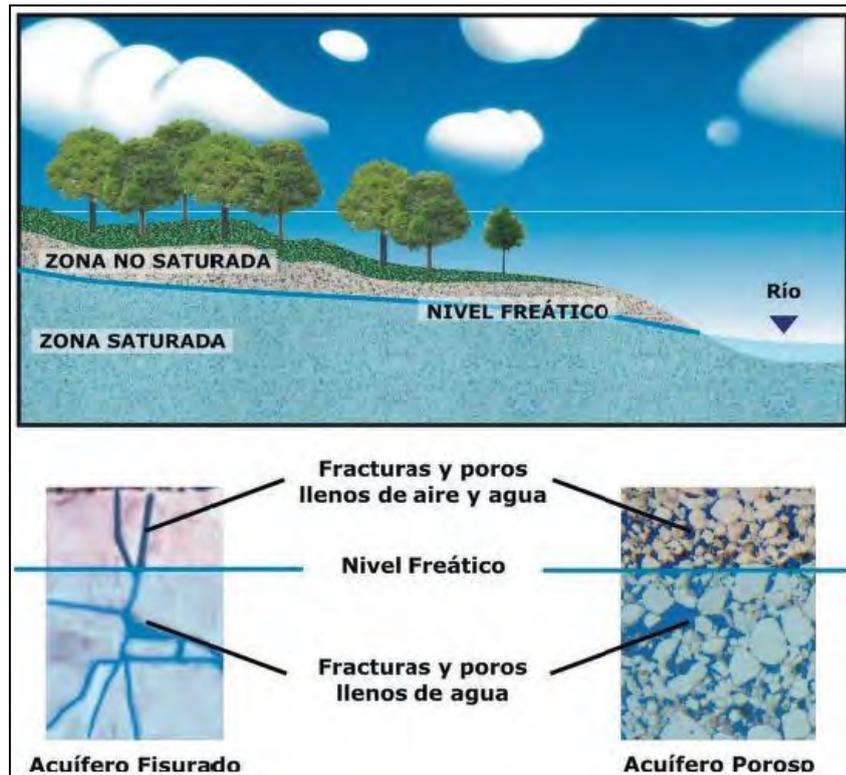
La ubicación en área urbana misma del Balneario Pojpoquilla resulta provechoso para el pueblo y visitantes; sin embargo, no es tan cómodo para levantar secciones geofísicas ERT alrededor del complejo, porque se encuentra pavimentada, lo que es inconveniente para la instalación de los electrodos.

### 1.11. MARCO TEÓRICO

#### 1.11.1. Las Aguas Subterráneas

Es el agua que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración [...]. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales (Collazo & Montaña, 2012, pág. 16).

Collazo et al. (2012) en el perfil de subsuelo define, dos zonas con caracteres hidráulicos diferentes. Una zona superior, más somera se denomina de aireación o zona no saturada, y la más profunda de saturación o zona saturada (ver Figura 1), donde los poros están llenos de agua (pág. 17). Figura 1. Zona saturada y no saturada de un acuífero



*Fuente:* (Collazo & Montaña, 2012)

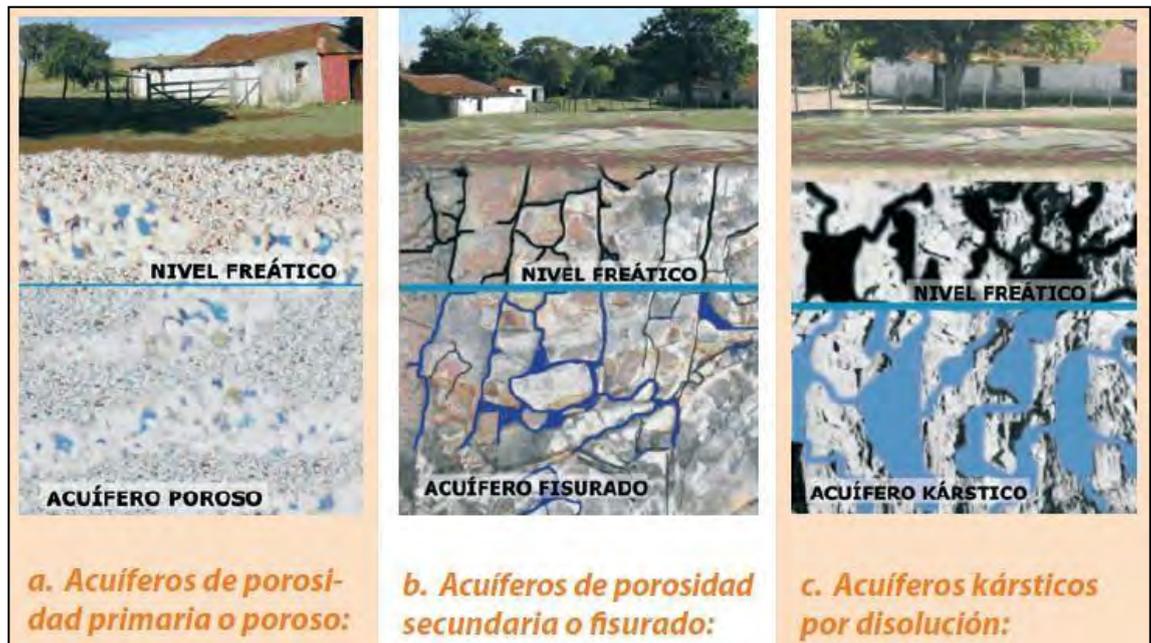
### 1.11.2. Clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico

Según Martínez et al. (2006), desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, las formaciones geológicas se clasifican en: acuíferos, acuitardos, acuicludos y acuífugos. Donde los acuíferos, son unidades que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas. Los acuitardos almacenan agua y la transmiten lentamente. En tanto que los acuicludos, almacenan agua, pero no tienen la capacidad de transmisión. Y los acuíferos, no almacenan ni transmiten agua (pág. 75).

### 1.11.3. Clasificación de los acuíferos según su porosidad

Martínez et al. (2006), clasifica los acuíferos en tres grupos, al considerar el estado de la porosidad de la unidad acuífera (ver Figura 2).

Figura 2. Tipos de acuíferos según su posición



Fuente: (Collazo & Montaña, 2012)

#### 1.11.3.1. Acuífero poroso (Porosidad intergranular)

Este tipo de porosidad es típico de las rocas detríticas no consolidadas. En ellas los poros constituyen una intrincada red de canales de pequeño diámetro por los que circula el agua subterránea. Generalmente esta red de canales está distribuida por todo el volumen de la roca (Martínez, Martínez, & Castaño, 2006, pág. 82).

#### 1.11.3.2. Acuífero fisurado (Porosidad por fisuración)

Este tipo de porosidad suele ser el característico de las rocas sedimentarias consolidadas, plutónicas y metamórficas. Como consecuencia de una serie de procesos tectónicos las rocas presentan una red de fisuras de mayor o menor entidad y de mayor o menor 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, Martínez, & Castaño, 2006, pág. 84).

#### 1.11.3.3. Acuífero Kárstico (Porosidad por disolución)



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



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, Martínez, & Castaño, 2006, pág. 84).

### **1.11.4. Clasificación de los acuíferos según su potencial hidráulico**

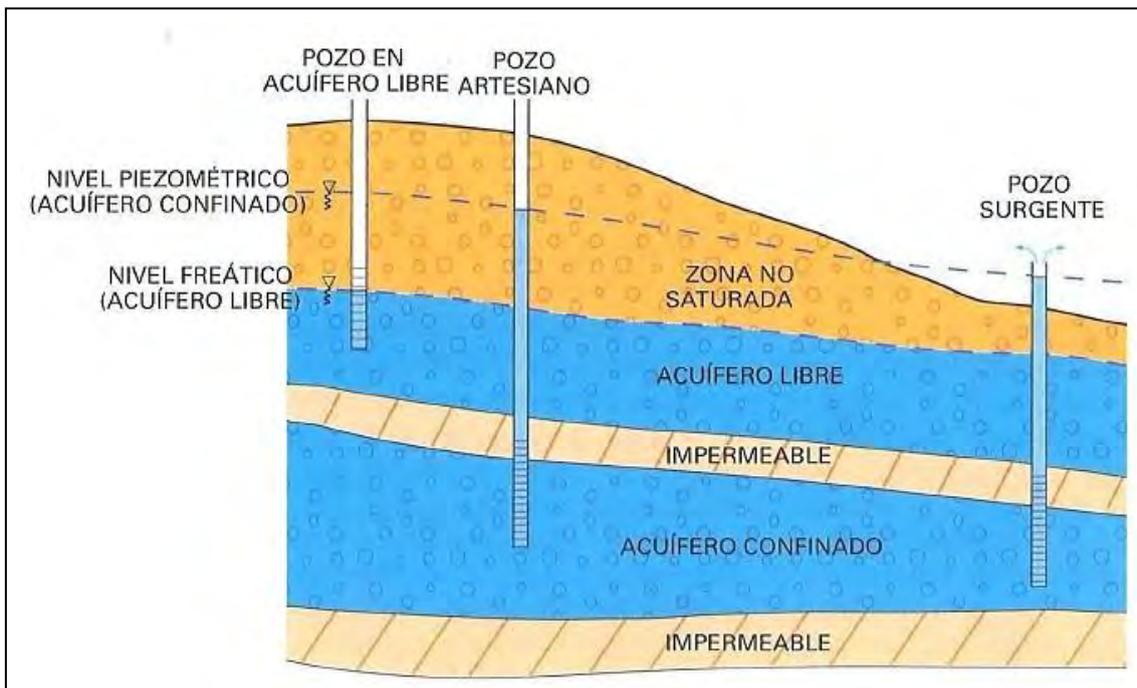
Tanto el nivel piezométrico como el nivel freático, es decir la altura que alcanza el agua subterránea en el interior de un sondeo ranurado exclusivamente en un punto de un acuífero, son consecuencia directa de la energía que tiene el agua en ese punto (ver Figura 3). A esta energía se le denomina potencial hidráulico en ese punto (Martínez, Martínez, & Castaño, 2006, pág. 79).

#### **1.11.4.1. Acuíferos libres o atmosféricos**

Según Martínez et al. (2006), son acuíferos cuya superficie freática (lugar geométrico de los puntos de agua subterránea) se encuentran a la presión atmosférica (pág. 76).



Figura 3. Comportamiento de los distintos tipos de pozos según el potencial



Fuente: (Martínez, Martínez, & Castaño, 2006)

#### 1.11.4.2. Acuíferos confinados o cautivos

Según Martínez et al. (2006) son acuíferos que están aislados de la atmósfera por unidades geológicas impermeables. Razón por lo cual en todos sus puntos el agua se encuentra a una presión mayor que la atmosférica (pág. 76). Y “si las unidades confinantes permiten un cierto flujo de agua desde el acuífero hacia el exterior oviceversa, al acuífero se le llama semiconfinado” (Martínez, Martínez, & Castaño, 2006, pág. 77).

#### 1.11.5. Aguas termales, minerales y termominerales y aguas minero-medicinales

Se consideran **aguas termales** a aquellas que surgen del interior de la Tierra cuya temperatura es elevada (superior a los 20 °C o aguas con temperaturas superiores en 5 o 6 °C a la temperatura ambiental de la zona de surgencia) (Vargas, 2010, pág. 1175).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Las **aguas minerales** son aquellas aguas que en su composición química presentan concentraciones altas ( $\Sigma \text{iones} > 1000 \text{ mg/L}$ ) de algunos iones como son  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H-CO}_3$ ,  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ba}^+$  y  $\text{Sr}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Fe}^{++}$  entre otros. Cabe señalar que las aguas minerales pueden ser frías o calientes (Vargas, 2010, p. 1175).

Las **aguas termominerales** son aguas que cumplen con las dos características antes mencionadas a la vez (Vargas, 2010, p. 1175).

Las **aguas minero-medicinales**, son aquellas que por su composición química y física tienen propiedades terapéuticas. Entonces no todas las fuentes termales son fuentes minerales, y no todas las fuentes minerales (o termominerales) son necesariamente minero-medicinales, es decir tener propiedades y/o poderes curativos, a los que comúnmente la gente asocia (Vargas, 2010, p. 1175).

### 1.11.6. Clasificación de aguas termales, según su origen

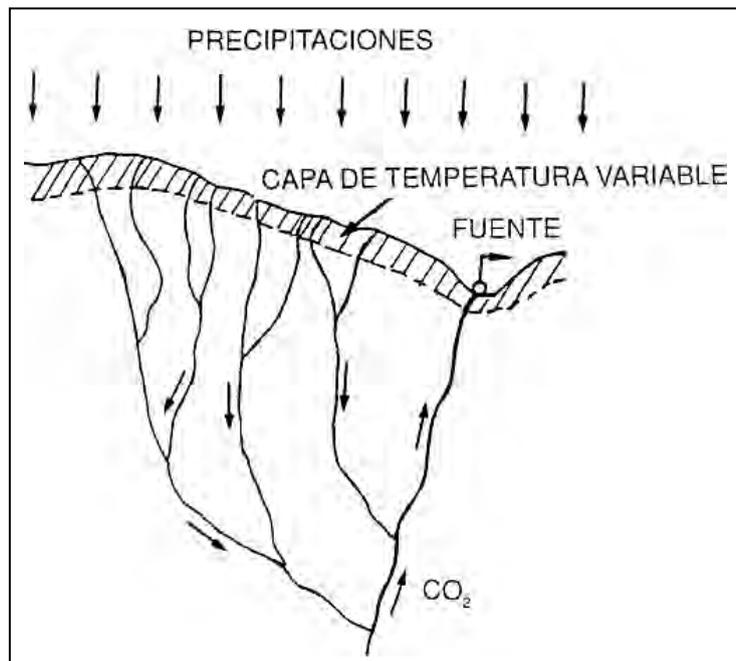
Según Castany (1971) las fuentes termales tienen tres orígenes, según lo cual ellas pueden ser:

De **origen meteórico o aguas de infiltración**: El agua procedente de las precipitaciones se infiltra (ver Figura 4), descendiendo por gravedad hacia estratos profundos, elevando su temperatura por efecto del gradiente geotérmico. Este parámetro está definido como la variación de la temperatura respecto a la profundidad. El gradiente geotérmico no es constante pues depende de las características físicas que presente el material en cada punto del interior del planeta. Su valor promedio de  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  por cada 1000 m (Vargas, 2010, p. 1175).

Las características físico-químicas de estas aguas vienen dadas por la de los terrenos de donde provienen. Por ello, su contenido en sales, su temperatura y las características hidrológicas son muy variables. No obstante, su temperatura en el punto de surgencia raramente supera los  $35\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$  (Pinagua, 2004, pág. 4).



Figura 4. Esquema del origen meteórico de las aguas termales



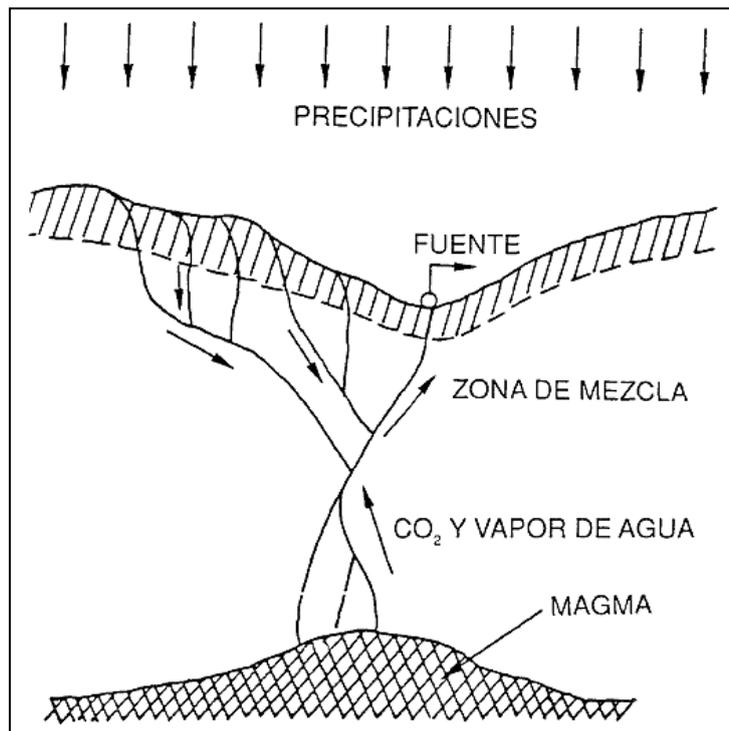
Fuente: (Pinagua, 2004)

- De **Origen Juvenil o magmático**: En este caso se tiene de dos tipos magmático y volcánico, en el primero las aguas proceden de la cristalización del magma, el cual libera constituyentes volátiles que escapan a la superficie, compuesto principalmente de hidrógeno y vapor de agua. En el segundo, las aguas 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) (Vargas, 2010, p. 1175).

- De **Origen Mixto**: Aguas que proceden de la mezcla de aguas meteóricas y juveniles (Vargas, 2010, p. 1175). Como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Esquema del origen mixto de las aguas termales



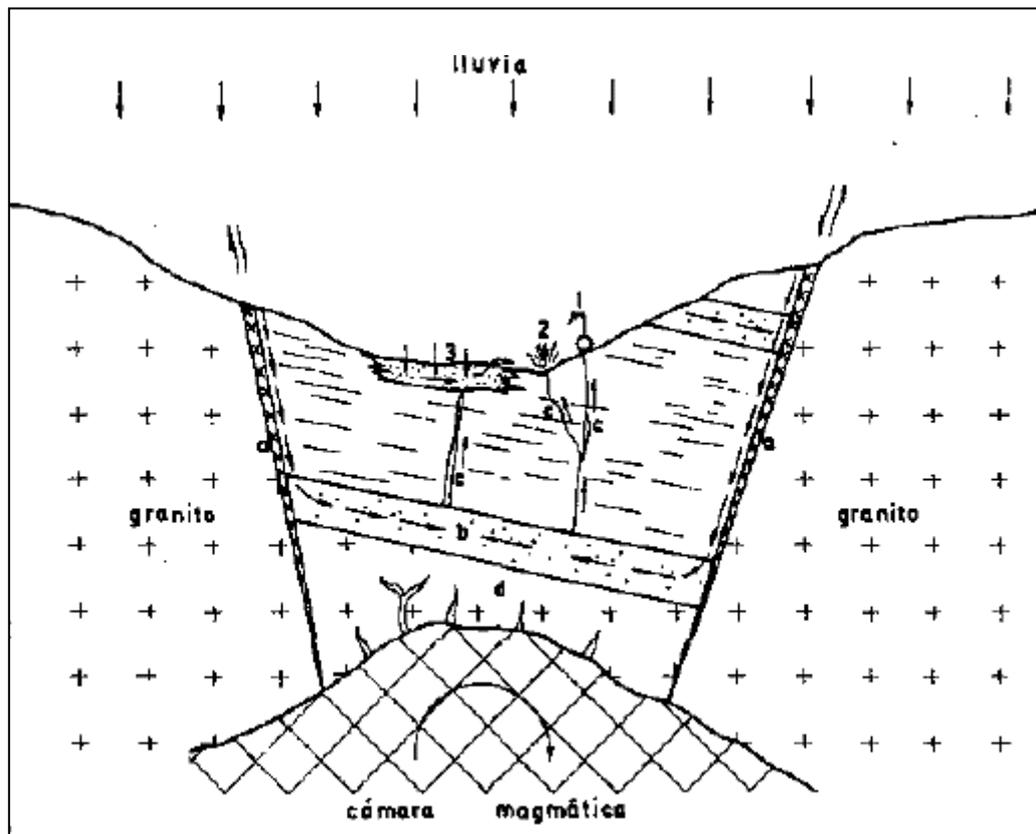
Fuente: (Pinagua, 2004)

### 1.11.7. Áreas geotérmicas

Según Custodio et al. (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. Si el sistema geotérmico incluye agua en movimiento se llama también sistema hidrotermal (ver Figura 6), 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” (pág. 1071).



Figura 6. Esquema de un sistema hidrotermal en una fosa tectónica



Fuente: (Custodio & Llamas, 1983)

En el estado de conocimientos actual, las áreas geotérmicas con frecuencia no coinciden con las grandes zonas de mayor flujo térmico terrestre, sino que constituyen manifestaciones marginales de menor extensión (Custodio & Llamas, 1983, p. 1071).

#### 1.11.8. Surgencia de las Aguas Termales

Las fuentes de agua termal están unidas esencialmente al concepto de «ascensión» de aguas 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, pág. 3). Entre los accidentes geológicos que favorecen la circulación del agua se pueden citar:

- ✓ Las diaclasas y fisuras finas.
- ✓ Las fallas y zonas de milonización.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



- ✓ Los contactos geológicos.
- ✓ Los filones y diques eruptivos.
- ✓ Los filones metalíferos.

Pero la sola presencia de fisuras y fracturas no es suficiente para que se produzca una surgencia de agua termal. Es necesario que estos accidentes se encuentren abiertos. Por ahí la noción de "fisuración activa" (Pinagua, 2004, pág. 3).

Los estudios de geología estructural muestran que los accidentes primitivamente abiertos y posteriormente ampliados y desarrollados por la circulación de las aguas subterráneas, aunque pueden verse colmatados por depósitos minerales, pueden reactivarse también en fases tectónicas posteriores. Por ello, las surgencias de aguas termales se sitúan, sobre todo, en zonas de movimientos recientes o de tectónica activa (Pinagua, 2004, pág. 3).

Las **diaclasas y fisuras** finas raramente constituyen el origen de la circulación de las aguas termales, no así las **fallas y las zonas milonitizadas** que las acompañan que cuando están abiertas son las vías naturales de surgencia de las aguas termales, siendo frecuente la localización de surgencias termales sobre grandes fracturas de zócalo (Pinagua, 2004, pág. 3).

Los **contactos geológicos** entre rocas graníticas y sedimentarias son también vías preferentes por las que circulan y emergen las aguas termales. Del mismo modo, los filones y los **diques eruptivos** favorecen la emergencia rápida de las aguas termales (Pinagua, 2004, pág. 3).

[...] los **filones metalíferos** son a menudo una vía privilegiada para la emergencia de aguas termales. En este sentido hay que resaltar que los filones se corresponden normalmente con las grandes fracturas del zócalo que continúan activas y juegan un doble papel: por un lado hidráulico, favoreciendo la ascensión de las aguas profundas hacia la



superficie, y por otro lado químico, favoreciendo el enriquecimiento en sales debido a la disolución de sus sustancias minerales (Pinagua, 2004, pág. 3).

### 1.11.9. 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 citar:

- ✓ La expansión del vapor de agua
- ✓ La acción de los gases ocluidos y disueltos, y
- ✓ La acción de la temperatura

**Gradiente hidráulico.** Es el factor principal que afecta a la circulación de las aguas subterráneas, termales o no. Su acción implica zonas de alimentación o recarga más elevada que las zonas de emergencia o acumulación (Pinagua, 2004, pág. 3).

**Expansión del vapor de agua.** Este factor juega un papel esencial en el funcionamiento de los géiseres, fumarolas y en la surgencia de las fuentes hipertermales. Cuando el agua entra en contacto con rocas a alta temperatura, se producen dos acciones físicas: la de la vaporización del agua y la de su disociación con la fijación de oxígeno (Pinagua, 2004, pág. 3).

**Acción de los gases ocluidos y disueltos.** Los gases ocluidos y disueltos tienen una doble acción física y dinámica ya que, por un lado, rebajan el peso específico del agua, y por otro, la presión de los gases emulsiona el agua y provoca su ascenso (Pinagua, 2004, pág. 3).

**Acción de la temperatura.** La temperatura actúa variando la masa específica del agua y



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

su viscosidad, de forma que si el gradiente de temperatura supera el límite conocido como gradiente adiabático el fluido existente en el acuífero se hace inestable y tiende a fluir por convección térmica hacia superficie. A su vez, la diferencia de densidad entre el agua fría y caliente provoca un fenómeno típico de termosifón, que crece con el caudal (Pinagua, 2004, pág. 4).

### 1.11.10. Clasificación de las aguas termales 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: menos de 20 °C.
- ✓ Hipotermas: entre 20 y 35 °C.
- ✓ Mesotermas: entre 35 y 45 °C.
- ✓ Hipertermas: de más de 45 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):

Siguiendo estas normas, que podemos considerar internacionales, podemos clasificar las aguas minerales como sigue:

**Sulfatadas:** con más de 1(g/l) de sustancias mineralizantes, donde predomina el anión sulfato y están influidas fuertemente en sus propiedades terapéuticas por otros iones como sodio, magnesio, bicarbonato y cloruro.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



**Cloruradas:** con más de 1(g/l) de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro suele estar acompañado de sodio en proporción semejante. La composición de este tipo de agua refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos. La ocurrencia de fallas y grietas facilita su ascenso a la superficie. Se subdividen en: fuentes (mar de 50 g/l), medianas (entre 10 y 50 g/l) y débiles (menos de 10 g/l).

**Bicarbonatadas:** con más de 1(g/l) de sustancia mineralizante, donde el ion bicarbonato es acompañado de calcio, magnesio, sodio, cloruro y otros. Estas aguas cuando poseen gran cantidad de ácidos libres (CO<sub>2</sub> mayor de 250 mg/L), también se denominan carbónicas o carbogaseosas. (Reyes,2015)

### 1.11.11. Análisis Químico de las Aguas Minerales

Tiene que incluir necesariamente, los valores cuantitativos de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de las sustancias presentes, magnitudes necesarias para poder clasificarla inequívocamente en un grupo definido (Armijo-Castro, 1994a).

Es por esto que se debe realizar un correcto análisis de los componentes de dichas aguas, teniendo en cuenta primeramente una adecuada toma de muestras (se deben tomar 2 y 2.5 l). (Reyes 2015)

El análisis cuantitativo se compone:

- ✓ Determinaciones organolépticas: olor, sabor, turbidez.
- ✓ Determinaciones físico-químicas en la fuente: conductividad, pH, potencial redox, temperatura.
- ✓ Determinación de sustancias ionizadas: Elementos mayoritarios indispensables cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio.
- ✓ Otros elementos mayoritarios; nitratos, potasio.
- ✓ Elementos traza: hierro, litio, fluoruros, azufre reducido (sulfuros y sulfhidratados).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



- ✓ Determinación de gases: anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno y oxígeno disuelto.
- ✓ Determinación de elementos no ionizantes: sílice.
- ✓ Determinaciones auxiliares: residuo seco, dureza, alcalinidad, acidez.

### 1.11.12. Fundamentos básicos del método geoelectrico

El método geoelectrico se encarga de estudiar la reacción que experimentan los materiales que subyacen en el suelo cuando estos son confrontados con el paso de corriente eléctrica, ya sea esta artificial o natural y a su vez corriente continua o alterna.

#### 1.11.12.1. Método resistivo

La resistencia  $R$  de cualquier conductor o material, depende directamente del coeficiente de proporcionalidad  $\rho$  también llamado Resistividad del material (ver Tabla 4), además de la longitud  $L$  y de la sección transversal del mismo  $S$ .

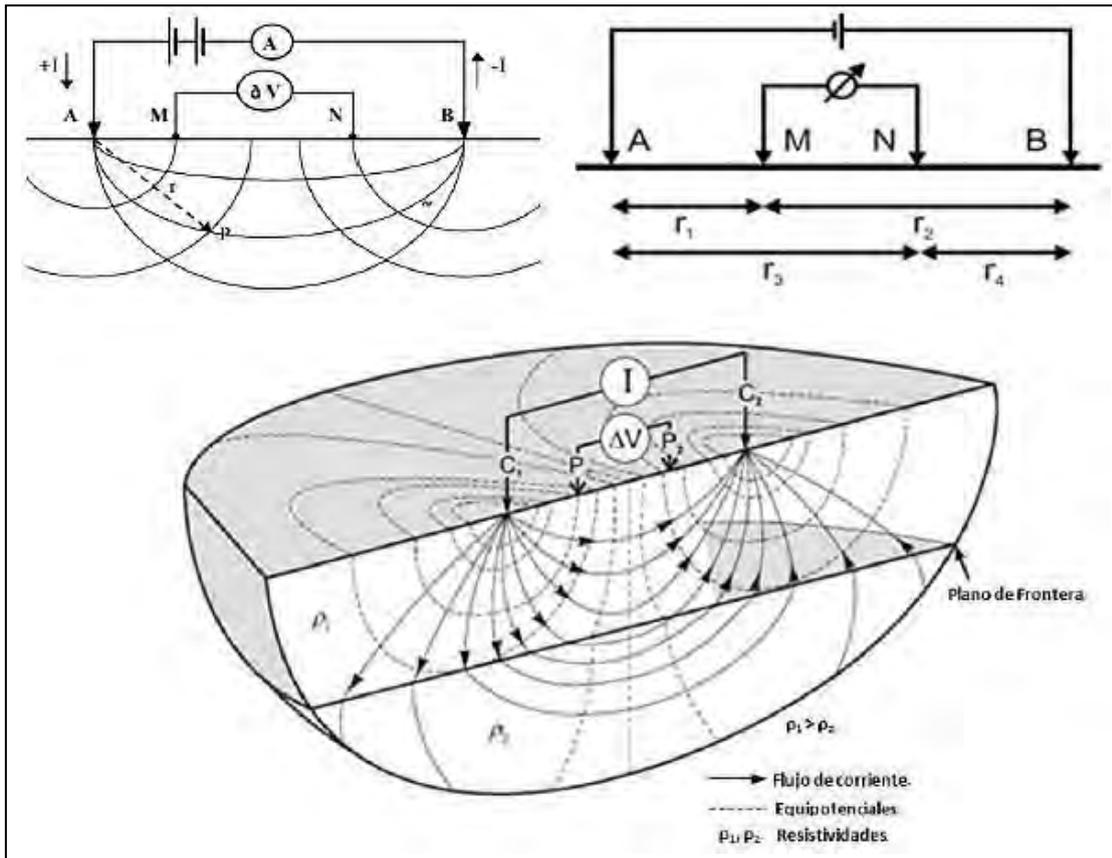
Por ejemplo, se tiene un trozo de circuito o conductor, representado mediante una figura de longitud  $L$  y de área de sección transversal  $S$ . Partiendo de lo anterior, la resistencia quedaría expresada en la Figura 7.

*Tabla 4. Valores y rango de resistividades para rocas y minerales*

Roca	Resistividad	Roca	Resistividad
Basamento	> 1000	Arenas saturadas	100 a 200
Basamento fractura	1500 a 5000	Limos semi-saturados	100 a 200
Gravas no saturadas	500 a 2000	Limos saturados	20 a 100
Gravas saturadas	300 a 500	Arcillas no saturadas	20 a 40
Arenas no saturadas	400 a 700	Arcillas saturadas	5 a 20

*Fuente: (CMPLab, 2020)*

Figura 7. Principio del flujo de energía del método resistivo



Fuente: (CMPLab, 2020)

### 1.11.12.2. Métodos en Prospección Geoeléctrica

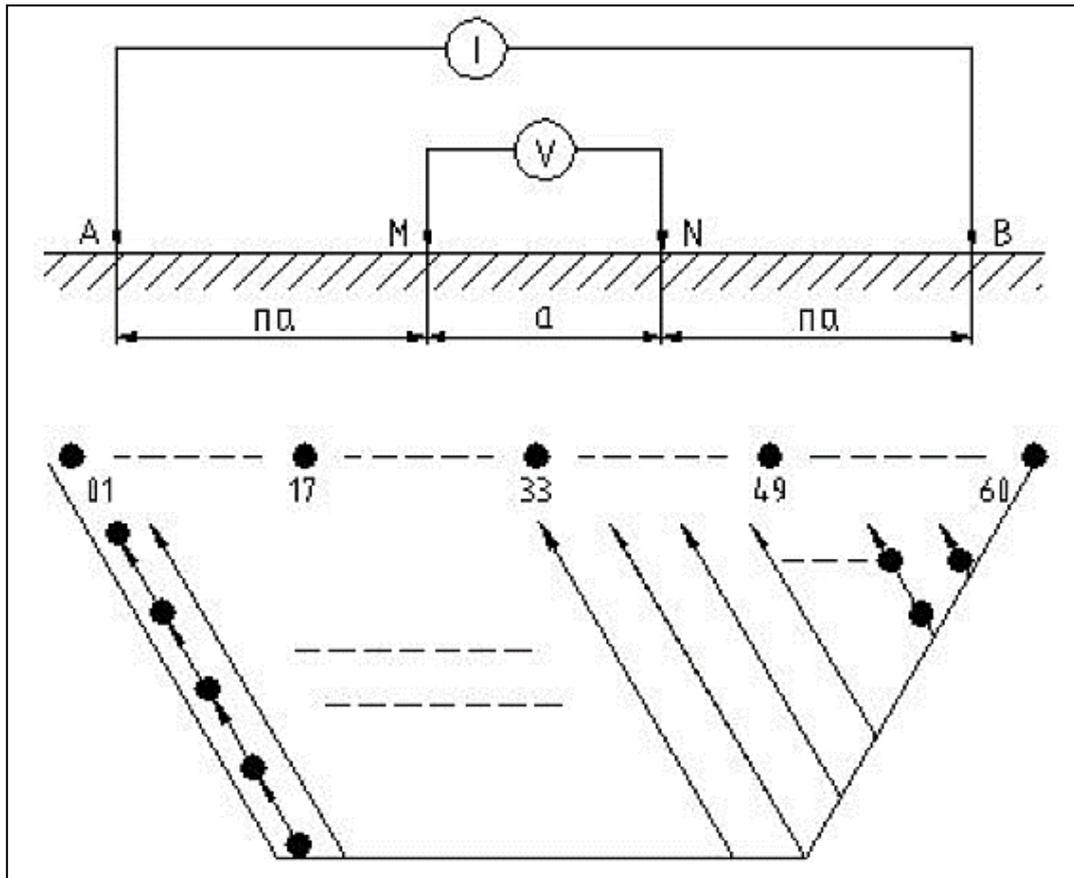
#### ✓ Método Wenner (Wnmode N=1)

La regla de electrodo (por 60 canales) es la siguiente: electrodos A, M, N y B (entre ellos, A & B son los enchufes de energía y M & N se medición de los pares de electrodos),  $Am = MN = NB$  es una separación entre electrodos unidad que aumenta con el intervalo de factor n cambiando desde el mínimo hasta el máximo.

Así mismo el espaciamiento del intervalo son 4 electrodos uniformemente, este conjunto es adecuado para la medida de la sección fija y sus características, el resultado es da la siguiente forma escalonada inversa como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Espaciamiento de electrodos, método Wenner (Wnm mode N=1)



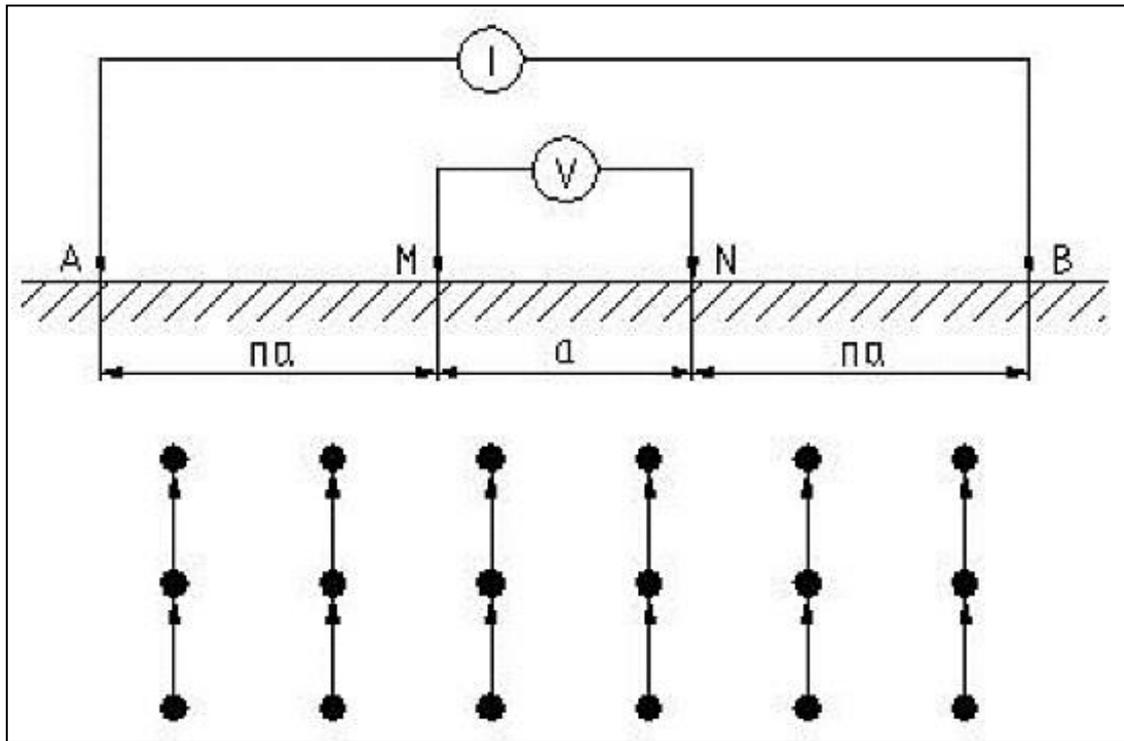
Fuente: (CMPLab, 2020)

### Método Schlumberger (Modo Sb1)

Los arrays se aplican a una medición de barrido de sección variable continua rodadura. Cuando se mide, electrodos M y N se fija, y el electrodo A se mueve punto por punto a la izquierda y B se mueve hacia la derecha, entonces se puede obtener una línea de enrollado; a continuación, así sucesivamente y en, una sección rectángula obtenido y sus electrodos organiza siguiendo este modo mostrado en la Figura 9.



Figura 9. Espaciamiento de electrodos, método Schlumberger (Modo Sb1)



Fuente: (CMPLab, 2020)

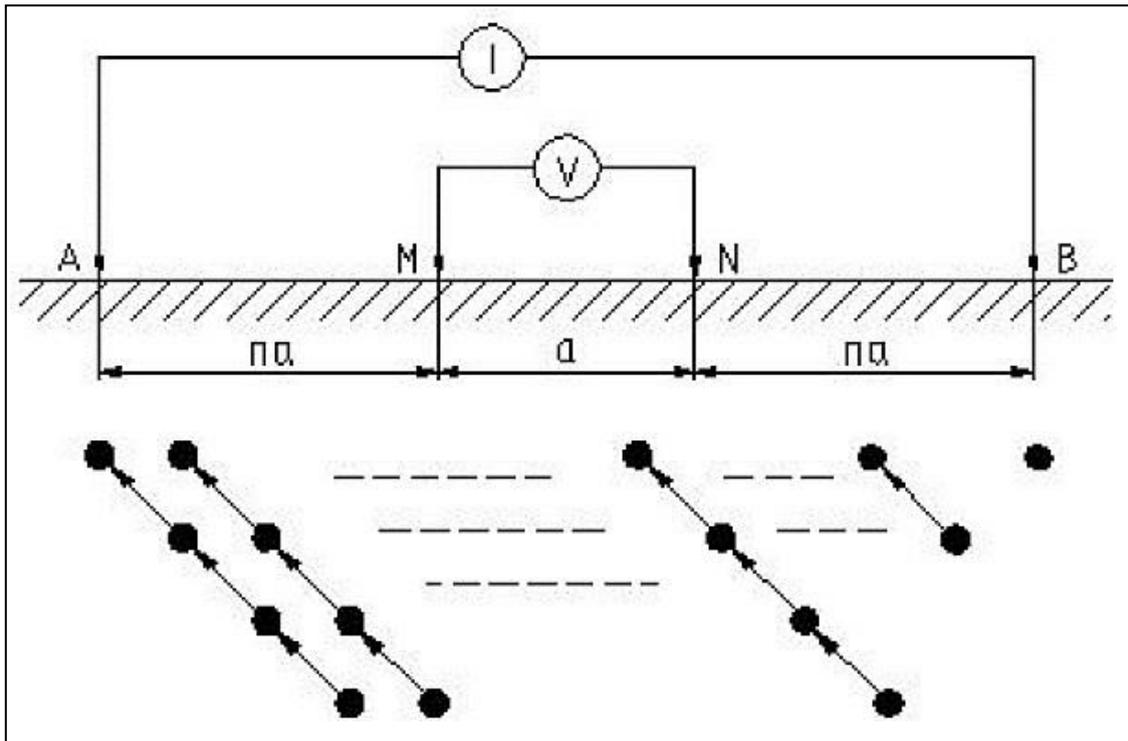
En SB2 espaciamento de AM y NB aumenta con los factores de intervalo de ampliación. El dato se estratifica al almacenar por el fin del factor de aumento de intervalo de modo que el resultado es un trapecio inverso.

#### Método Schlumberger Modo Sb2 ( $N \geq 1$ )

La medición es similar al conjunto al modo WN, pero la distancia de M y N se fija al moverlos Y espaciamento de AM y NB aumenta con los factores de intervalo de ampliación. El dato se estratifica a almacenar por el fin del factor de aumento de intervalo de modo que resultado es un trapecio inverso, tal como se ve en la Figura 10.



Figura 10. Espaciamiento de electrodos, método Schlumberger (Modo Sb2,  $N \geq 1$ )



Fuente: (CMPLab, 2020)

## 1.12. MARCO NORMATIVO O LEGAL

El uso de las fuentes termales esta legislado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo –MINCETUR, donde sólo se toman en consideración los usos balneológicos, turísticos y medicinales, siendo el marco legal el siguiente:

### **Decreto Supremo N° 015-2005-MINCETUR**

“Modificaciones al Reglamento de Aguas Minero-Medicinales”

### **Decreto Supremo N° 005-94-ITINCI**

“Reglamento de Aguas Minero-Medicinales”

### **Decreto Ley N° 25533**

“El otorgamiento de licencia para el uso de las fuentes de Aguas Minero-Medicinales y el control de su explotación con fines turísticos es de competencia MICTI (hoy MINCETUR)”



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Asimismo, un aspecto relacionado al uso de las fuentes termales que no ha sido tomado en cuenta es que las fuentes termales son consideradas como recursos geotermales, al ser éstas una manifestación del calor interno de la tierra, donde la exploración y usos de los recursos geotermales esta legislado por el siguiente marco legal, dado por el Ministerio de Energía y Minas.

### **Ley N° 26848**

“Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos”

### **Decreto Supremo N° 019-2010-EM**

“Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos” (Vargas, 2010)

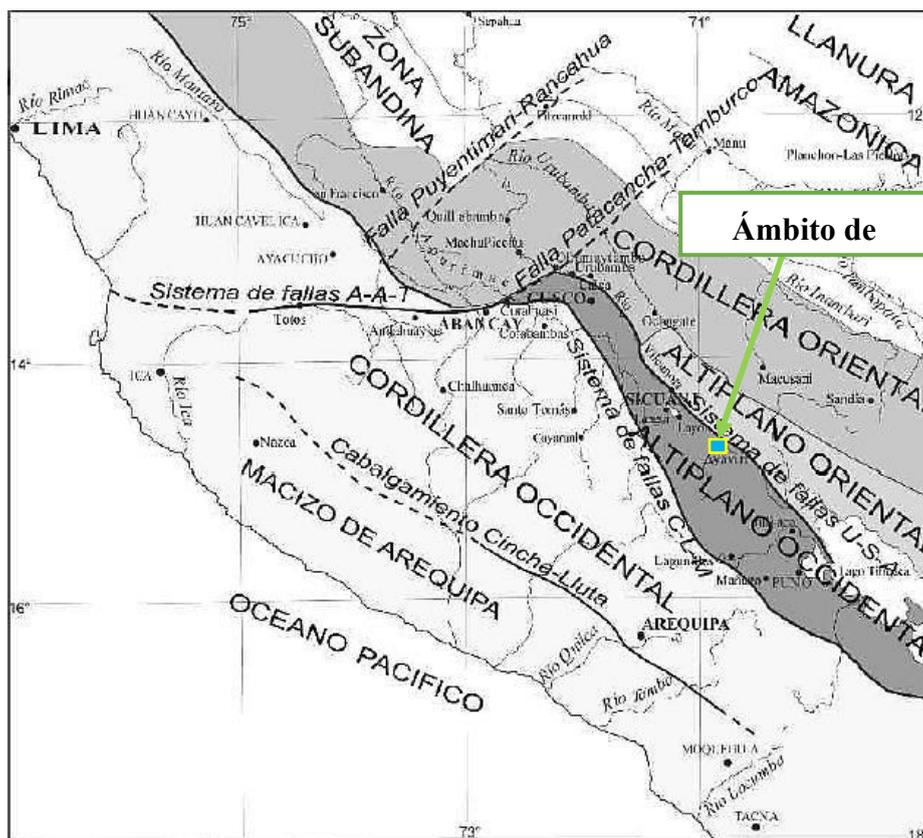


## CAPITULO II GEOMORFOLOGÍA

### 2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Se presentan tres unidades topográficas principales; de Oeste a Este: La Cordillera Occidental, el Altiplano y las estribaciones de la Cordillera Oriental. La Cordillera Occidental es una cadena de montañas de dirección NO-SE (ver Figura 11) con picos que pueden estar sobre los 6,000 m. (todas las altitudes dadas en el presente informe están referidas en metros sobre el nivel del mar), siendo la más alta, el Nevado Ampato (191782491) con 6,288 m. Las montañas están ligadas a una altiplanicie (entre los 4,500 y 5,000 m) conocida como Puna (Palacios, y otros, 1993).

Figura 11. Unidades morfoestructurales regionales



Fuente: (Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2009)



### 2.1.1. La Cordillera Occidental

Las laderas occidentales de la Cordillera Occidental están drenadas por ríos que fluyen al Océano Pacífico. El principal colector es el río Colca que toma el nombre de río Majes después de pasar el Cañón del Colca en el cuadrángulo de Chivay [...]. La parte suroeste esta drenada por tributarios de los ríos Vitor y Tambo. La divisoria del drenaje cordillerano pasa por el Nevado Mismi y después a Lagunillas y luego al cuadrángulo de Pichacane. Con la excepción de las aguas que drenan del Cerro Mismi que fluye hacia el río Apurímac y posteriormente por el río Amazonas al Océano Atlántico, los ríos de la parte Este de la divisoria, drenan a la cuenca del Lago **Titicaca** (Palacios, y otros, 1993, pág. 1).

Corresponde a la antigua cuenca occidental peruana que comenzó a individualizarse en el Jurásico inferior con el inicio del de arco volcánico Chocolate (190-170 Ma), y el relleno sedimentario con carbonatos, turbiditas y sílico-clásticos hasta el Cretácico inferior. Luego en el Cretácico superior la cuenca se invierte por que comienza a levantarse los dominios costeros, y predominado cada vez más de la sedimentación continental. Así, la tectónica del Cretácico superior produce el cabalgamiento Cincha-Lluta y Tapacocha-Conchao-Cocachacra que tienen vergencia al este. La deformación migra hacia el E y durante el Eoceno son los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo en el sur, Marañón en el norte, que cabalgan sobre el Altiplano Occidental (González & López, 2015, pág. 89).

### 2.1.2. Altiplano

El Altiplano es una planicie sin rasgos fisiográficos. Se ubica alrededor de los 4.900 m. con algunas colinas bajas al E. de Juliaca. El límite con la Cordillera Occidental es una escarpa que puede ser trazada desde Pucará (3532 83371). en el Norte a Zepita (4892 81766) en el Sur (Palacios, y otros, 1993, pág. 1).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



En el Altiplano los ríos son más largos y con muchos meandros. El principal es el río Coata que recolecta las aguas de los ríos Lampa (Paica), y Cabanillas. Otro es el río Ramis que colecta las aguas del río Azángaro y del río Pucará. El Lago Titicaca es conectado al Lago Arapa hacia el NO durante épocas de inundaciones. Al bajar el nivel del agua, esta conexión es un área de pantanos papyrous (totora) y lagunas pequeñas (Palacios, y otros, 1993, pág. 4).

### **2.1.1.1. Altiplano Oriental**

Corresponde a la cuenca Putina situada en el borde sur de la Cordillera Oriental, que presentan un substrato con rocas del Paleozoico inferior. Esta cuenca ha sido rellenada durante el mesoceno y muestra una tectónica de faja corrida y plegada convergencia suroeste desarrollada en el Cenozoico. El magmatismo permo-triásico y jurásico, así como los sistemas de fallas, indican la existencia de movimientos distensivos relacionados a sistemas de rifts en esas épocas [...]. Está limitada al oeste por el sistema de fallas NO-SE Urcos-Sicuani-Ayaviri y al este por el sistema de fallas de la Cordillera Real (González & López, 2015, p. 88 y 89).

### **2.1.1.2. Altiplano Occidental**

Se localiza entre el borde norte de la Cordillera Occidental y el Altiplano Oriental, corresponde al antiguo alto mesozoico Cusco-Puno, limitado por los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri (Carlotto et al., 2005; Carlotto, 2006) (González & López, 2015, p. 89).

### **2.1.3. Estribaciones de la Cordillera Oriental**

[...]. Ellas emergen abruptamente desde el Altiplano y forman escarpas y crestas de dirección NO-SE hasta una altura de 4,400 m., más al NE son comunes los picos redondeados con alturas hasta de 4,700 m (Palacios, y otros, 1993, pág. 1).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



En este dominio estructural afloran rocas metasedimentarias del Paleozoico inferior que corresponde a una cuenca distensiva en un contexto de trasarco, que evoluciona a régimen compresivo en un contexto de antepaís de retroarco (Jaillard 47 XV Congreso Peruano de Geología) (González & López, 2015, pág. 88).

### 2.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para ello **primeramente** se definió los pendientes existentes en el área estudio, sumado a ello la fisiografía y la litología finalmente conformen la geomorfología.

#### 2.2.1. Pendientes

Para clasificar los pendientes, se ha considerado los rangos que establece el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, el cual se muestra en la Tabla 5.

*Tabla 5. Clasificación de pendientes*

<b>Término descriptivo</b>	<b>Rango (%)</b>
Plano o casi a nivel	0 - 2
Ligeramente inclinada	2 - 4
Moderadamente inclinada	4 - 8
Fuertemente inclinada	8 -15
Moderadamente empinada	15 - 25
Empinada	25 - 50
Muy empinada	50 - 75
Extremadamente empinada	>75

*Fuente: (ONERN, 2009)*

Según ello, los pendientes del terreno del área de estudio se han categorizado en 6 clases, como se muestra en la Tabla 6, y la MAPA N° 03: PENDIENTES.



*Tabla 6. Pendientes del área de estudio*

<b>Rango</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 2	Allanado	10.044	4.249
2 a 4	Ligeramente Inclinado	104.054	44.019
4 a 8	Moderadamente Inclinado	76.137	32.209
8 a 15	Fuertemente Inclinado	17.022	7.201
15 a 25	Moderadamente Empinado	21.08	8.918
25 - 40	Empinado	8.045	3.403
<b>Total</b>		<b>236.382</b>	<b>100</b>

*Fuente: elaboración propia*

Las pendientes que se tiene alrededor del Balneario Pojpoquilla, está dominado por los terrenos de suave elevación (moderadamente inclinada). Pues la ciudad de Ayaviri (donde queda el balneario) está asentado sobre los llanos aluviales.

### **2.2.2. Geomorfología local**

La geomorfología del área de estudio está definida por 4 unidades (ver MAPA N° 04: GEOMORFOLOGIA LOCAL) bien distinguibles, cuyo cuadro resumen se muestra en la Tabla 7. A continuación, se desarrollan cada una de ellas.

*Tabla 7. Geomorfología del área de estudio*

<b>Unidad Geomorfológica</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Area (%)</b>
Montaña baja Moderadamente Empinada en roca sedimentaria	MbME-rs	28.672	11.990
Vertiente de Montaña baja Fuertemente Inclineda coluvio-deluvial	VMbFI-cd	4.355	1.821
Terraza aluvial con meandros abandonados	Tal-ma	65.416	27.355
Vertiente o piemonte aluvial	V-al	140.697	58.835
<b>Total</b>		<b>239.14</b>	<b>100</b>

*Fuente: elaboración propia*

#### **2.2.2.1. Montaña baja Moderadamente Empinada en roca sedimentaria (MbME-rs)**

En el área de estudio, la unidad geomorfológica clasificada como montana baja, está representado por el afloramiento de las areniscas rojas y grauvacas de la Formación Tinajani. Cuya elevación sobrepasa los 100 m, sobre el nivel del piso aluvial, con se



aprecia en la Figura 12.

Figura 12. Vista de la montaña baja Tinajani



*Fuente: elaboración propia*

#### **2.2.2.2. Vertiente de Montaña baja Fuertemente Inclinada coluvio-deluvial (VMbFI-cd)**

Esta vertiente de montaña baja ubicado en uno de los flancos del Cerro Pincorio (ver Figura 13), se caracteriza por el pendiente fuertemente inclinado a moderadamente empinado.



# “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N°03: PENDIENTES

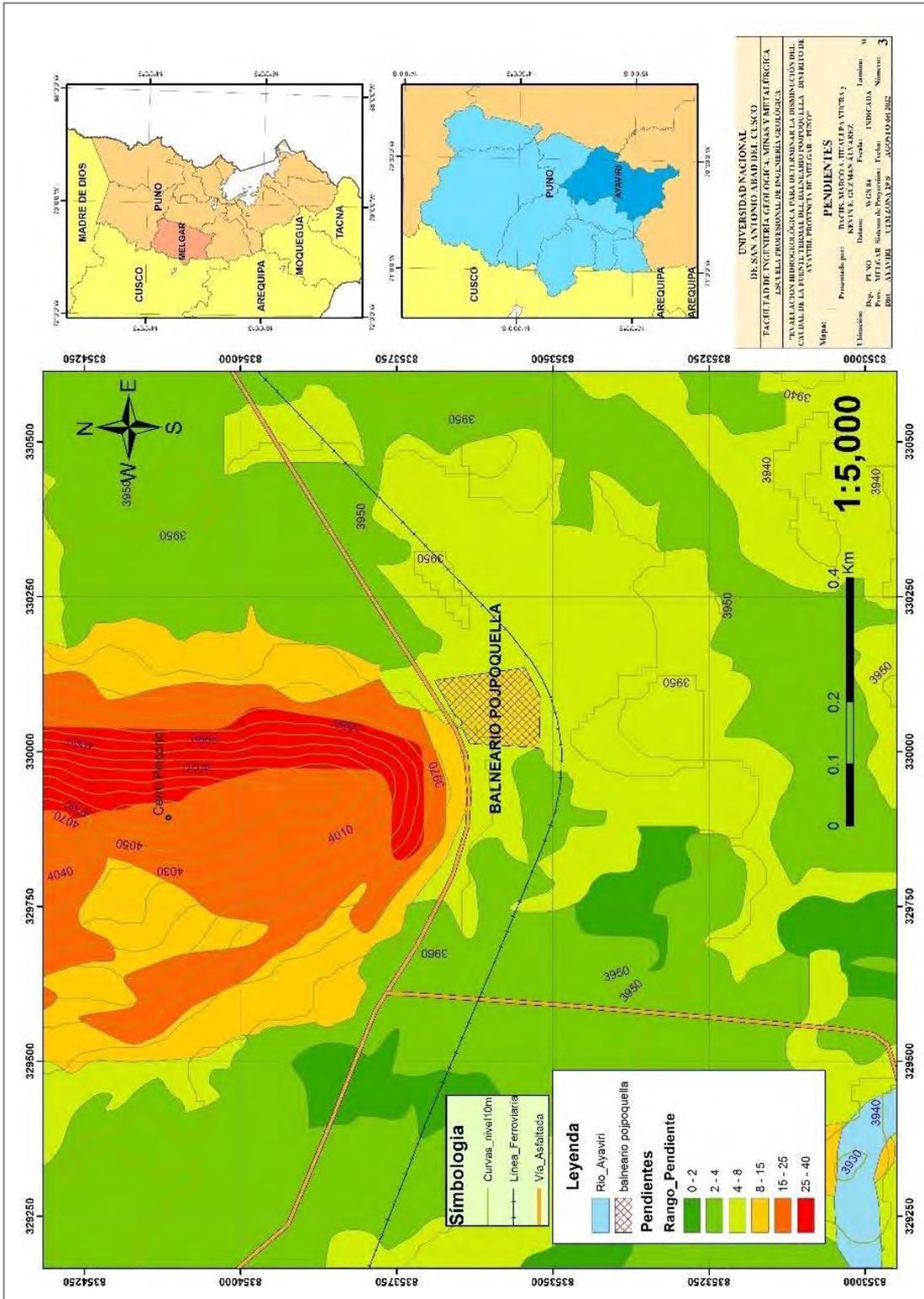




Figura 13. Vista de la vertiente de montaña Tinajani



Fuente: elaboración propia

### 2.2.2.3. Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Son los llanos que abarcan gran parte del área del poblado de Ayaviri (ver Figura 14); y están conformados por depósitos de aluviales.

Figura 14. Vista de piedemonte y terraza aluvial



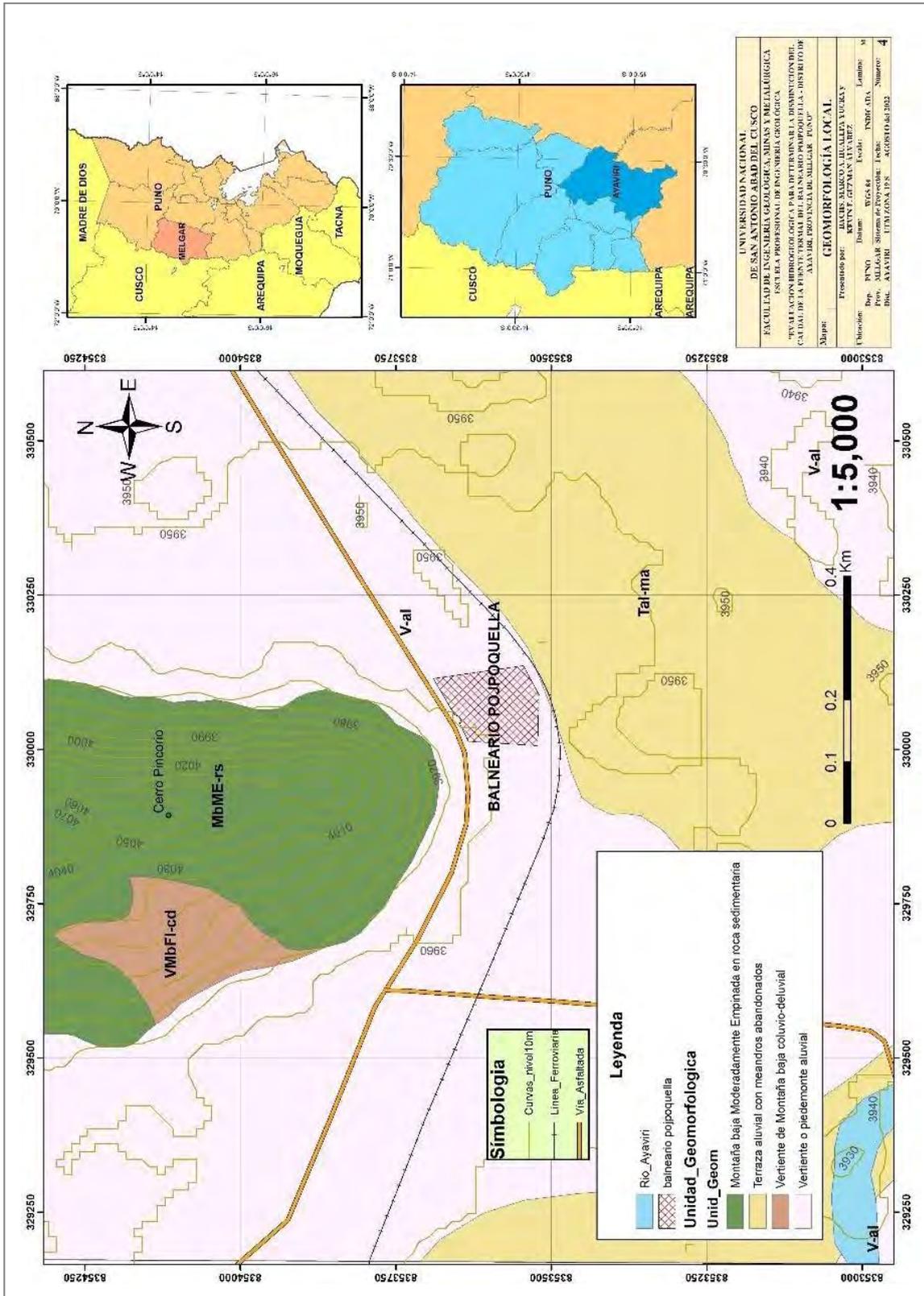
Fuente: elaboración propia



“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



**MAPA N°04: GEOMORFOLOGÍA LOCAL**





## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



### **2.2.2.4. Terraza aluvial con meandros abandonados (Tal-ma)**

Las terrazas aluviales meandriformes, conformado por los depósitos aluviales; son ligeras elevaciones de terreno (ver Figura 12), que quedaron como evidencia de antiguos corrientes que pasaron por la zona.



## CAPITULO III GEOLOGÍA

### 3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La litoestratigrafía regional está conformada por unidades geológicas que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico de la hoja 30-u (cuadrángulo de Ayaviri) (ver MAPA N°05: GEOLOGÍA REGIONAL). Cuya columna estratigráfica se aprecia en la Figura 15.

#### 3.1.1. Paleozoico

##### 3.1.1.1. Formación Calapuja (O-ca)

[...] está compuesta por arenisca gris oscura de grano medio en capas de 0,30 m intercaladas con limolitas y areniscas cuarzosas. Hacia el tope consta de areniscas cuarzosas y venillas de sílice. En la zona de estudio, la secuencia de límite inferior no se observa, encontrándose los afloramientos en contacto fallado contra el Grupo Puno [...] (Cerrón & Chacaltana, 2003, pág. 3). Como se observa en el corte geológico (Figura 16)

##### 3.1.1.2. Formación Muni (JsKi-mu)

Litológicamente está constituido por areniscas de grano fino de color blanquecino con laminaciones y areniscas de grano medio con cemento calcáreo rojizo en capas gruesas con laminación interna paralela, limolitas y limoarcillitas rojizas en capas medias, así como niveles de caliza beige claro en estratos delgados de hasta 10 cm. Hacia la parte central de los afloramientos predominan secuencias pelíticas con niveles de evaporitas intruidos por cuerpos de domos salinos según se observa a lo largo del río Challacunca en inmediaciones de la hacienda del mismo nombre. A lo largo del río Ayaviri al SE de la ciudad, se observan afloramientos aislados de limoarcillitas y limolitas rojizas con capas de yeso (Cerrón & Chacaltana, 2003, pág. 6).



# “ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 15. Estratigráfica del cuadrángulo de Ayaviri

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Grosor (m)	Litología	Descripción	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Dep. fluvial			Depósitos de gravas y rodados en una matriz arenosa y limoarcillas lenticulares.	
			Dep. fluvioaluvial			Depósitos de gravas polimícticas en una matriz arenosa sin estratificación.	
			Dep. glaciafluvial			Depósitos removilizados de mornas por acción fluvial de gravas poco consolidadas en matriz areno-limosa y lentes de conglomerados y areniscas.	
		Pleistocena	Dep. deluvial			Depósitos inconsolidados de gravas polimícticas al pie de laderas en matriz areno-limosa estratificada y capas lenticulares de limo.	
			Dep. coluvial			Depósitos inconsolidados de clastos subangulosos heterométricos dispersos en un conjunto polimíctico con poca matriz areno-limosa.	
			Dep. mornas			Compuestas de till sin estratificación, brechas polimícticas en matriz arenosa.	
	NEÓGENO	Pliocena	Fm. Azángaro	50		Conglomerados lenticulares intercalados con areniscas de grano grueso friable con laminación paralela y arcillas en capas medias color amarillento.	
			Fm. Yauri	30		Areniscas tolosas blanquecinas y tobas redepósitas, limolitas claras, limoarcillas en estratos delgados y capas delgadas de calizas.	
			Fm. Paica	200		Flujos proclásticos de textura cristaloclástica de color blanco.	
	PALEÓGENO	Miocena	Fm. Tinajani	200		Conglomerados y areniscas feldespáticas con niveles microconglomeráticos, limolitas y limoarcillas. Se distingue una unidad de flujo proclástico.	
			Gpo. Tacaza	300		Lavas de composición traquibasáltica de textura afanítica.	
		Oligocena				Brechas volcánicas de flujo de textura traquítica en matriz proclástica.	
			Eocena				Conglomerados estrato orientes en estratos masivos intercalados con areniscas feldespáticas de grano grueso así como arcillas y limoarcillas en capas medias y niveles calcáreos.
Paleocena					Conglomerados estrato de orientes en capas masivas y microconglomerados intercalados con areniscas feldespáticas en capas medias y niveles delgados de calizas.		
			Gpo. Puno	5000		Conglomerados estrato orientes gruesos en estratos masivos intercalados con niveles de areniscas feldespáticas en capas medias y niveles delgados de areniscas cuarzosas y arcillas rojas.	
					Areniscas feldespáticas de grano medio a grueso y microconglomerado polimíctico en estratos gruesos. Se alternan niveles de areniscas arcóscas y niveles delgados de limoarcillas.		
			Fm. Muñani	500		Areniscas feldespáticas en capas medias a gruesas, areniscas arcóscas y algunos niveles de limoarcillas en capas delgadas.	
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Fm. Auzangate	200		Limoarcillas en capas delgadas y laminares, y lodolitas masivas ejas.	
						Areniscas blancas de grano fino a medio con laminación interna y paralela con presencia de ondulitas de oscilación intercaladas con niveles delgados de limolitas y limoarcillas claras.	
			Fm. Viquechico	2000		Limoarcillas carbonosas, frías en capas delgadas intercaladas con limoarcillas arcóscas en capas delgadas. Ocasionalmente niveles delgados de calizas y areniscas negras en capas delgadas.	
		Inferior				Limoarcillas y lodolitas rojas en capas delgadas a finamente laminares.	
			Gpo. Moho				Calizas masivas grises y marnes intercaladas con limoarcillas rojas.
			Fm. Huancané	100			Areniscas arcóscas de grano medio a fino, areniscas finas en capas y delgados niveles de limoarcillas rojas.
		Fm. Muni	500		Areniscas cuarzosas de grano medio a grueso en capas medias a gruesas con estratificación lesgada. Se intercala ocasionalmente con limoarcillas.		
					Areniscas de grano fino laminares blanquecinas y areniscas de grano medio con cemento calcáreo, de color rojo en capas gruesas con laminación interna paralela, limolitas y limoarcillas en capas medias y calizas en estratos delgados. Niveles de evaporitas y limolitas rojas con capas de yeso.		
PALEOZOICA	PÉRMICO		Gpo. Mtu	1500		Volcanitas andesíticas y ríolitas de flujos masivos con textura porfirítica color marón bronceado a rojo y niveles morados con lentes de plagioclasas.	
						Areniscas feldespáticas de grano grueso y limolitas rojas.	
	DEVÓNICO					Limoarcillas frías oscuras intercaladas con limolitas en capas delgadas con presencia de fósiles invertebrados.	
						Limoarcillas oscuras y frías con estructuras como en zono y predominio de venillas de oxidaciones en estructuras stock work.	
	SILÚRICO					Limoarcillas oscuras, frías y areniscas de grano grueso con abundante mica en estratos gruesos.	
						Limoarcillas grises en capas medias, areniscas finamente laminadas y deformadas y niveles diaclíticos.	
ORDOVÍCIO					Arenisca gris oscura de grano medio intercalada con limolitas y areniscas cuarzosas. Hacia el tope areniscas cuarzosas y venillas de sílice.		
					Limoarcillas laminares con graptolitos, lodolitas oscuras y areniscas micáceas.		

Fuente: (Cerrón & Chacaltana, 2003)

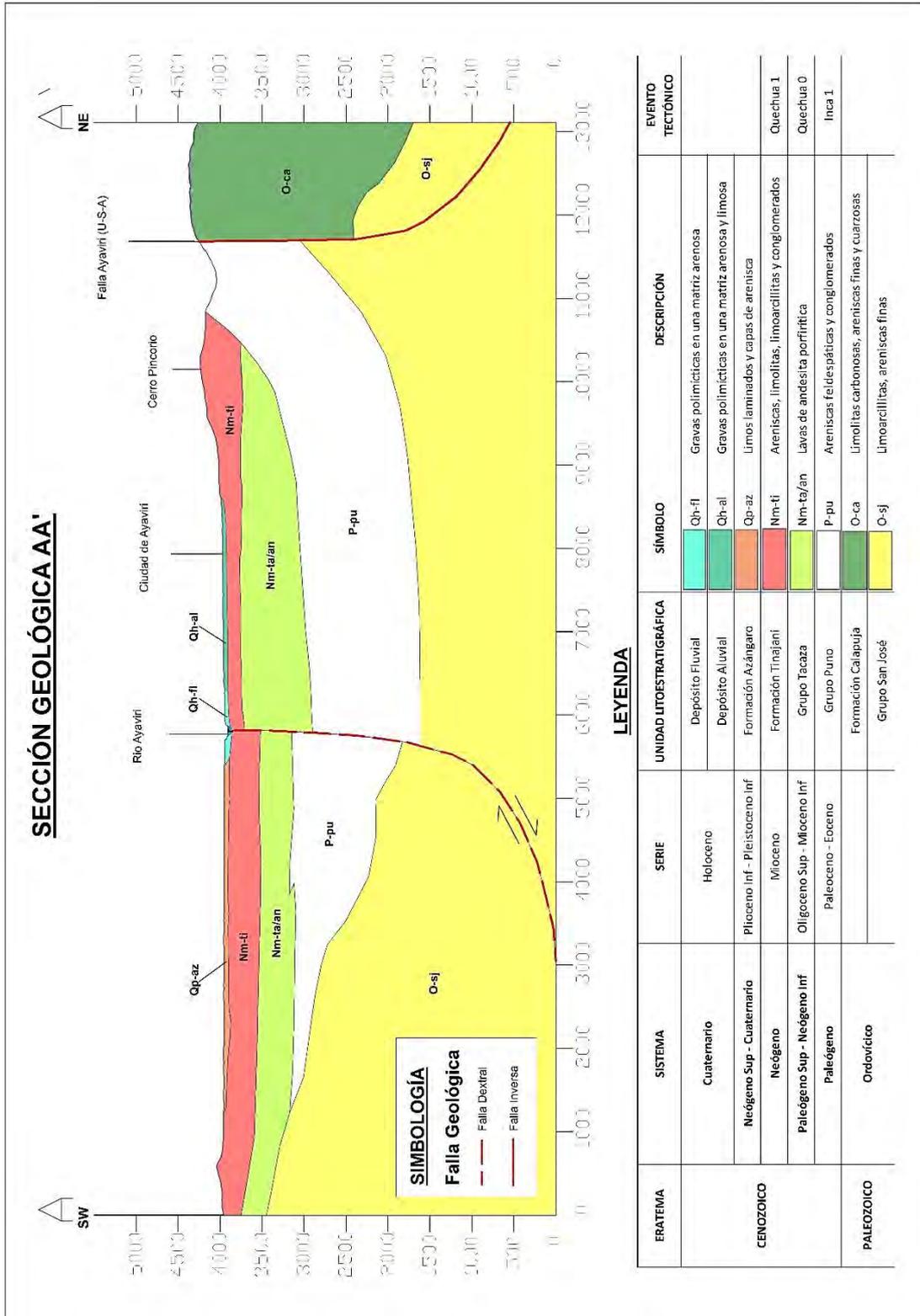




“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 16. Sección geológica regional



Fuente: elaboración propia en base a geología GEOCATMIN 1:50,000



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



El grosor de esta unidad es variable y se estima en 400 m, aproximadamente. La secuencia de límite inferior está en contacto discordante con las secuencias paleozoicas e infrayace concordante con las areniscas de la Formación Huancané (Cerrón & Chacaltana, 2003, pág. 6).

### **3.1.3. Cenozoico**

#### **3.1.3.1. Grupo Puno (P-pu)**

El Grupo Puno está compuesto por una serie detrítica de conglomerados y areniscas de origen continental y el grosor se estima cercano a los 5,000 m. Esta unidad aflora en dos sectores de diferente desarrollo. Al NO de la ciudad de Ayaviri los afloramientos se encuentran en contacto fallado con unidades Paleozoicas y a lo largo de éstas es indivisa y está compuesta por areniscas feldespáticas en capas gruesas de hasta 1,5 m de grosor, niveles de conglomerados con clastos redondeados de cuarzo y volcánicos en capas masivas así como limoarcillitas en estratos delgadas de color rojizo y verdes. En su parte media se tiene un conspicuo nivel tobáceo (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 8).

#### **3.1.3.2. Grupo Tacaza**

Según (2003) el Grupo Tacaza ha sido dividida en dos unidades bien distinguibles.

Una unidad Brechada, que “aflora al SO del cuadrángulo, en las cercanías de la hacienda Huacare. Está constituida por brechas volcánicas de flujo gris oscuras, afaníticas a faneríticas, de textura traquítica, con clastos heterométricos y menores de 10 cm, subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz piroclástica. Hacia la parte superior las capas se presentan masivas. Esta unidad suprayace discordantemente al Grupo Puno y a las calizas de la Formación Ayavacas” (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 9).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Otra unidad de Flujos Lávicos que “aflora al sur del cuadrángulo en los cerros Llallahua y en las nacientes del río Patuapinayto donde se encuentra en contacto fallado con la Formación Tinajani, los derrames lávicos se presentan de manera masiva. Las lavas son de composición traquibasaltos de textura afanítica y con fenos de grano fino” [...] (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 9). También se observan afloramientos al norte de la ciudad de Ayaviri en franjas alargadas de dirección SE-NO sobreyaciendo en discordancia al Grupo Puno e infrayaciendo a la Formación Tinajani en discordancia angular donde se aprecian los diferentes flujos lávicos. Petrográficamente esta unidad está constituida por una secuencia de lavas coherentes gris oscuras de composición andesítica basáltica porfirítica con fenocristales de hornblenda, biotita subhedral y sanidina (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 9).

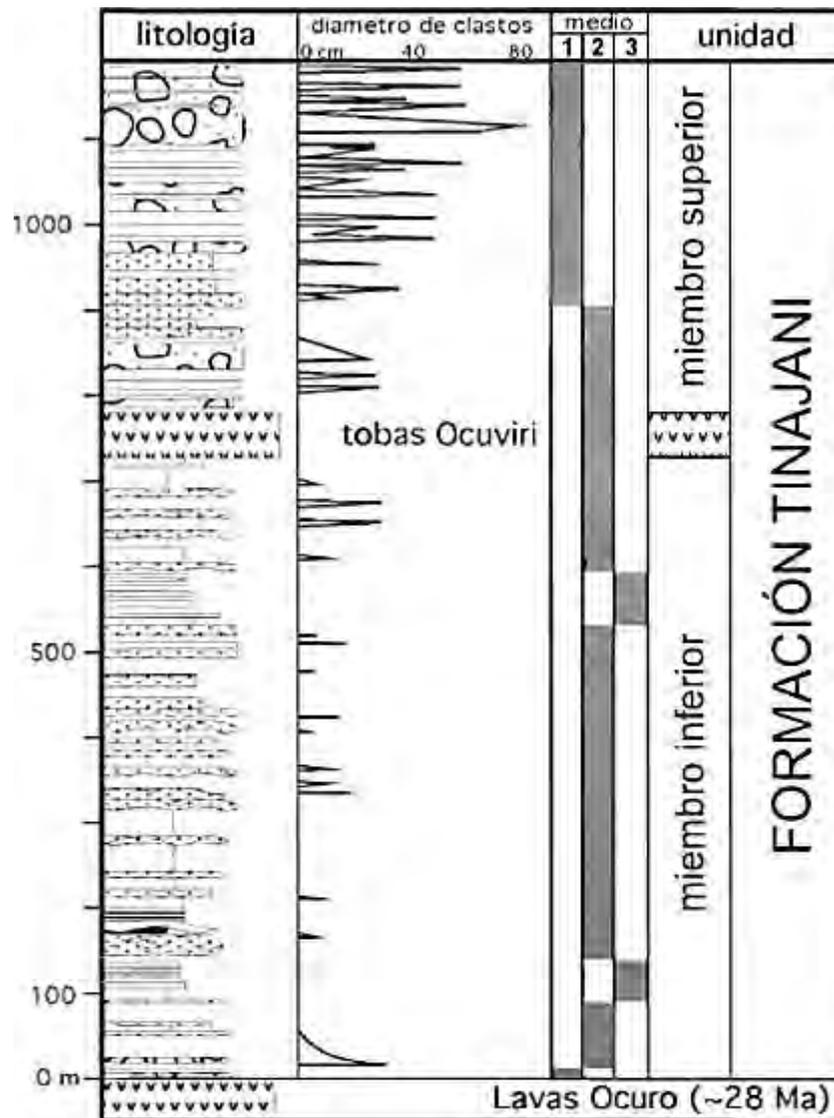
El grosor de esta unidad es variable al norte de Ayaviri con un promedio de aproximadamente 100 m. Los afloramientos que se encuentran al sur del cuadrángulo se estima en más de 500 m de grosor (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 9).

### **3.1.3.3. Formación Tinajani (Nm-ti)**

En esta formación se han diferenciado dos unidades, una detrítica y otra piroclástica, separados por evento volcánico “Tobas Ocuvi”, tal como se observa en la columna estratigráfica (Figura 17).



Figura 17. Columna estratigráfica de la Formación Tinajani



Fuente: (Rodríguez, y otros, 2004)

**Unidad Detrítica (Nm-ti/se):** Compuesta por conglomerados en capas masivas de clastos polimícticos, subredondeados heterométricos, pudiendo llegar hasta 30 cm de eje mayor, areniscas feldespáticas de grano grueso con presencia de canales rellenos de conglomerados y algunos niveles microconglomerádicos. Hacia la parte superior la secuencia está conformada por una intercalación de areniscas feldespáticas en capas gruesas y limoarcillitas y arcillitas en capas delgadas. Todo este conjunto se caracteriza por su color rojo ocre. Se calcula un grosor de 200 m en promedio (Cerrón & Chacaltana,



2003, p. 10).

**Unidad Tobácea (Nm-ti/tb):** Es una unidad de un flujo piroclástico diferenciada en la secuencia detrítica, caracterizada por su petrografía tobácea que marcan una fase de vulcanismo explosivo. Petrográficamente, la toba es de composición riolítica de color blanco rosácea de naturaleza lapillítica y litoclástica rica en cristales de biotita y pómez, abundante lítico volcánico heterométricos en una matriz de ceniza (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 10).

#### **3.1.3.4. Formación Yauri (Np-ya)**

Se observan afloramientos aislados al norte de Ayaviri conformando cerros bajos redondeados. Esta unidad está constituida por una intercalación de areniscas tobáceas blanquecinas en capas delgadas con niveles de tobas redepositadas, limoarcillitas, limolitas claras a cremas en estratos delgados y calizas blanquecinas a beige en capas delgadas de algunos centímetros. Se encuentra suprayaciendo a la Formación Tinajani (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 10).

#### **3.1.3.5. Formación Azángaro (NQ-az)**

Sus afloramientos se presentan a lo largo del río Santa Rosa conformando morfológicamente antiguas terrazas de pocos metros de grosor (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 10).

La secuencia está compuesta por una intercalación de lentejas de conglomerados, areniscas de grano grueso friable y en algunos sectores se presenta con laminación paralela y limoarcillitas y arcillitas en capas medias de color amarillento (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 10).

#### **3.1.3.6. Depósitos Cuaternarios**

##### **Depósito Coluvial (Qh-co)**



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Estos depósitos se encuentran al pie de las laderas formando depósitos inconsolidados de clastos subangulosos heterométricos dispersos en conjunto polimíctico con poco o nada de matriz arenolimososa (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 11).

### **Depósito Glaciofluvial (Qh- glf)**

Son depósitos removilizados de morrenas por acción fluvial que se encuentran rellenando las altiplanicies y están conformados por gravas subredondeadas poco consolidadas en una matriz arenolimososa, lentejas de conglomerados, areniscas y arcillitas (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 11).

### **Depósito Fluvioaluvial (Qh-fa)**

Son depósitos que rellenan los fondos de los valles y algunas planicies de piedemonte con inclinación al valle principal. Conforman un depósito de gravas polimícticas en una matriz arenosa sin estratificación (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 11).

### **Depósito Fluvial (Qh-fl)**

Son depósitos restringidos a los lechos de los ríos y están constituidos de grava y rodados en una matriz arenosa con presencia de limoarcillitas lenticulares (Cerrón & Chacaltana, 2003, p. 11).

## **3.2. GEOLOGÍA LOCAL**

La geología local del ámbito está compuesta por rocas sedimentarias, volcánicas y cuaternarias. Los cuales son: Grupo Puno, Grupo Tacaza, Formación Tinajani, y los Depósitos Cuaternarios (aluviales y fluviales), como se en la Tabla 8 y la MAPA N°06: GEOLOGÍA LOCAL y su corte geológica en la Figura 22.



*Tabla 8. Extensión de las unidades geológicas locales*

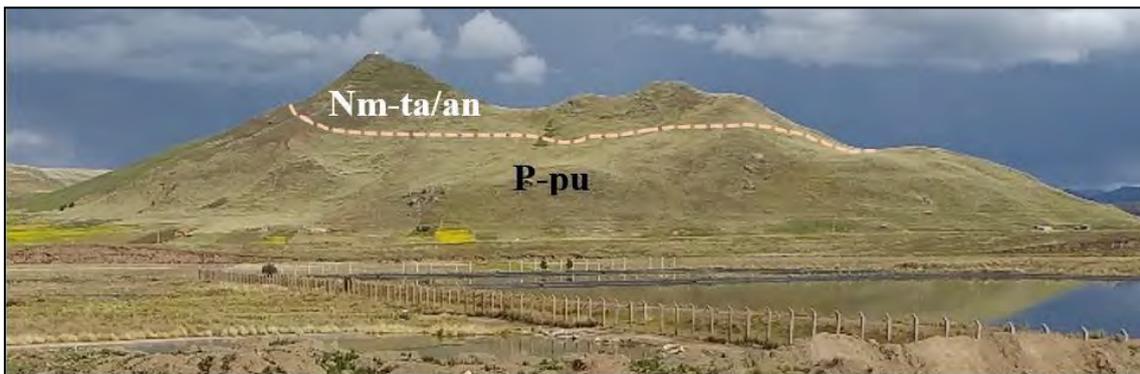
Unidad	Símbolo	Área (ha)	Área (%)
Formación Tinajani	Nm-ti	34.212	13.478
Formación Yauri	Np-ya	13.462	5.303
Depósitos aluviales	Qh-al	189.053	74.478
Depósitos fluviales	Qh-fl	17.11	6.741
Total		253.837	100

*Fuente: elaboración propia*

### 3.2.1. Grupo Puno (P-pu)

Esta serie detrítica de areniscas feldespáticas y conglomerados aflora en dirección NO – SE de la ciudad de Ayaviri. En la Figura 18 se observa el afloramiento de esta serie hacia el SE del poblado, donde infrayace en discordancia a la secuencia de brechas volcánicas traquíticas del Grupo Tacaza.

*Figura 18. Afloramiento de la serie detrítica del Grupo Puno*

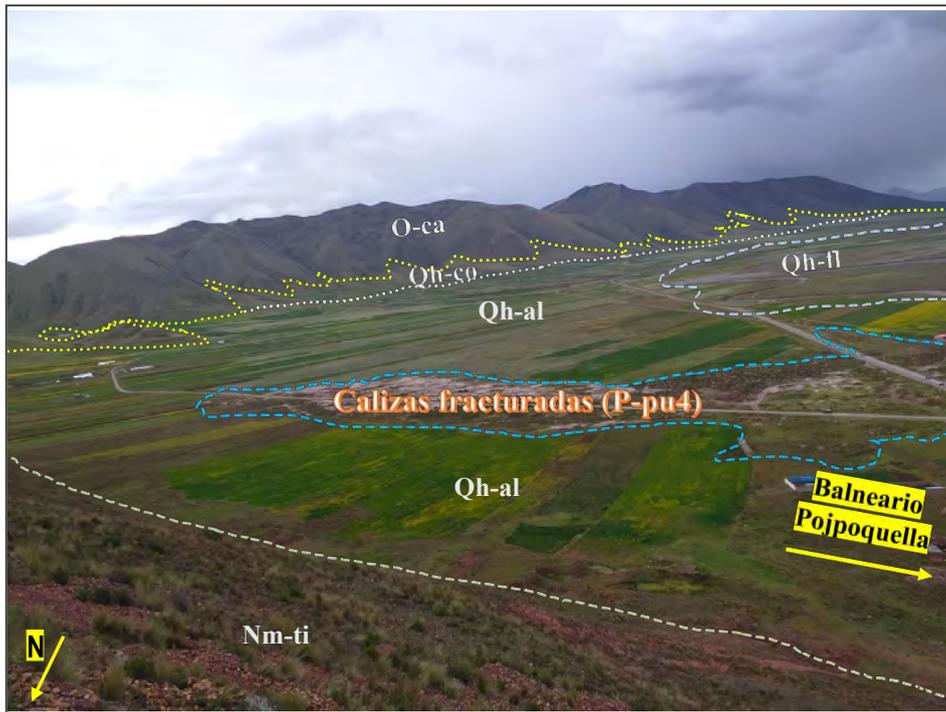


*Fuente: elaboración propia*

Hacia el este y sureste de la ciudad de Ayaviri, principalmente hacia el NE del Balneario Pojpoquilla, en el valle aluvial, se observan afloramientos dispersos en estratos delgados de calizas (Figura 19) de coloración blanquecinas a beige intercaladas con secuencias de areniscas tobáceas (1 m de potencia) y limoarcillitas, como se observa en la Figura 20; los cuales pertenecen al Miembro 4 del Grupo Puno.



Figura 19. Afloramiento de secuencia calcárea del Miembro IV del Grupo Puno



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Intercalación de niveles detríticos y calcáreas del Grupo Puno



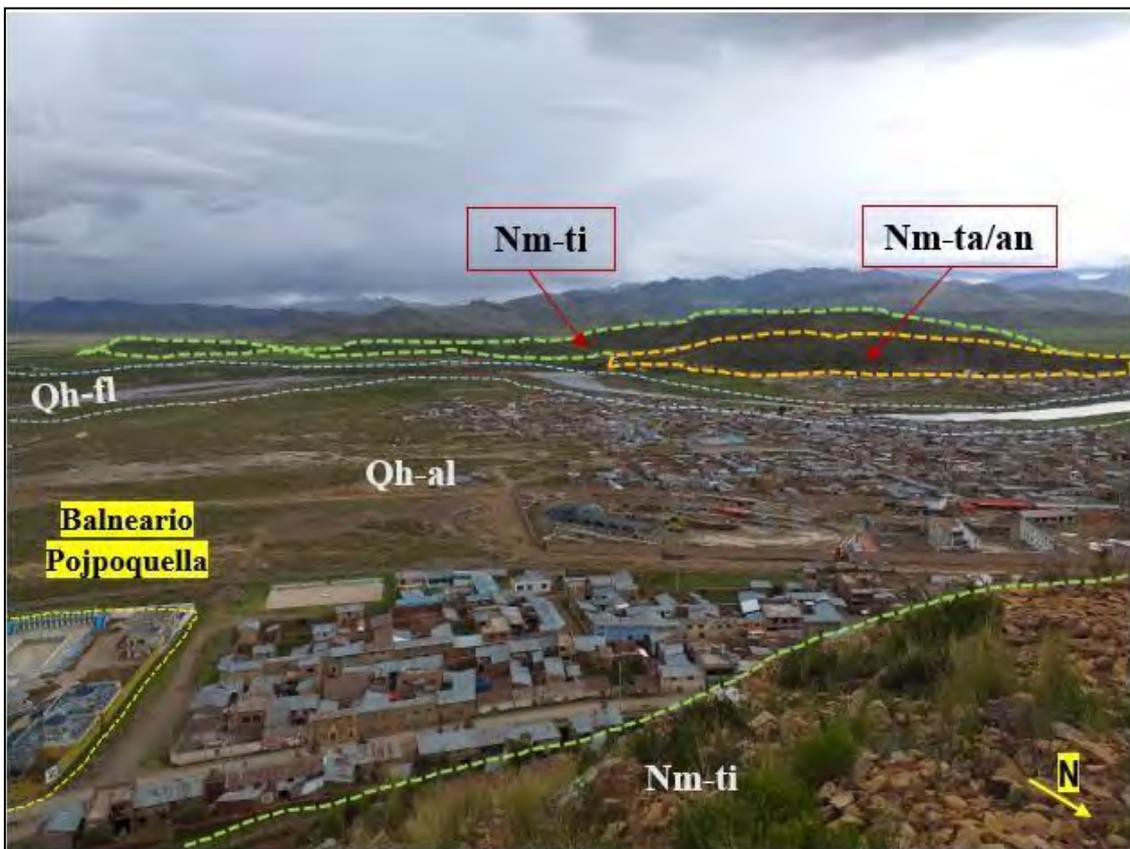
Fuente: elaboración propia



### 3.2.2. Grupo Tacaza (Nm-ta/an)

En la zona del poblado de Ayaviri se tiene afloramientos de las dos series volcánicas del grupo Tacaza. Uno está hacia el SE del Balneario Pojpoquilla, donde la serie de brechas volcánicas de composición basáltica sobreyace discordantemente al Grupo Puno (ver Figura 22). Y la otra serie de flujos lávicos, de composición traquibasáltica, aflora hacia el SO del Balneario Pojpoquilla, donde infrayace discordantemente a serie detrítica de la Formación Tinajani (ver Figura 23).

Figura 21. Afloramiento de flujos lávicos del Grupo Tacaza



Fuente: elaboración propia

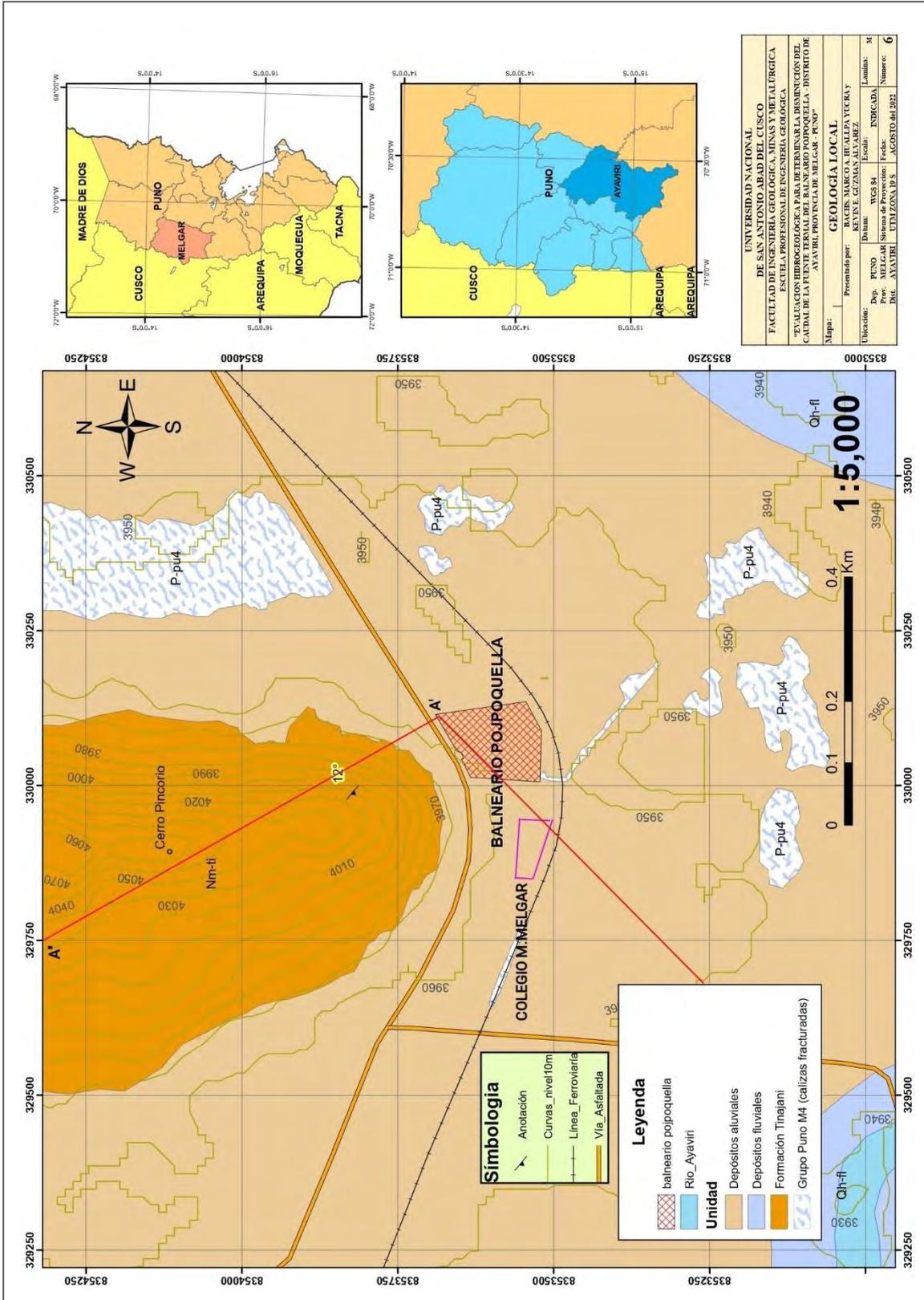
Esta unidad geológica está compuesta por lavas de composición andesítica basáltica porfirítica de color gris oscura (ver Figura 18).



# “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N°06: GEOLOGIA LOCAL

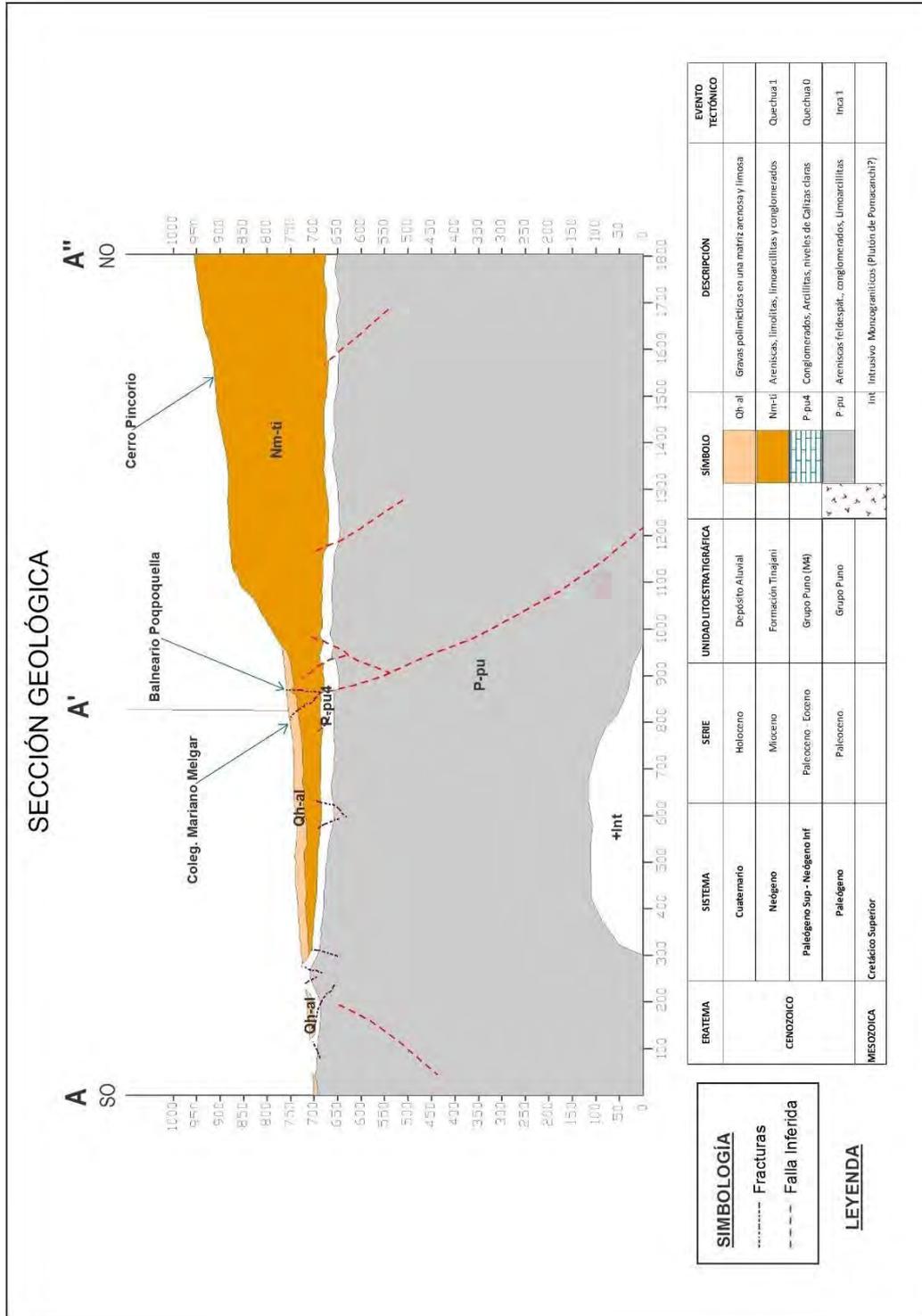




“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 22. Sección geológica local



Fuente: elaboración propia



La potencia de estas coladas (según el boletín de la hoja 30-u) se estima en más de 500 m.

*Figura 23. Coladas andesítica-basálticas del Grupo Tacaza*



*Fuente: elaboración propia*

### **3.2.3. Formación Tinajani (Nm-ti)**

Esta formación está compuesta por dos secuencias bien diferenciables, una detrítica y otra piroclástica. En el ámbito de estudio solo se aprecia claramente la primera secuencia, la detrítica (ver Figura 24); y la segunda secuencia está mas abajo.

En la Figura 25 se puede apreciar esta secuencia detrítica, que está compuesta por una intercalación de secuencia de areniscas feldespática de grano grueso, canales rellenos por microconglomerados y estratos delgados de limoarcillitas, que le dan ese aspecto de formación rojiza. La potencia de esta serie (según el boletín de la hoja 30-u) se estima en un promedio de 200 m.



Figura 24. Afloramiento de la serie detrítica de la Formación Tinajani



Fuente: elaboración propia

Figura 25. Intercalación de la serie detrítica de la Formación Tinajani



Fuente: elaboración propia



### 3.2.4. Depósitos Cuaternarios

En el ámbito de estudio se aprecian básicamente dos tipos de depósitos cuaternarios; los aluviales y fluviales.

#### 3.2.4.1. Depósitos Aluviales (Qh-al)

Estos depósitos se hallan rellenando las planicies de piedemonte aluvial. Está conformado por acumulación de depósito de gravas inmersas en una matriz arenosa de valle.

En la Figura 26, tomada desde la montaña baja o Cerro Pincorio, se aprecia los depósitos coluviales que cubren gran extensión del suelo ayavireño.

*Figura 26. Depósitos de suelos aluviales y fluviales*



*Fuente: elaboración propia*

#### 3.2.4.2. Depósitos Fluviales (Qh-fl)

Estos depósitos se restringen solamente al lecho del río Ayaviri (incluyendo los meandros abandonados), como se ve en las Figuras 21 y 26. Los



cuales están compuestos por gravas y material rodado, inmersos en una matriz arenosa.

### **3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

#### **3.3.1. Geología estructural regional**

Las estructuras que atraviesas y/o afectan las unidades geológicas regionales, como los sistemas de fallamientos. El principal de ellos es el Sistema de Fallas Urcos – Sicuani – Ayaviri (ver Figura 27).

##### **3.3.1.1. Sistema de Falla Urcos-Sicuani-Ayaviri (U-S-A)**

Según Carlotto et al. (1998) son fallas regionales que separan el Alto Estructural Cusco - Puno de la cuenca Oriental. También nos dice que “las deformaciones andinas en relación a las fallas del sistema Urcos-Sicuani-Ayaviri (U-S-A) que jugaron como rumbo dextral en el Eoceno inferior y sinestrales durante varios periodos del Oligoceno-Mioceno de dirección NO – SE” (Carlotto, Cárdenas, & Carlier, 2011, pág. 94).

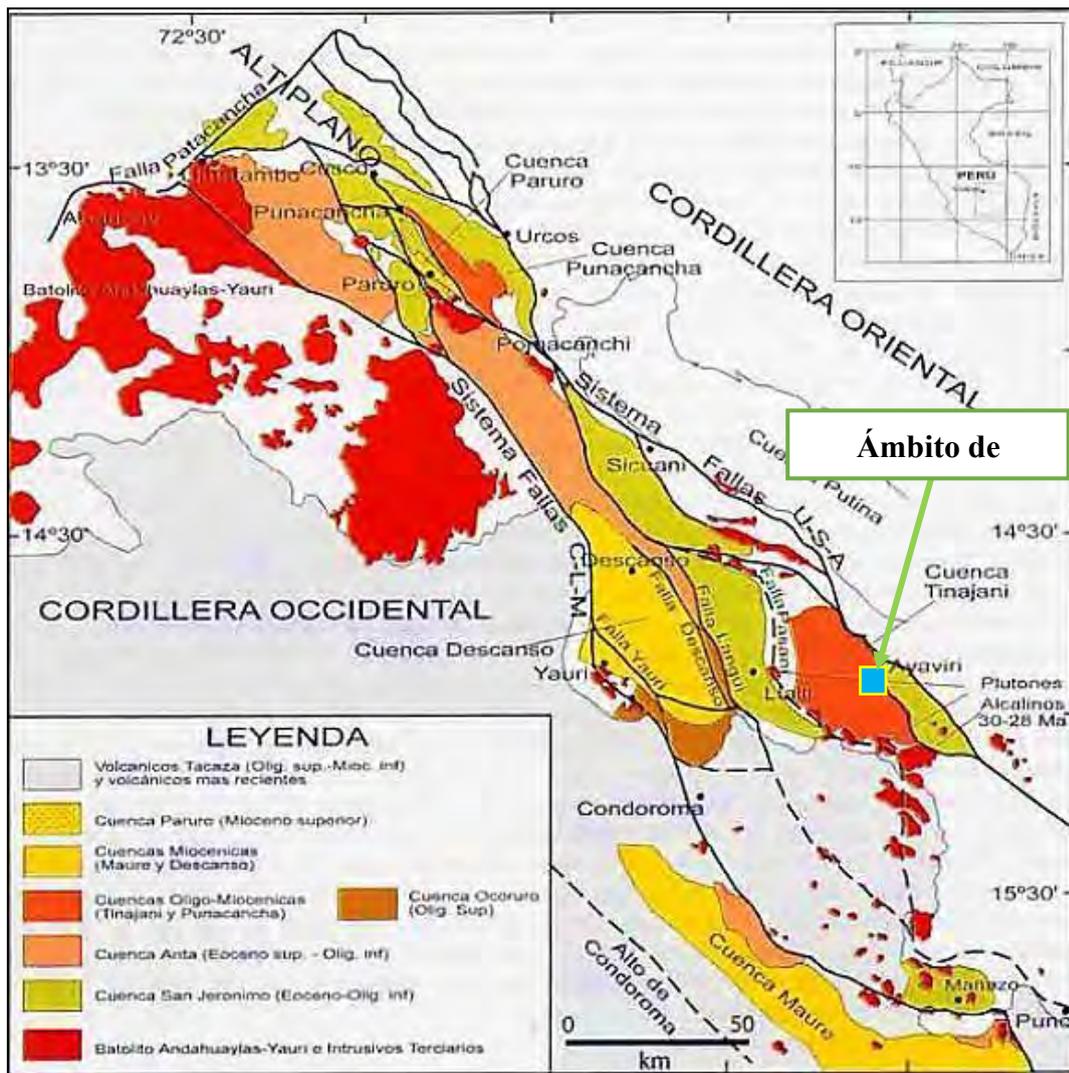
##### **3.3.1.2. Sistema de plegamientos (sector central de Puno)**

Las unidades estratigráficas que enmarcan plegamientos en el sector central de la región son el Grupo Maure, Formación Ayabacas, Formación Saracocha, Formación Hualhuani, Formación Labra, Grupo Puno, Formación Muñani, Formación Huancané, Grupo Iscay, Grupo Ambo Inferior, Grupo Cabanillas y Formación Calapuja (Gonzáles & López, 2015, p. 93).

En la Formación Ayabacas los ejes de pliegue tiene variadas direcciones, las que tienen mayormente rumbo andino NO-SE y otros NE-SO; en el Grupo Puno los ejes de pliegues tienen rumbo NE-SO [...] (Gonzáles & López, 2015, p. 93).



Figura 27. Sistema de Fallas Urcos - Sicuani - Ayaviri



Fuente: (Carlotto, y otros, 2005)

### 3.3.2. Geología estructural local

Las estructuras locales que atraviesas y/o afectan las unidades geológicas son la Falla Ayaviri y pliegues (ver MAPA N°07: GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL). Para el cual se ha levantado su sección geológica estructural (ver Figura 28), donde se aprecian como la Falla Ayaviri que ha afectado las unidades Paleozoicas y Cenozoicas.

#### 3.3.2.1. Falla Ayaviri

Es una falla normal de rumbo NE-SO y buzamiento hacia el NE ( $20^\circ - 38^\circ$ ) que pasa a unos 5.5 km al este de la ciudad de Ayaviri. El cual es una prolongación del sistema

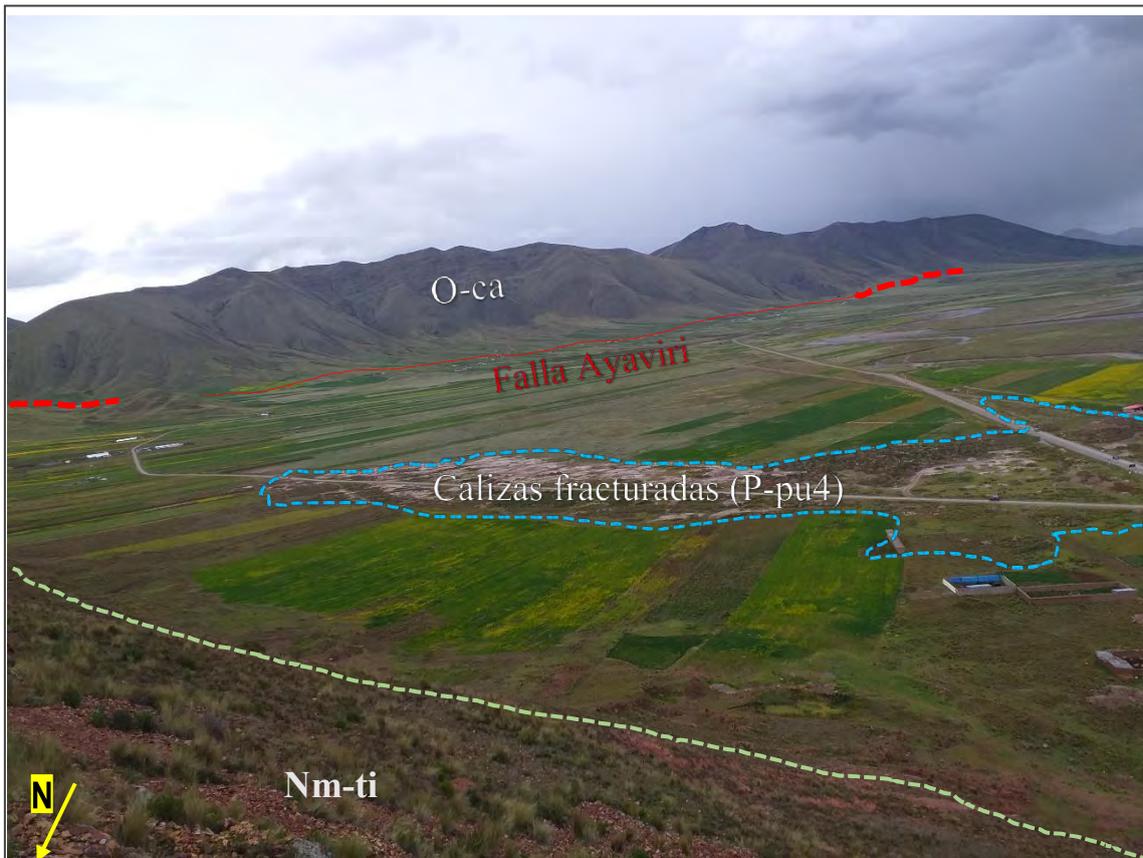


## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

de Fallas U-S-A. Esta falla normal pone en contacto en contra afloramientos de Formación Calapuja del Paleozoico con el Grupo Puno del Cenozoico.

Hacia el este del Poblado de Ayaviri se puede apreciar del cerro Pincorio un tramo del ramal de la Falla Ayaviri, entre el Cerro Punco Punco y la Quebrada Torreñe Punco (ver Figura 29 y Figura 30), que ha soterrado por los depósitos aluviales.

*Figura 28. Vista de la Falla Ayaviri desde el Cerro Pincorio*



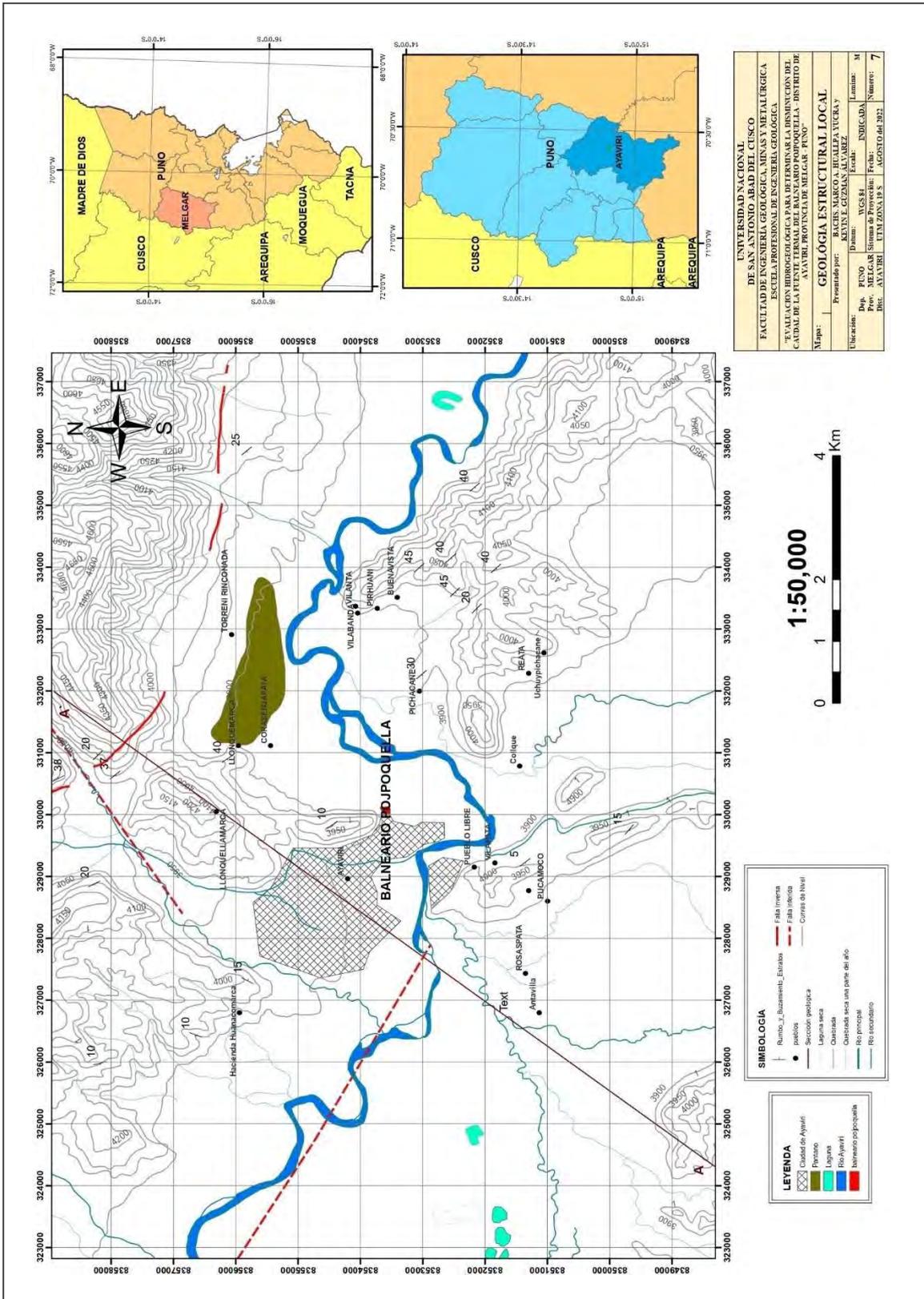
*Fuente: elaboración propia*



“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



MAPA N°07: GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

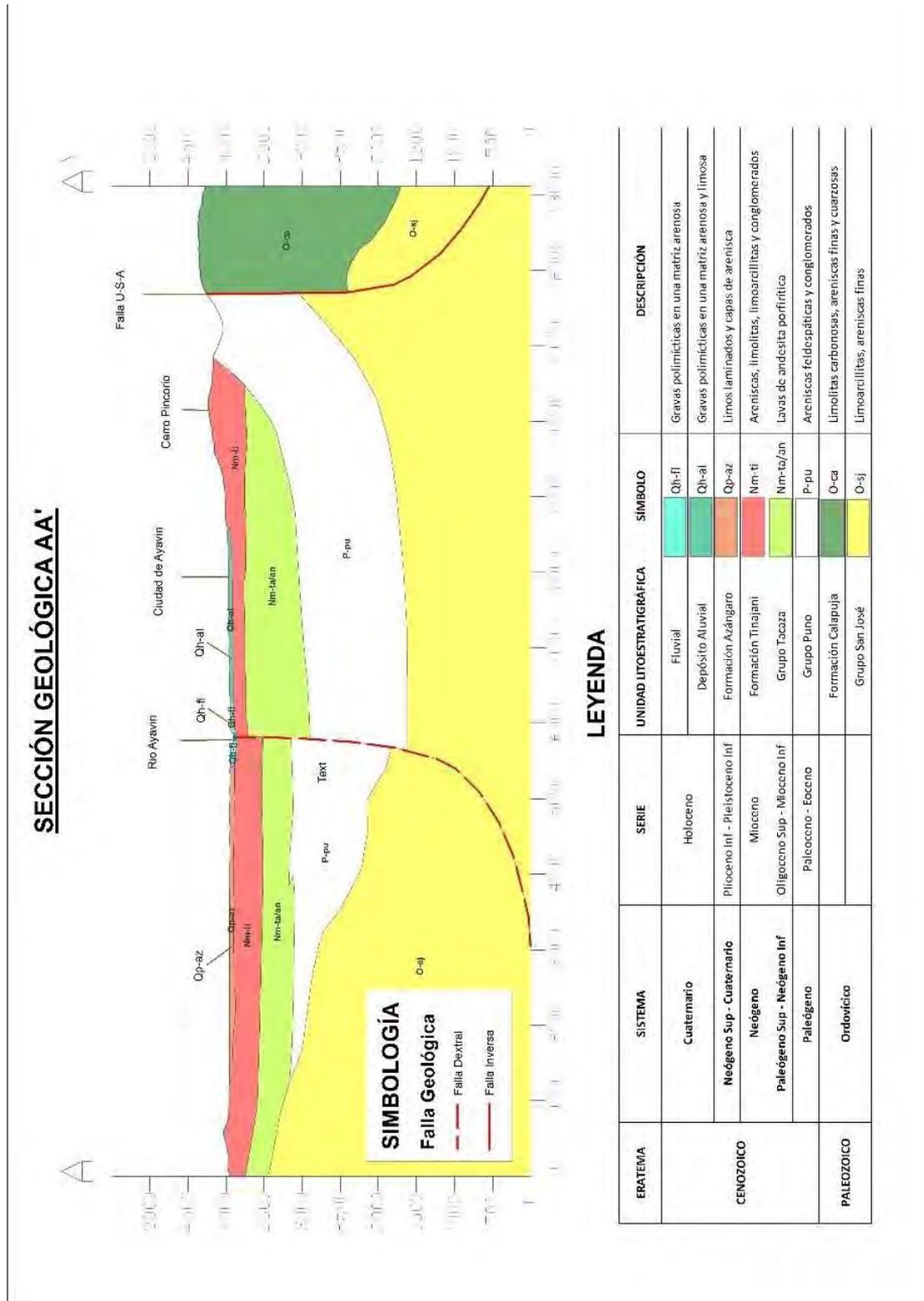




# “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 29. Sección geológica estructural local



Fuente: elaboración propia



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Figura 30. Falla Ayaviri que pone en contacto la Formación Calapuja con el Grupo Puno*

*Fuente: elaboración propia*





## CAPITULO IV HIDROLOGÍA

### 4.1. HIDROGRAFÍA

#### 4.1.1. Subcuenca de Pucará

La Subcuenca de Pucará tiene un área de 2,668 km<sup>2</sup> con un perímetro de 298 km, su parte más elevada está en la cota 5,162 msnm en el cerro Sapansalla y su parte más baja se ubica en la cota 3,839 msnm, donde el río Ayaviri confluye con el río Azángaro, se ubica entre las coordenadas UTM WGS84 Este de 300814 a 375340 y Norte de 8301125 a los 8377292.

La longitud total del río principal es de 152 km, resultando una pendiente mínima de 0.017% en las partes bajas a 0.05% en las partes altas, presenta una dirección Sureste y tiene forma trapezoidal. El número de orden de la cuenca es 6 y su altura media es de 4,084 msnm. La subcuenca presenta un drenaje medio a grueso especialmente en la parte baja, esta observación se realizó en un plano a escala 1:100,000.

Los ríos principales de la subcuenca son: Cahuasiri - Puncu Puncu, Vilacarca, Umachiri, Condormilla; Actani, Vilcamayo, Machacmarca y Sora, como laguna principal es la laguna de Tantan (ver MAPA N°08: HIDROGRAFIA).

#### 4.1.2. Intercuenca de Ayaviri

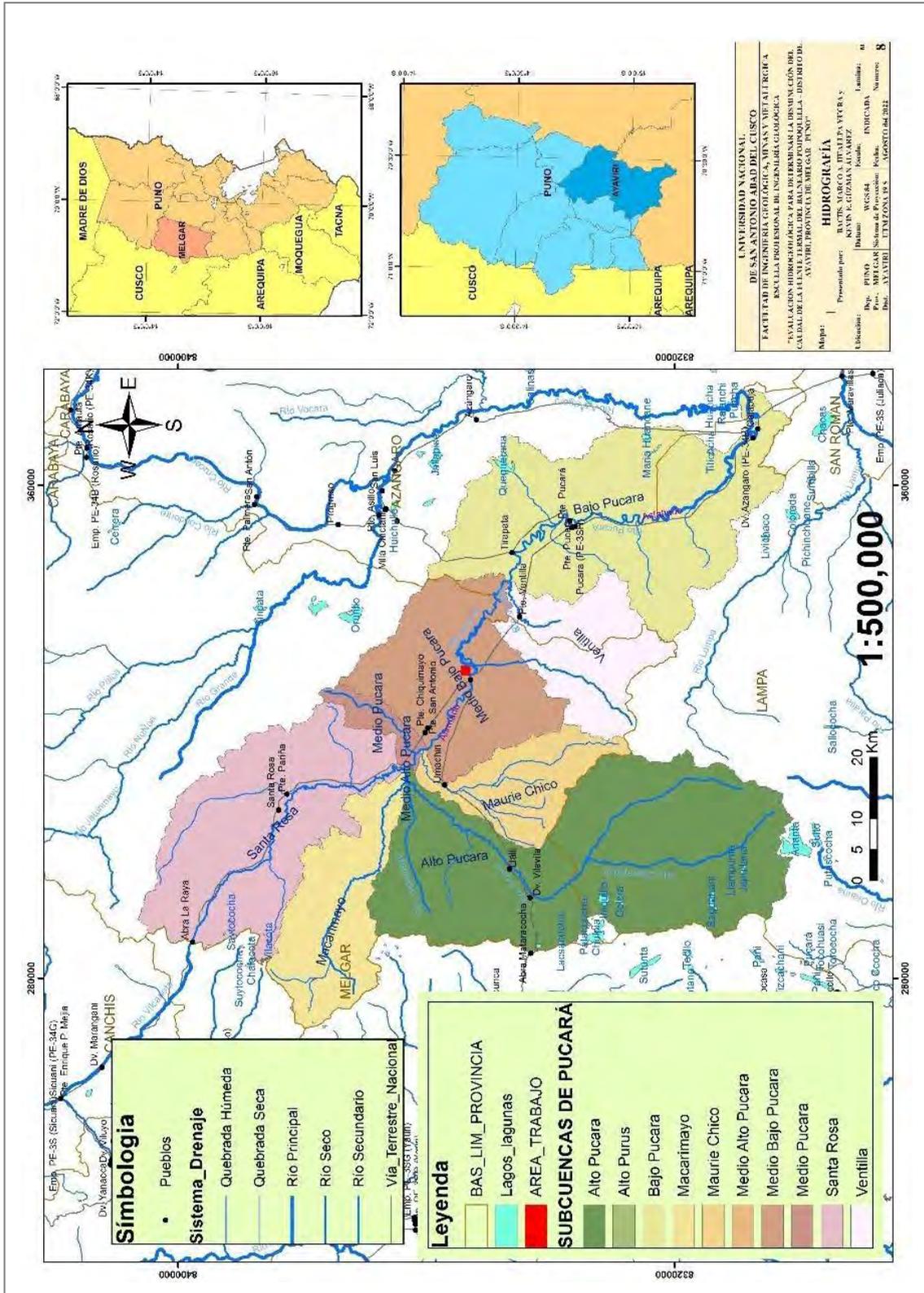
La hidrología del río Ayaviri pertenece a la subcuenca de Pucará, el cual está conformado por 10 unidades menores, con una red de drenaje, constituido por ríos perennes y estacionarios (ver Mapa N°09: HIDROLOGÍA). Para el cual se ha hecho el tratamiento de los datos meteorológicos.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N°08: HIDROGRAFÍA





## 4.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La información hidrometeorológica, específicamente son los registros históricos de la precipitación y temperatura diaria, con las que cuenta una estación meteorológica SENAMHI. El cual requiere un previo tratamiento de consistencia y homogeneidad, denominado “análisis de consistencia”; de tal manera las principales etapas de tratamiento, son: análisis de consistencia de los datos, completado y extensión de datos y regionalización de los datos

Para la microcuenca de Ayaviri se ha seleccionado 3 estaciones hidrometeorológicas del SENAMHI (ver Tabla 9), para los cuales se ha procedido su tratamiento respectivo. Para este caso se prioriza la estación Ayaviri, ya que se encuentra en la zona misma. Y los registros de los cálculos respectivos para las estaciones se ha considerado en los ANEXOS.

*Tabla 9. Estaciones meteorológicas para la intercuenca de Ayaviri*

<b>Estación</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>	<b>Altitud (Z)</b>
Ayaviri	328601	8355116	3928
Chuquibambilla	313519	8364726	3971
Pucara	353035	8336523	3900

*Fuente: Elaboración propia*

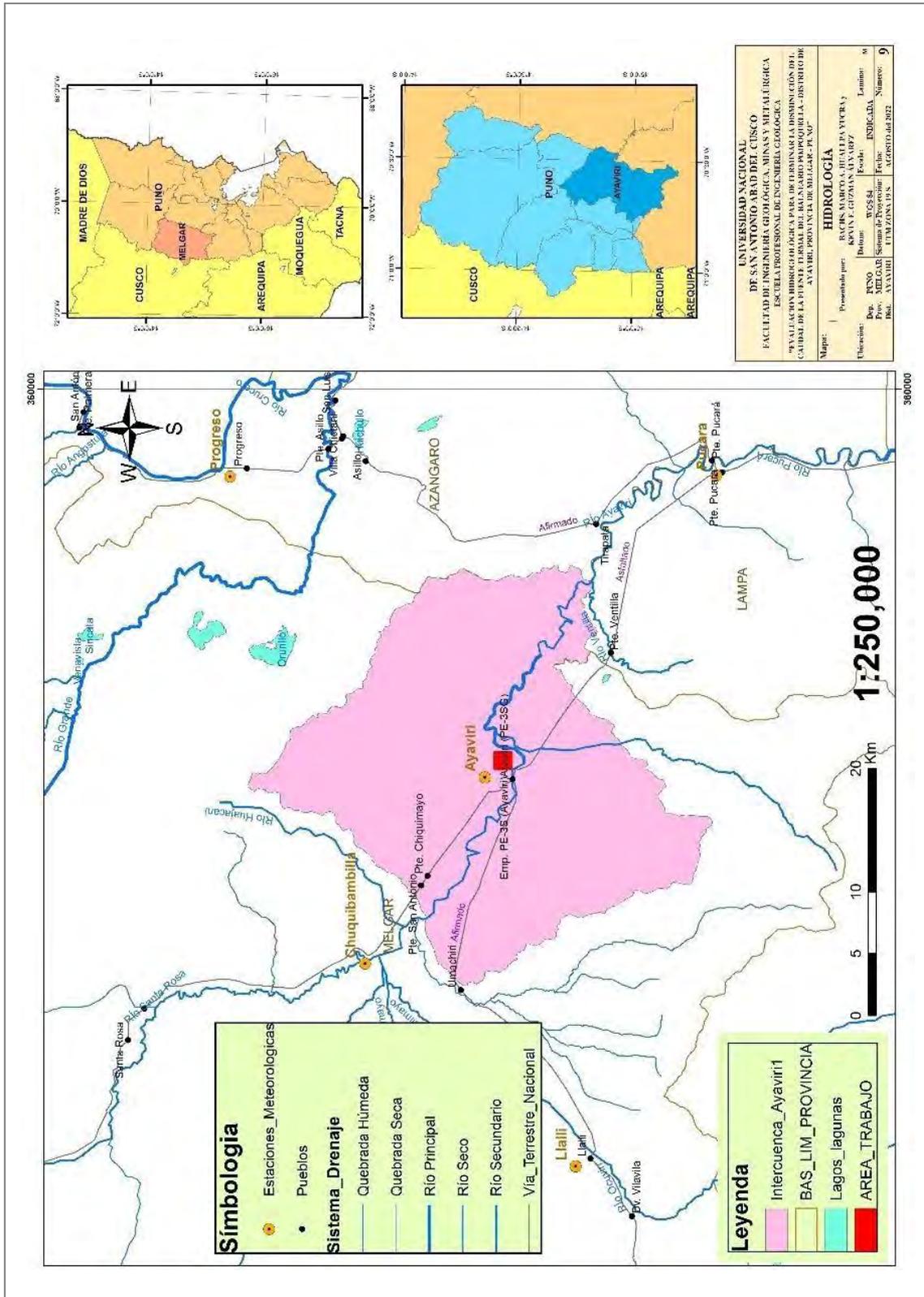
Las estaciones hidrometeorológicas del SENAMHI utilizadas para los cálculos hidrológicos, tanto para la temperatura y precipitación. El periodo para la precipitación la abarcan periodos de registro desde 1975- 2012, extendido hasta 2021 con el programa EasyFit.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N°09: HIDROLOGÍA





# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## 4.3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS

Como la estación Ayaviri está en la zona misma del estudio, será necesario hacer tratamiento de sus datos hidrometeorológicos registros por SENAMHI, en base a las otras estaciones. Para ello primero fue necesario completar temporalmente los datos faltantes con la media, tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Completado de datos con la media mensual-estación Ayaviri

DATOS ORIGINALES COMPLETADO CON LA MEDIA													
ANOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1975	133.10	187.40	104.80	37.30	4.10	0.00	0.00	0.00	4.90	87.20	73.40	172.30	804.50
1976	125.30	103.20	54.30	31.10	1.80	0.00	0.00	20.40	2.70	0.00	35.70	374.50	
1977	17.20	87.40	57.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	2.60	52.50	168.60	
1978	226.10	192.80	75.20	0.00	6.35	3.72	1.59	8.13	27.00	23.90	145.80	153.20	
1979	183.30	56.90	101.00	44.30	6.35	3.72	1.59	8.13	13.38	46.66	67.40	107.41	
1980	148.30	120.35	108.09	44.27	6.35	3.72	1.59	8.13	13.38	46.66	67.40	107.41	
1981	148.30	120.35	108.09	44.27	6.35	3.72	1.59	7.80	13.38	50.60	67.40	107.41	
1982	149.60	23.30	163.00	93.90	0.00	1.00	0.00	39.50	35.00	117.90	211.50	57.10	
1983	43.00	53.20	68.80	63.50	0.40	2.10	0.00	0.00	7.00	17.40	43.40	79.30	
1984	248.10	162.10	152.10	21.00	16.60	3.40	0.00	18.80	0.00	46.66	67.40	179.00	
1985	148.30	120.35	108.09	44.27	6.35	3.72	1.59	8.13	13.38	46.66	67.40	107.41	
1986	148.30	172.30	159.70	110.40	16.80	0.00	0.00	2.30	24.00	4.40	38.90	163.10	
1987	180.20	70.10	58.10	41.30	4.70	4.80	20.40	3.30	2.00	46.66	72.80	76.90	
1988	158.90	87.90	157.10	78.60	13.70	0.00	0.00	0.00	15.60	46.70	2.50	91.80	
1989	158.50	75.70	99.00	56.20	3.70	2.90	0.10	31.60	22.80	47.60	37.00	76.60	
1990	190.20	111.10	38.60	32.40	3.80	33.50	0.00	3.50	15.00	87.10	71.70	81.90	
1991	163.50	95.90	109.80	27.60	6.35	35.80	0.60	2.90	13.60	51.10	33.20	85.40	
1992	109.80	79.50	45.30	27.40	0.00	10.20	0.00	49.00	1.10	54.40	61.00	43.80	
1993	206.60	68.00	120.00	26.60	0.30	10.80	0.30	23.70	40.80	84.10	175.00	78.80	
1994	113.50	81.90	144.60	69.90	4.70	0.00	0.00	7.50	4.10	16.70	65.50	99.80	
1995	96.30	98.40	132.50	44.90	0.50	0.00	0.00	0.00	5.10	15.10	70.50	104.10	
1996	181.60	123.60	61.00	19.80	6.20	0.00	0.00	4.10	5.30	24.50	61.10	101.00	
1997	139.00	194.90	174.00	8.40	1.40	0.00	0.00	14.70	13.38	46.66	122.20	107.10	
1998	106.50	90.10	115.20	26.60	0.00	0.50	0.00	1.90	0.50	55.50	96.90	66.00	
1999	92.80	156.30	129.70	111.60	7.00	0.00	0.00	0.00	22.60	43.20	31.50	54.90	
2000	136.80	224.60	108.60	5.90	6.20	1.60	4.10	7.10	2.50	119.80	8.60	76.90	
2001	228.10	111.20	99.90	39.00	22.70	2.90	1.30	10.80	11.30	34.80	21.40	100.80	
2002	162.60	191.40	68.00	60.60	21.50	5.20	12.40	11.20	21.30	106.30	87.90	91.90	
2003	201.00	98.70	163.20	41.70	9.60	4.80	0.00	10.50	15.10	29.30	25.20	135.60	
2004	260.60	151.40	86.60	40.20	3.90	0.80	4.30	15.40	50.90	24.30	68.70	153.00	
2005	70.60	224.90	130.20	26.30	0.30	0.00	0.00	4.50	4.80	94.80	83.00	67.00	
2006	177.50	65.90	105.00	44.50	0.00	0.60	0.00	2.10	2.80	79.90	78.50	144.30	
2007	110.80	77.80	162.40	61.30	11.20	0.50	0.00	0.60	23.70	18.30	68.60	110.10	
2008	172.70	121.60	58.30	8.90	1.80	0.00	0.40	1.90	43.00	44.60	177.90	631.60	
2009	91.80	123.80	89.80	40.70	4.80	0.00	0.90	0.20	25.20	32.00	94.40	118.70	
2010	192.30	125.20	87.90	67.20	15.20	0.00	0.00	0.80	0.40	26.10	30.30	69.80	
2011	71.60	164.10	132.70	66.60	12.60	1.40	7.50	2.10	10.80	31.10	96.00	143.30	
2012	142.60	159.50	169.40	73.90	7.60	0.00	0.50	0.00	2.80	20.70	50.70	186.30	

Fuente: elaboración propia

### 4.3.1. Análisis de saltos

Los saltos se presentan en la media, así como en la desviación estándar. Para ello se hace un análisis desde tres etapas, las cuales son:

- Análisis visual
- Análisis de doble masa
- Análisis estadístico

#### ➤ Análisis visual

Los datos originales se han pasado a graficar tiempo vs precipitación para el

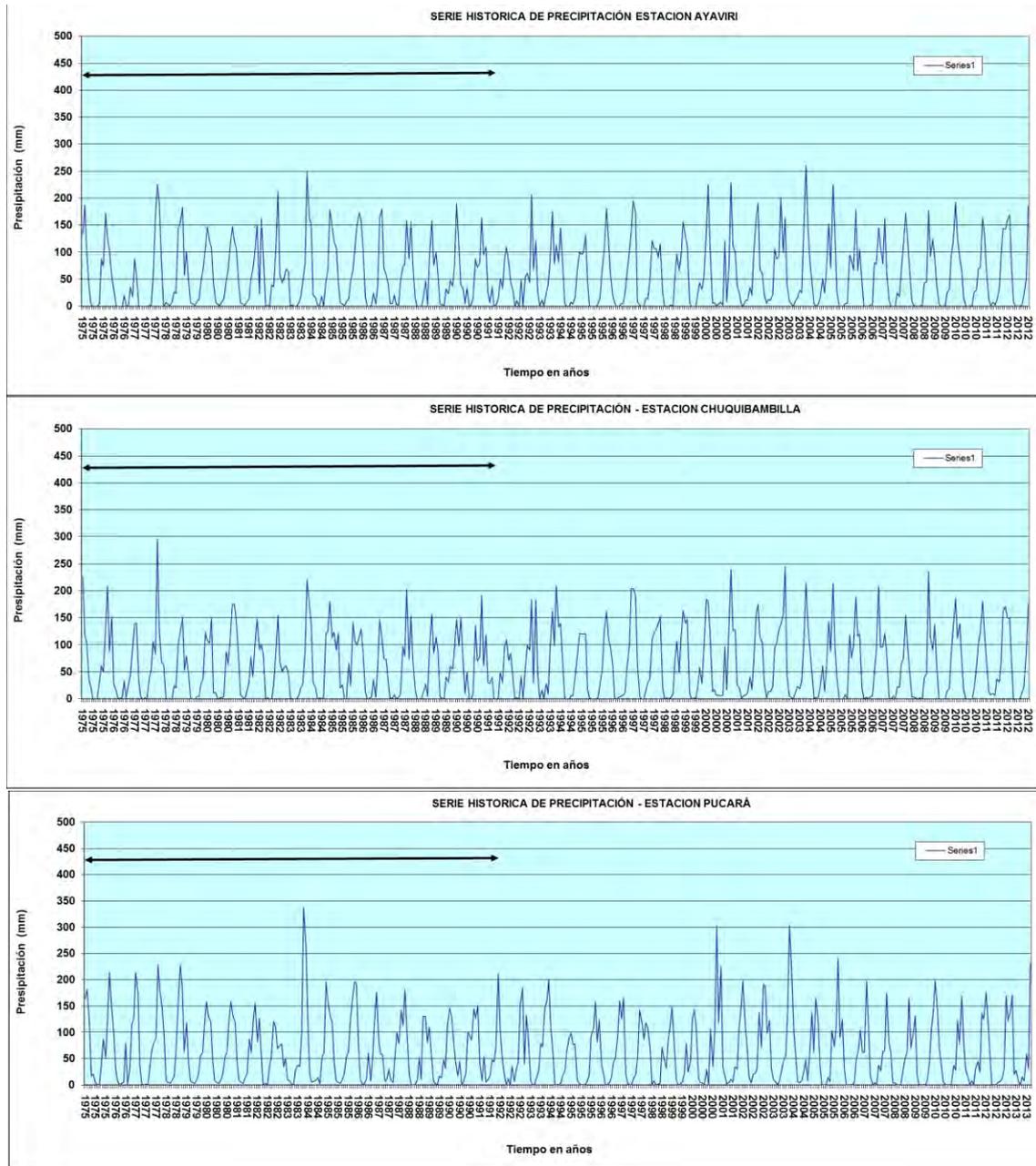


# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



análisis visual de saltos como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Diagrama de salto para la estación Ayaviri, Chuquibambilla y Pucará



*Fuente: elaboración propia*

En estas series históricas se tienen un registro de 38 a 39 años, que van desde el año 1975 hasta 2012 y 2013 para la última. Como se observa las tres estaciones presentan saltos similares, distinguibles en dos periodos (1975 – 1992 y 1993 – 2012).



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Como la estación Ayaviri es la principal de las tres por encontrarse en la zona misma, en este apartado se presenta los cálculos correspondientes a esta estación, más los cálculos de los otros dos, ya no se muestran, solo los registros finales. Para esta estación los dos periodos de salto pasan a ser analizada por doble masa.

### ➤ Análisis de doble masa

Para lo se ha elegido la estación más confiable y cercano (estación Ayaviri), en base al cual se ha trabajado. Que previamente requirió el completado de la información faltante, con la media mensual.

### ➤ Análisis estadístico en la media

Para ello se estableció la hipótesis, luego se calculó la desviación estándar de la diferencia de los promedios y ponderada, la realización de prueba T, tanto por probabilidades como por tabulación como se muestra en la Figura 32, obteniéndose que la hipótesis se rechaza, por lo tanto, se procede con la corrección.

*Figura 32. Cálculo del Tc y Tt del registro histórico para la estación Ayaviri*

03.- ANALISIS DE CONSISTENCIA						
		Nro. Datos	Media	Desv. est.	Varianza	
Primer periodo	1975-1992	18.00	652.65	169.97	28891.17	
Segundo periodo	1993-2012	20.00	696.35	96.21	9256.13	
<b>A. ANALISIS DE CONSISTENCIA EN LA MEDIA</b>			X	S	V = S <sup>2</sup>	
Hipótesis					DESVIACION AL CUADRADO	
Hp: u1 = u2	Media poblacional					
Ha: u1 ≠ u2						
a = 0.05						
<b>Cálculo de la desviación estándar de la diferencia de los promedios Y PONDERADA</b>						
Caso de variaciones iguales						
S <sub>d</sub> = S <sub>p</sub> (1/n1+1/n2) <sup>1/2</sup>				S <sub>d</sub> = 44.223954		
S <sub>p</sub> = {[(n1-1)*S <sub>1</sub> <sup>2</sup> +(n2-1)*S <sub>2</sub> <sup>2</sup> ]/[n1+n2-2]} <sup>1/2</sup>				S <sub>p</sub> = 136.118458		
Realización de la prueba T						
Tc = [(x1-x2)-(u1-u2)]/S <sub>d</sub>				Tc =	-0.99	
				Tc  =	0.99	
G.L. = n1+n2-2				G.L. = 36.00		
Tabulando Tt:						
a = 0.05				Tc > Tt = **		
				Tc < Tt = NS		
<b>Tt = 1.680</b>						
Criterio de decisión:						
				TABLA T		
				40	1.684	
				44	1.680	
				45	1.679	
<b>"Como Tt &lt; Tc (95%) entonces x1 &lt;&gt; x2 SE RECHAZA LA HIPOTESIS PROCEDE LA CORRECCION"</b>						

*Fuente: elaboración propia*



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



### ➤ **Análisis estadístico en la desviación estándar**

De similar manera que, para la media, se procedió con el análisis de consistencia en la desviación estándar. Llegándose con la prueba “F” a determinar la varianza, que indica también que se debe proceder con la corrección. En la Figura 33 se muestra el cálculo de ello.

*Figura 33. Cálculo de la desviación estándar para la estación Ayaviri*

B. ANALISIS DE CONSISTENCIA EN LA DESVIACION ESTANDAR	
Hipótesis	
Hp : $s_1^2 = s_2^2$	Varianza poblacional
Ha : $s_1^2 <> s_2^2$	
a = 0.05	
Cálculo del Fc	<b>VARIANZAS</b>
Fc = $[S1^2(x)]/[S2^2(x)]$	Si $S1^2(x) > S2^2(x)$
Fc = $[S2^2(x)]/[S1^2(x)]$	Si $S2^2(x) > S1^2(x)$
Tabulación de Ft	
a = 0.05	
G.L.N. = n1-1	
G.L.D. = n2-1	
Criterio	

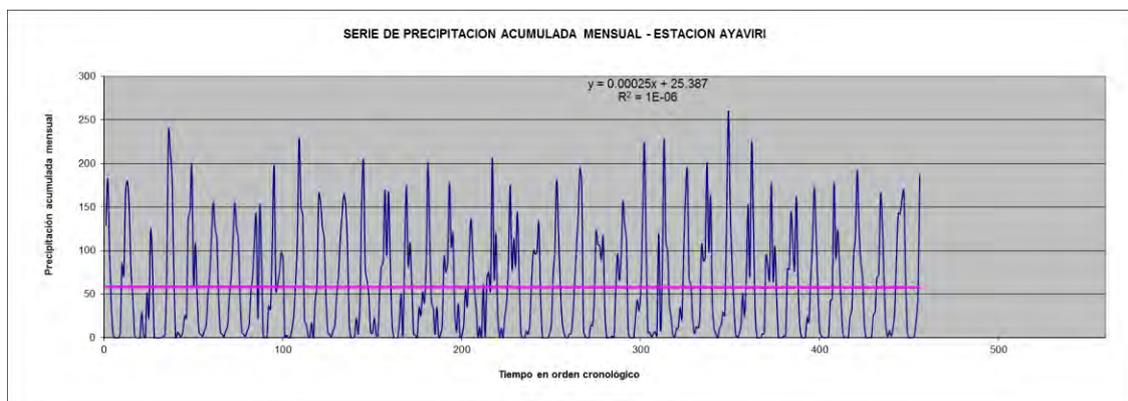
*Fuente: elaboración propia*

### 4.3.2. Análisis de tendencias

#### ➤ **Tendencia en la media**

La tendencia en la media se ha calculado con la ecuación de la regresión lineal, dando por resultado una tendencia descendente, como se muestra en la Figura 34.

*Figura 34. Tendencia lineal de la media*

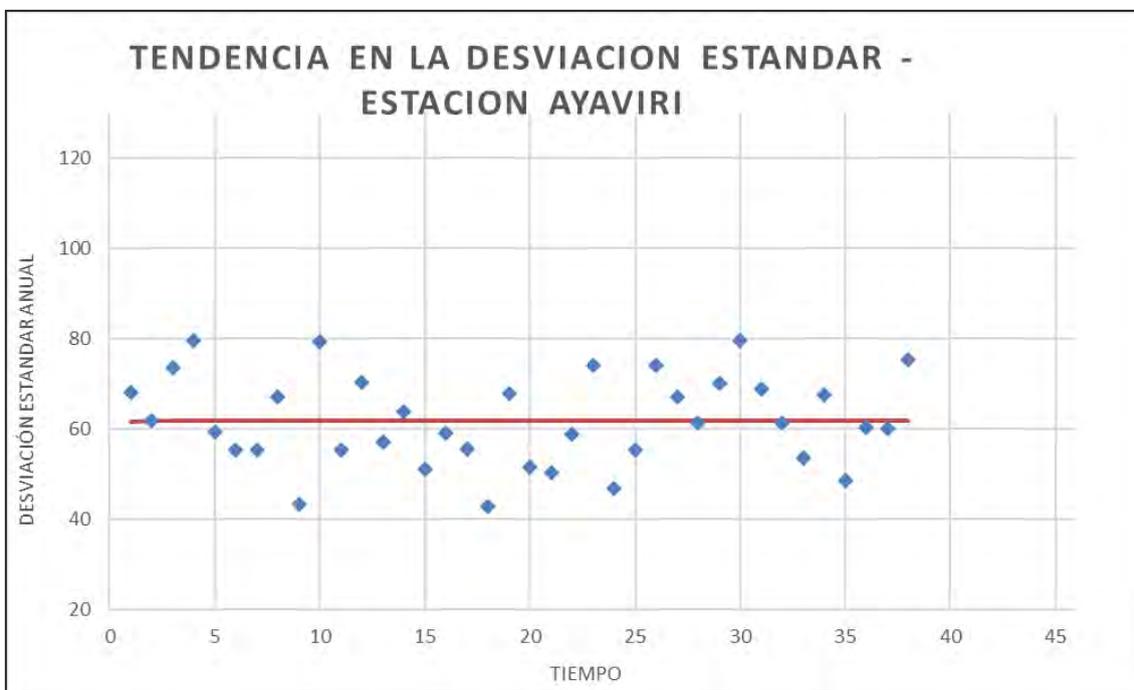




*Fuente: elaboración propia*

- **Tendencia en la desviación estándar**
- Para la generación de la desviación estándar se ordenó el tiempo mensual de los años 1975 al 2012 en forma ascendente (38 años). Determinado la desviación estándar para cada año. Representando en el eje de las abscisas, el tiempo en orden cronológico, y en el eje de las ordenadas, las desviaciones estándar de cada año. Llegando a observar una minúscula tendencia descendente, como se muestra en la Figura 35.

*Figura 35. Tendencia en la desviación estándar sin corregir para la estación Ayaviri*



*Fuente: elaboración propia*

#### 4.4. COMPLETADO Y EXTENSIÓN DE LOS DATOS

En esta etapa se procede a completar los datos faltantes en los registros de cada estación. Para ello se utilizó el método de la recta de la regresión lineal.

##### 4.4.1. Método de la recta de regresión lineal

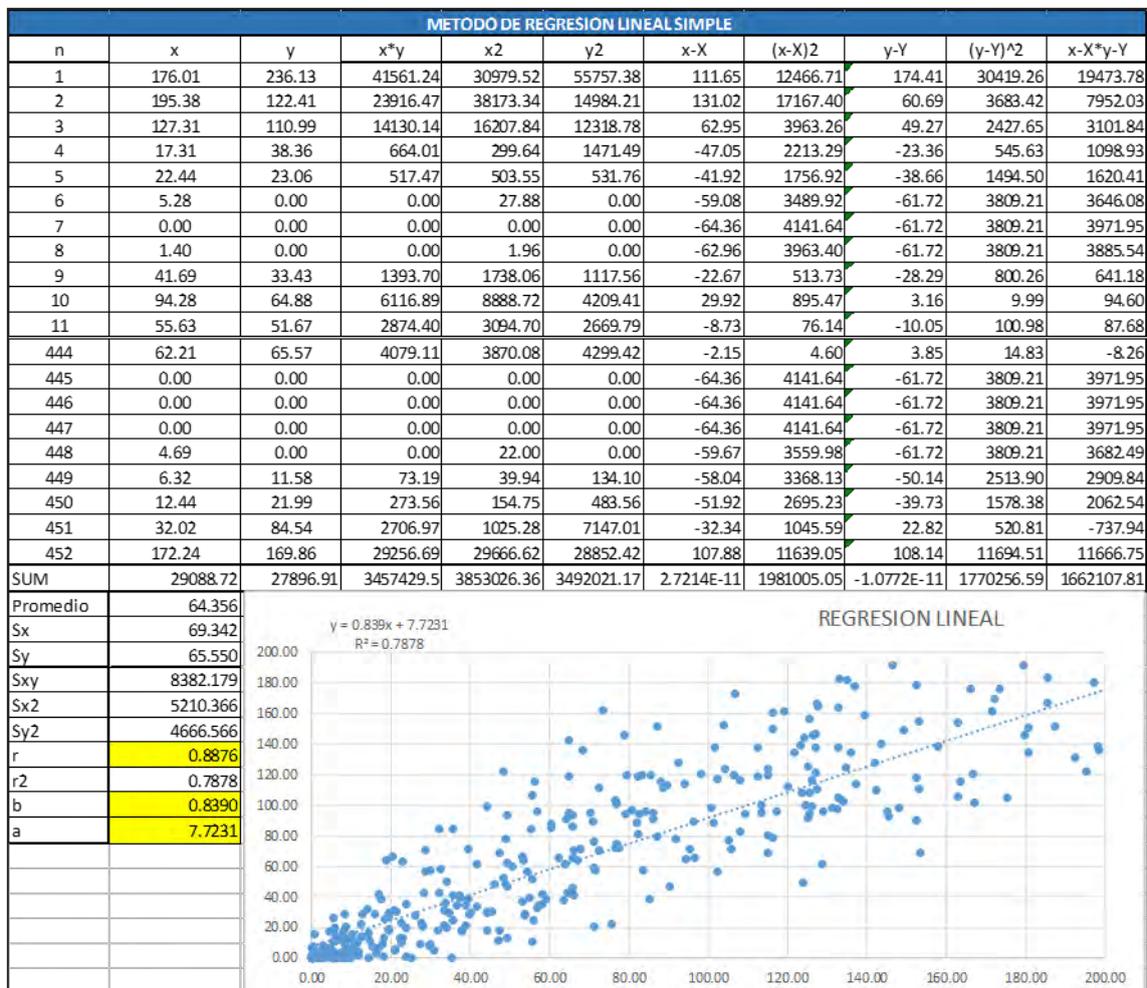
Para el completado de datos faltantes de la estación Ayaviri (variable Y) se utilizó



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

como estación base a Pucará (variable X). Para lo cual se ordenó los datos mensuales, para determinar todos sus parámetros y determinar su coeficiente de correlación. Llegando a obtener el completado de los datos faltantes para cada estación. Para que se pueda corregir datos faltantes de una estación “x” se ha establecido un rango de valor como mínimo del coeficiente de correlación “r” de 0.75, en nuestro ejemplo la estación Anta presenta un coeficiente r de 0.89 respecto a la estación Pucará, esto nos indica que si es posible completar datos faltantes de la estación Anta en función de la estación Ayaviri. Ejemplo de ello se muestra en la Figura 36.

*Figura 36. Completado de datos por regresión lineal para estación Ayaviri*



*Fuente: elaboración propia*

### 4.4.2. Extensión de los datos



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

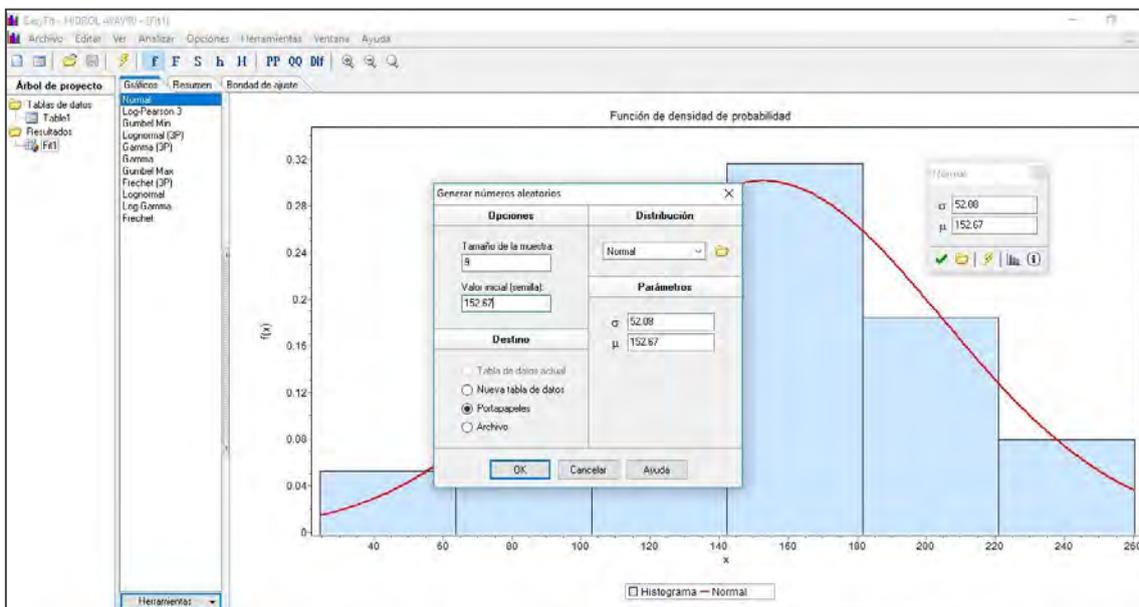


En el registro de las estaciones hidrometeorológicas SENAMHI no se tiene datos descargables hasta la actualidad. Por ello se procedió a dar extendido desde el 2013 hasta el 2021, con el método del EasyFit. Teniendo como referencia datos históricos desde el año 1975 hasta el 2012.

### ➤ Método de extensión con EasyFit

El método se base en distribuciones hidrológicas (Lognormal, Gumbel, Log-Pearson, etc.) que emplea métodos probabilísticos y números aleatorios (Figura 37).

Figura 37. Interfaz del programa EasyFit



Fuente: elaboración propia

En este caso para poder extender los datos de precipitaciones. Para lo cual se deben tener una mayor cantidad de datos históricos que serán tomados como muestras representativas. De tal manera se obtuvo el extendido del 2013 – 2021, como se muestra en la Tabla 11.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Tabla 11. Completado y extensión de los datos de precipitación histórica para la estación Ayaviri

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1975	129.62	182.50	102.06	36.33	3.99	0.00	0.00	0.00	4.77	84.92	71.48	167.80	783.48
1976	180.57	148.72	78.25	44.82	2.59	0.00	0.00	0.00	29.40	3.89	0.00	51.45	539.68
1977	24.30	123.45	81.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	3.67	74.16	238.15	546.78
1978	213.82	182.33	71.12	0.00	6.00	3.52	1.50	7.69	25.53	22.60	137.88	144.88	816.89
1979	197.60	61.34	108.88	47.76	6.84	4.01	1.71	8.76	14.43	50.30	72.66	115.79	690.08
1980	155.87	126.49	113.61	46.54	6.67	3.91	1.67	8.54	14.07	49.04	70.84	112.90	710.15
1981	155.47	126.17	113.33	46.42	6.65	3.90	1.66	8.18	14.03	53.05	70.67	112.61	712.14
1982	139.65	21.75	152.16	87.66	0.00	0.93	0.00	36.87	32.67	110.06	197.44	53.30	832.50
1983	61.57	76.18	98.52	90.93	0.57	3.01	0.00	0.00	10.02	24.92	62.15	113.55	541.41
1984	229.24	149.78	140.54	19.40	15.34	3.14	0.00	17.37	0.00	43.11	62.28	165.39	845.59
1985	155.81	126.44	113.57	46.52	6.67	3.91	1.67	8.54	14.06	49.02	70.82	112.85	709.86
1986	141.73	164.67	152.63	105.51	16.06	0.00	0.00	2.20	22.94	4.21	37.18	155.88	803.00
1987	203.46	79.15	65.60	46.63	5.31	5.42	23.03	3.73	2.26	52.68	82.20	86.83	656.29
1988	169.60	93.82	167.68	83.89	14.62	0.00	0.00	0.00	16.65	49.84	2.67	97.98	696.75
1989	174.49	83.34	108.99	61.87	4.07	3.19	0.11	34.79	25.10	52.40	40.73	84.33	673.42
1990	200.69	117.23	40.73	34.19	4.01	35.35	0.00	3.69	15.83	91.91	75.66	86.42	705.70
1991	178.01	104.41	119.54	30.05	6.91	38.98	0.65	3.16	14.81	55.63	36.15	92.98	681.26
1992	136.72	98.99	56.41	34.12	0.00	12.70	0.00	61.01	1.37	67.74	75.96	54.54	599.55
1993	206.61	68.00	120.00	26.60	0.30	10.80	0.30	23.70	40.80	84.10	175.01	78.80	835.03
1994	113.50	81.90	144.59	69.90	4.70	0.00	0.00	7.50	4.10	16.70	65.50	99.80	608.18
1995	96.29	98.39	132.48	44.89	0.50	0.00	0.00	0.00	5.10	15.10	70.49	104.09	567.33
1996	181.56	123.57	60.99	19.80	6.20	0.00	0.00	4.10	5.30	24.50	61.09	100.98	588.08
1997	138.96	194.84	173.95	8.40	1.40	0.00	0.00	14.70	13.38	46.65	122.17	107.07	821.51
1998	106.46	90.07	115.16	26.59	0.00	0.50	0.00	1.90	0.50	55.48	96.86	65.98	559.50
1999	92.76	156.23	129.64	111.55	7.00	0.00	0.00	0.00	22.59	43.18	31.49	54.88	649.31
2000	136.73	224.48	108.54	5.90	6.20	1.60	4.10	7.10	2.50	119.74	8.60	76.86	702.33
2001	227.96	111.13	99.84	38.98	22.69	2.90	1.30	10.79	11.29	34.78	21.39	100.74	683.78
2002	162.49	191.27	67.95	60.56	21.49	5.20	12.39	11.19	21.29	106.23	87.84	91.84	839.72
2003	200.85	98.62	163.07	41.67	9.59	4.80	0.00	10.49	15.09	29.28	25.18	135.50	734.13
2004	260.38	151.27	86.53	40.17	3.90	0.80	4.30	15.39	50.86	24.28	68.64	152.87	859.37
2005	70.53	224.69	130.08	26.28	0.30	0.00	0.00	4.50	4.80	94.71	82.92	66.94	705.74
2006	177.32	65.83	104.89	44.45	0.00	0.60	0.00	2.10	2.80	79.82	78.42	144.15	700.39
2007	110.68	77.71	162.22	61.23	11.19	0.00	0.00	0.60	23.67	18.28	68.52	109.98	644.09
2008	172.50	121.46	58.23	8.89	1.80	0.50	0.00	0.40	1.90	42.95	44.55	177.69	630.86
2009	91.68	123.64	89.69	40.65	4.79	0.00	0.90	0.20	25.17	31.96	94.28	118.55	621.52
2010	192.04	125.03	87.78	67.11	15.18	0.00	0.00	0.80	0.40	26.07	30.26	69.71	614.38
2011	71.50	163.87	132.51	66.51	12.58	1.40	7.49	2.10	10.78	31.06	95.86	143.10	738.75
2012	142.39	159.26	169.15	73.79	7.59	0.00	0.50	0.00	2.80	20.67	50.62	186.02	812.78
2013	204.57	147.49	89.65	87.97	17.50	0.19	3.74	0.90	2.72	24.37	21.53	204.75	805.39
2014	118.30	181.69	111.39	51.97	13.50	36.26	29.47	1.96	3.12	29.55	73.55	79.53	730.30
2015	80.18	101.79	143.22	100.87	6.29	1.17	0.47	20.34	8.57	35.22	111.47	148.19	757.78
2016	107.94	78.96	146.92	7.28	13.53	2.66	3.68	6.14	9.02	113.17	25.30	142.54	657.13
2017	197.16	261.66	77.26	71.58	4.36	5.40	0.55	0.69	2.91	47.49	14.97	147.72	831.75
2018	215.93	195.65	110.32	101.84	19.31	0.35	0.50	1.50	1.48	64.99	51.40	96.13	859.40
2019	204.11	122.56	81.97	57.46	3.05	7.04	0.17	2.09	2.22	26.34	84.72	94.57	686.27
2020	29.61	98.59	122.29	49.59	1.47	0.59	0.21	5.92	10.63	123.34	54.64	108.58	605.47
2021	283.89	82.24	113.36	100.55	0.87	0.85	1.35	1.70	7.78	57.43	41.05	121.35	812.43
Media mens.	154.109	127.419	111.032	50.545	6.885	4.374	2.201	7.730	12.198	49.711	65.941	114.394	706.54

Fuente: elaboración propia

## 4.5. REGIONALIZACIÓN DE LOS DATOS

La regionalización se hizo para precipitación, como sigue a continuación.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## 4.5.1. Precipitación

La regionalización para la precipitación, se hizo en función de las altitudes de las estaciones, dentro de una misma zona geográfica y climática, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Ayaviri	154.11	127.42	111.03	50.55	6.88	4.37	2.20	7.73	12.20	49.71	65.94	114.39	<b>706.54</b>
Chuquibambilla	161.68	124.91	126.09	52.23	7.51	4.53	1.57	5.93	17.76	48.09	71.04	116.11	<b>737.46</b>
Pucará	167.18	134.62	128.15	49.66	8.51	7.08	3.33	9.55	22.12	57.74	63.01	119.50	<b>770.47</b>

Fuente: elaboración propia

Para los cuales se calculó el coeficiente de determinación, cuyos valores se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Altitudes y precipitación media histórica de las estaciones hidrometeorológicas

REGIONALIZACION DE LA PRECIPITACION VS ALTITUD							
NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm	PP MEDIA MA mm	ECUACION DE REGRESION				PP MEDIA MA CORREG mm
			P2=Bo+B1*H				
			X2	Y2	X*Y2	Y4	
PUCARA	3941	770.5	15531481.000	593623.317	2339469492.269	352388642478	772.57
CHUQUIBAMBILLA	3918	737.5	15350724.000	543845.024	2130784802.922	295767409821	728.91
AYAVIRI	3910	706.5	15288100.000	499194.477	1951850406.388	249195126204	713.09
SUMA	11769	2214.5	46170305.000	1636662.818	6422104701.579	897351178503	
N	3	3	3	3	3	3	
PROMEDIO	3923	738.2	15390101.667	545554.273	2140701567.193	299117059501	
FORMULAS DE REGRESION			VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION				
A=SUM(X)	11769	G=C-(A^2)/n	518	COEF. INDEPENDIENTE		Bo=	-10636255.80
B=SUM(Y)	2214.465	H=E-(A*D)/n	1476466.382	COEF. DEPENDIENTE		B1=	2850.32
C=SUM(X2)	46170305	I=F-(D^2)/n	4462785177	COEF. CORRELACION		r=	0.97
D=SUM(Y2)	1636662.8	J=B1=H/G	2850.321201	REGIONALIZACION ANUAL DE LA PRECIPITACION			
E=SUM(X*Y2)	6.422E+09	K=Bo=(D-J*A)/n	-10636255.8	PARTES DE LA CUENCA		ALTITUD	PP MEDIA
F=SUM(Y4)	8.974E+11			ZONA MEDIA		3906.00	705.05
				ZONA BAJA			
				ZONA ALTA			

Fuente: elaboración propia

De las 5 ecuaciones de ajuste, se seleccionó la ecuación exponencial por su buena correlación de su coeficiente “r”, que tiene un valor de 0.97 y una precipitación calculada de 705.05 mm/año. Tal como se puede observar en la Tabla 14.



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



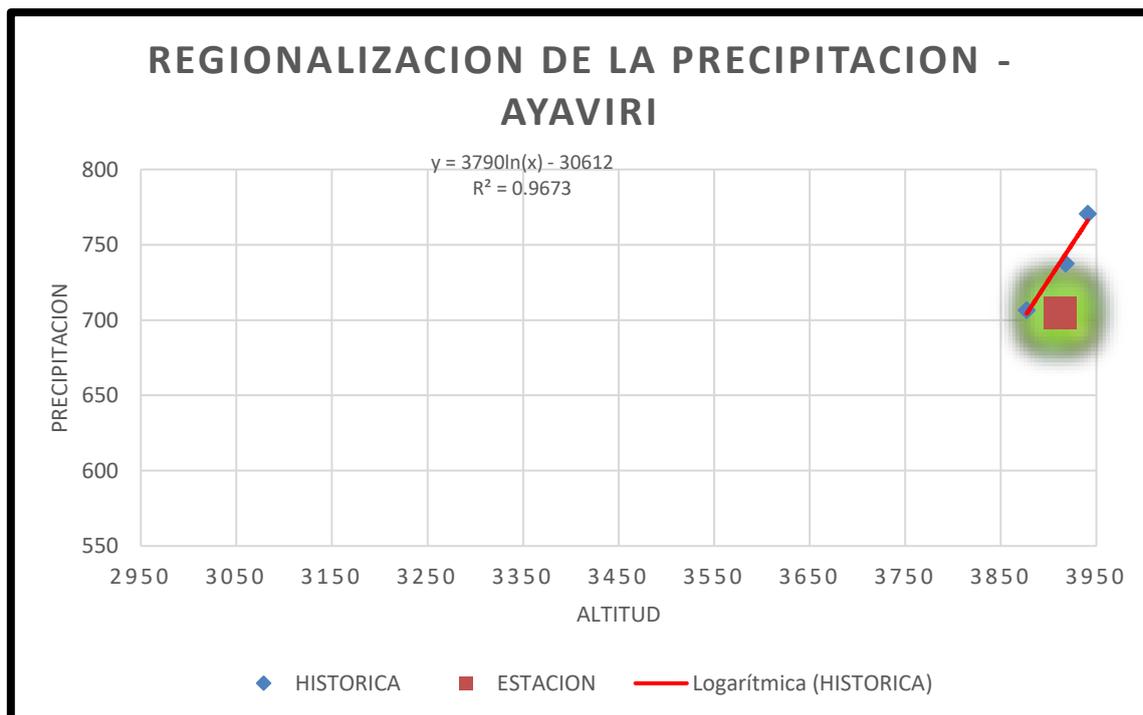
*Tabla 14. Coeficientes de correlación de las ecuaciones de regionalización*

Variables	1	2	3	4	5
	LINEAL	EXPONENCIAL	LOGARITMICO	POLINOMICA	POTENCIAL
a	0.2719	193.93	942.88	-0.0002	0.0144
b	207.05	0.0004	6945.9	1.7426	1.33
c				2730.8	
<b>Parametros de Regresion</b>					
r	0.97	0.97	0.95	0.96	0.99
R^2	0.93	0.91	0.95	0.98	0.93
Altitud					

*Fuente: elaboración propia*

Con la ecuación obtenida se pasó a graficar la regionalización de la precipitación (Figura 38), donde se muestra las 3 estaciones (incluida la nueva estación de la cuenca), que cortan por el medio el centroide del Balneario Pojpoquilla, obteniéndose una precipitación total media anual de 705.05 mm con una elevación media de 3912 m.s.n.m.

*Figura 38. Línea de regionalización de la precipitación*



*Fuente: elaboración propia*

Una vez determinado la precipitación media anual, se procedió a calcular los valores de precipitación mensual de cada año o serie histórica (ver Tabla 15).



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Tabla 15. Datos regionalizados de la precipitación para el intercuenca de Ayaviri*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1975	99.24	110.24	119.23	30.48	9.58	2.60	2.63	3.12	6.95	42.98	7.29	152.77	587.10
1976	127.39	102.69	147.95	124.87	19.05	0.00	7.64	1.18	92.52	39.47	70.35	215.49	948.61
1977	124.54	194.37	189.43	37.20	49.18	1.97	0.00	5.11	14.31	41.97	129.82	87.48	875.39
1978	95.99	216.05	91.14	42.30	8.86	0.07	8.88	21.72	24.94	30.69	22.06	97.12	659.81
1979	129.43	180.30	91.36	19.06	5.94	5.87	18.57	14.07	25.86	21.47	118.83	59.64	690.40
1980	138.29	105.87	80.02	11.80	0.57	1.85	1.31	2.19	17.78	43.99	96.22	108.36	608.25
1981	137.01	66.30	98.99	60.86	10.94	0.70	0.82	0.44	18.26	53.58	21.02	190.26	659.16
1982	207.83	246.28	78.43	39.03	0.23	0.18	0.08	1.09	3.50	7.87	14.14	87.98	686.65
1983	88.76	59.23	55.92	22.15	0.34	0.02	1.23	72.25	4.18	1.09	52.44	158.85	516.45
1984	145.47	112.13	132.33	158.00	45.85	4.37	11.40	20.95	28.88	32.14	60.10	132.49	884.11
1985	136.57	230.90	169.60	84.03	9.49	1.75	0.33	39.17	2.31	23.71	31.44	91.36	820.65
1986	133.13	186.40	258.05	42.76	43.58	4.70	0.02	10.05	45.72	25.73	39.72	200.90	990.74
1987	196.84	156.48	130.16	104.21	26.38	22.64	0.12	0.97	37.08	6.25	16.01	60.87	758.00
1988	60.15	210.08	124.78	58.26	0.76	0.04	4.62	0.26	79.87	23.59	94.95	65.01	722.36
1989	216.39	100.23	102.59	45.06	5.28	0.02	0.26	0.00	12.23	1.55	87.53	115.11	686.25
1990	191.04	149.14	124.48	32.03	6.54	0.00	0.57	2.01	5.43	8.18	72.01	96.88	688.31
1991	94.06	126.51	99.52	24.32	0.84	0.19	0.51	0.09	1.35	37.61	53.05	70.46	508.50
1992	189.15	90.66	164.29	52.51	0.14	0.59	0.00	14.85	25.56	67.30	134.49	93.19	832.73
1993	165.09	34.51	106.50	21.52	0.00	9.33	0.53	1.13	10.08	73.70	136.13	50.17	608.69
1994	142.15	75.08	23.32	32.66	14.36	11.16	3.13	0.05	7.97	10.45	30.30	59.80	410.41
1995	144.80	132.53	72.49	38.51	0.02	14.60	0.08	14.70	2.12	120.90	60.43	105.20	706.39
1996	80.33	75.48	44.35	15.09	10.02	15.23	0.36	0.53	15.20	20.97	107.48	151.35	536.40
1997	141.61	90.51	206.10	54.42	10.64	0.00	0.38	1.15	10.52	15.46	24.24	52.09	607.10
1998	247.89	68.18	54.03	3.39	0.56	1.12	1.57	0.00	1.44	21.88	163.27	79.16	642.49
1999	154.92	125.39	145.63	59.70	10.64	0.00	0.00	2.60	2.00	14.85	13.45	183.91	713.08
2000	158.94	101.09	163.85	26.78	0.67	1.67	0.00	0.81	2.73	44.11	69.77	89.02	659.43
2001	165.02	63.17	32.07	47.26	14.86	42.53	3.74	4.53	2.07	67.68	230.36	187.00	860.28
2002	62.74	170.94	62.72	24.61	12.60	21.50	0.15	0.00	3.52	24.12	142.03	147.64	672.58
2003	105.39	114.16	128.94	26.09	0.08	27.35	1.69	21.55	5.21	51.82	145.28	118.98	746.55
2004	154.68	87.94	78.91	37.16	0.32	0.02	0.27	9.70	1.41	13.67	117.77	190.46	692.32
2005	149.16	171.10	176.70	38.83	1.73	0.00	0.00	0.00	24.18	60.81	31.02	128.07	781.60
2006	150.66	37.49	192.69	2.98	0.14	0.04	0.28	0.06	5.57	15.42	49.20	138.14	592.65
2007	164.29	112.49	124.45	70.72	12.10	0.00	0.00	32.26	2.22	51.83	66.66	150.20	787.22
2008	130.67	149.32	194.09	20.45	5.89	0.00	0.00	7.51	13.89	31.95	118.51	77.52	749.80
2009	48.59	173.27	79.90	19.19	0.38	4.99	0.18	10.04	0.38	22.78	64.60	133.59	557.90
2010	133.61	184.13	151.36	93.67	1.81	0.77	8.62	0.29	35.74	29.99	46.96	195.15	882.11
2011	172.51	94.03	96.28	4.62	2.40	12.33	9.38	3.92	5.37	38.74	21.52	86.29	547.40
2012	272.83	172.44	153.75	33.59	18.90	0.29	22.45	25.22	21.31	95.71	81.57	89.15	987.21
2013	105.67	204.00	109.97	25.03	8.17	0.61	31.84	0.76	17.39	39.18	59.92	109.96	712.50
2014	175.32	169.96	236.64	35.21	2.97	7.12	0.29	19.78	10.84	11.48	22.14	167.02	858.77
2015	139.72	120.04	78.81	21.11	3.31	36.67	21.47	12.50	13.15	28.78	68.20	72.81	616.57
2016	88.67	151.03	98.28	34.40	4.39	0.34	0.44	6.53	11.15	33.32	53.07	100.69	582.31
2017	207.43	103.39	123.36	56.63	0.32	9.16	4.47	9.58	8.23	84.11	87.31	92.73	786.69
2018	169.93	119.01	176.30	48.10	5.40	0.29	11.29	1.65	0.42	46.10	81.58	64.64	724.72
2019	151.77	139.37	48.79	11.66	15.69	16.31	0.29	9.73	9.05	57.69	85.22	172.19	717.77
2020	121.10	100.91	71.23	37.54	7.29	0.29	5.09	2.33	8.72	6.89	89.87	86.80	538.04
2021	226.23	111.43	87.55	3.62	14.96	0.30	2.41	8.47	9.78	63.42	28.69	158.77	715.65
<b>Media</b>													<b>705.05</b>

*Fuente: elaboración propia*



### 4.5.2. Temperatura

En Ayaviri, los veranos son cortos, frescos y nublados y los inviernos son cortos, muy frío, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura el promedio de la temperatura generalmente varía entre máx. de 10.5 °C (mes febrero) a min. de 4.2 °C (mes julio) para la estación meteorológica de Ayaviri, caso parecido para las otras estaciones cercanas (ver Tabla 16). Y la variación de la temperatura entre las horas pico del día y la noche es considerable, porque baja de 18 °C a -5 °C, respectivamente; y rara vez baja a menos de -7 °C o sube a más de 21 °C.

*Tabla 16. Temperatura Media Mensual (°C) - Promedio Multianual*

Est. Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
PUCARA	3941	9.5	9.5	9.4	8.5	6.3	4.3	4	5.6	7.9	9.4	9.8	9.9	7.84
CHUQUIBAMBILLA	3918	9.1	9.1	9	7.8	5.1	3.3	2.9	4.5	6.5	8.1	8.7	9.1	6.93
AYAVIRI	3877	10	10.5	10.2	9.2	6.2	4.4	4.2	5.9	7.7	9.3	9.6	10.1	8.11
Prom		9.5	9.7	9.5	8.5	5.9	4.0	3.7	5.3	7.4	8.9	9.4	9.7	<b>7.63</b>
PPMax		10	10.5	10.2	9.2	6.3	4.4	4.2	5.9	7.9	9.4	9.8	10.1	
PPMin		9.1	9.1	9	7.8	5.1	3.3	2.9	4.5	6.5	8.1	8.7	9.1	

*Fuente: elaboración propia*

### 4.6. BALANCE HÍDRICO ATMOSFÉRICO

El balance hídrico a nivel atmosférico para una unidad hidrográfica esta expresado en términos de la relación precipitación – evapotranspiración. Para ello hace falta calcular la evapotranspiración, en este caso evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ) calculado por el método de Hargreaves modificado (ver Tabla 21). El cual para los cálculos requiere la entrada de los parámetros de temperaturas media mensual (ver Tabla 16), horas sol máximo diario (ver Tabla 17 y 18) y mensual (ver Tabla 19), así como la radiación extraterrestre diaria media del mes (ver Tabla 20), los cuales han sido extraídas de la página oficial del “Laboratorio de Monitoreo Global Laboratorios” de la USA, a excepción de las temperaturas.



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Tabla 17. Número de horas sol máximo diario para diferentes latitudes sur*

Latitud (S)	10°			12°			14°			16°			18°		
	HS	HP	N												
Ene	05:50	18:29	12.7	05:47	18:32	12.8	05:44	18:35	12.9	05:40	18:39	13	05:37	18:42	13.1
Feb	06:02	18:27	12.4	06:00	18:28	12.5	05:58	18:30	12.5	05:56	18:32	12.6	05:54	18:34	12.7
Mar	06:04	18:14	12.2	06:04	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:15	12.2
Abr	06:04	17:56	11.9	06:05	17:55	11.8	06:06	17:53	11.8	06:08	17:52	11.7	06:09	17:50	11.7
May	06:07	17:46	11.7	06:09	17:43	11.6	06:12	17:40	11.5	06:15	17:37	11.4	06:18	17:34	11.3
Jun	06:14	17:47	11.6	06:18	17:43	11.4	06:21	17:40	11.3	06:25	17:36	11.2	06:29	17:32	11.1
Jul	06:18	17:54	11.6	06:21	17:51	11.5	06:25	17:47	11.4	06:28	17:44	11.3	06:32	17:40	11.1
Ago	06:11	17:58	11.8	06:13	17:56	11.7	06:15	17:54	11.7	06:17	17:52	11.6	06:20	17:50	11.5
Set	05:54	17:57	12.1	05:54	17:56	12	05:55	17:56	12	05:55	17:55	12	05:56	17:55	12
Oct	05:36	17:55	12.3	05:35	17:57	12.4	05:34	17:58	12.4	05:32	17:59	12.5	05:31	18:01	12.5
Nov	05:27	18:02	12.6	05:25	18:05	12.7	05:22	18:08	12.8	05:19	18:10	12.9	05:16	18:14	13
Dic	05:34	18:16	12.7	05:30	18:20	12.8	05:27	18:24	13	05:23	18:28	13.1	05:19	18:31	13.2

Fuente: (NNOA, 2022)

*Tabla 18. Número de horas sol máximo diario del mes para la Intercuenca Ayaviri*

INTERCUENCA AYAVIRI	Número de Horas Sol Max Diaria Probable para diferentes meses y latitudes Sur (DL)												
	Latitud(S)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
	14.870	12.9	12.5	12.2	11.8	11.5	11.3	11.4	11.7	12.0	12.4	12.8	13.0

Fuente: (NNOA, 2022)

*Tabla 19. Número de horas sol máximo mensual para la Intercuenca Ayaviri*

INTERCUENCA AYAVIRI	Número de Horas Sol Max Mensual Probable para diferentes meses y latitudes Sur (SM)												
	Latitud(S)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
	14.870	16.7	16.3	15.2	13.4	11.7	10.8	11.1	12.6	14.4	15.8	16.5	16.8

Fuente: (NNOA, 2022)

*Tabla 20. Radiación extraterrestre media diaria del mes para la intercuenca Ayaviri*

INTERCUENCA AYAVIRI	Radiación Extraterrestre Media Diaria (RMD)												
	expresada en equivalente de evaporación (mm/día) para diferentes latitudes y meses.												
	Latitud(S)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
14.870	16.7	16.3	15.2	13.4	11.7	10.8	11.1	12.6	14.4	15.8	16.5	16.8	

Fuente: (NNOA, 2022)



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Tabla 21. Evapotranspiración potencial Hargreaves III modificado

Estudios: Hidrología															
Proyecto (Tesis) Intercuencia Ayaviri															
Cusco - Diciembre 2022															
INTERCUENCIA AYAVIRI	ALTURA	3906 msnm	Latitud			:	14.870 S								
VARIABLE	EXPRES.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
T*PRM. MESUAL (°F)		49.16	49.46	49.16	47.30	42.56	39.20	38.66	41.60	45.26	48.08	48.86	49.46	548.76	
T*PRM. MESUAL (°C)		9.53	9.70	9.53	8.50	5.87	4.00	3.70	5.33	7.37	8.93	9.37	9.70	91.53	
N°HRS. DE SOL MENSUAL	SM	137.70	175.40	205.40	223.10	257.00	249.80	251.70	243.90	223.60	238.30	230.60	207.30	2643.80	
N°DIAS DEL MES	DM	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	365.00	
HRS. DE SOL MAX. MD. DIARIA.	DL	12.90	12.50	12.20	11.80	11.50	11.30	11.40	11.70	12.00	12.40	12.80	13.00	145.50	
RADIACION EXTRATERRESTRE DIARIA	RMD	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77	171.30	
FACTOR DE CORR. POR ALTURA	FA	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	14.81	
%HRS. DE SOL MENSUAL	S	34.43	50.11	54.31	63.02	72.09	73.69	71.22	67.25	62.11	61.99	60.05	51.44	721.72	
RAD. EXTRATERRESTRE MED. DIARIA	RMD	16.73	16.27	15.21	13.44	11.71	10.78	11.10	12.55	14.40	15.80	16.54	16.77	171.30	
RAD. EXTRATERRESTRE MENSUAL	RMM	518.63	455.56	471.51	403.20	363.01	323.40	344.10	389.05	432.00	489.80	496.20	519.87	5206.33	
INDICE POR MES	RSM	228.25	241.87	260.61	240.07	231.16	208.21	217.80	239.28	255.35	289.23	288.39	279.64	2979.86	
EVAPOTRANSPIRACION (mm/mes)	ETo	103.88	110.75	118.61	105.12	91.08	75.56	77.95	92.15	106.99	128.74	130.45	128.04	1269.32	
EVAPOTRANSPIRACION (mm/dia)	ETo	3.35	3.96	3.83	3.50	2.94	2.52	2.51	2.97	3.57	4.15	4.35	4.13	41.78	

Fuente: elaboración propia

La evapotranspiración calculada (Tabla 22) alcanza valores elevados a comparación de la precipitación, sobre todo en época de estiaje (abril a noviembre), cuando las lluvias hayan pasado o no han venido con fuerza todavía. Es así que, para la zona de Ayaviri, hay una diferencia notable de la precipitación con respecto de la evapotranspiración anual de 704.04 a 1269.32, tal como se muestra en la Tablas 22 y 23; y su respectiva gráfica (Figura 39).

Tabla 22. Balance hídrico a nivel atmosférico y resultados obtenidos

INTERCUENCIA AYAVIRI	ALTURA	3906 msnm	Latitud			:	14.870 S								
VARIABLE	EXPRES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	%
PRECIPITACION	Pm	145.60	129.71	118.67	41.14	9.02	5.99	4.03	8.87	15.07	36.32	72.72	117.50	704.64	
EVAPOTRANSPIRACION	ETo	103.88	110.75	118.61	105.12	91.08	75.56	77.95	92.15	106.99	128.74	130.45	128.04	1269.32	
EXCESO (mm)		41.72	18.96	0.06										60.67	8.61
DÉFISIT (mm)					63.98	82.06	69.57	73.92	83.28	91.92	92.42	57.72	10.54	625.42	88.76

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Relación precipitación vs evapotranspiración para la intercuenca Ayaviri

EVENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MED. ANUAL
PRECIPIIT	145.60	129.71	118.67	41.14	9.02	5.99	4.03	8.87	15.07	36.32	72.72	117.50	704.64
EVAPOTR	103.88	110.75	118.61	105.12	91.08	75.56	77.95	92.15	106.99	128.74	130.45	128.04	1269.32

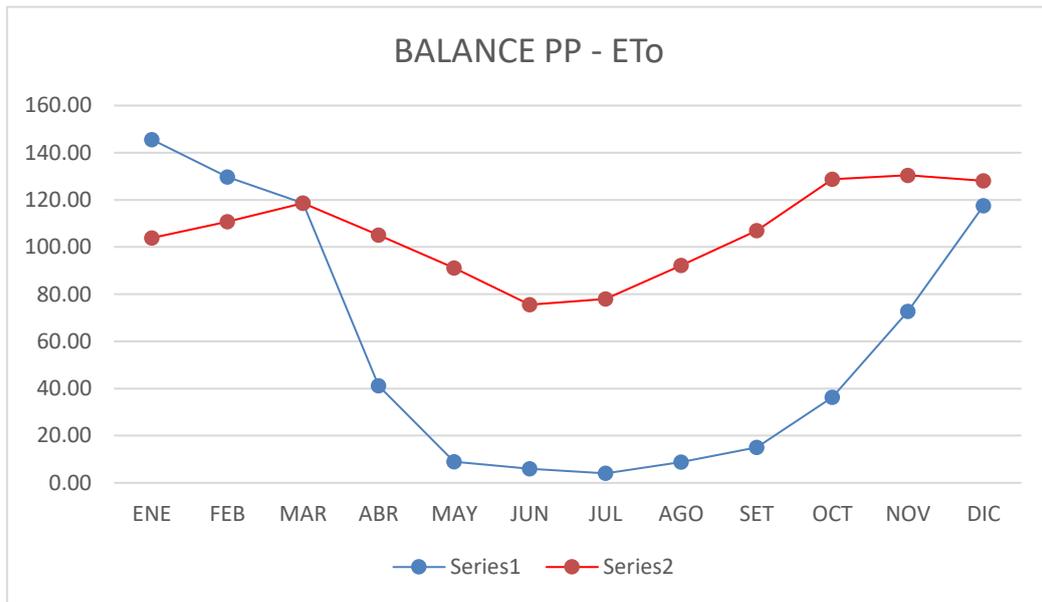
Fuente: elaboración propia



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 39. Diagrama precipitación vs evapotranspiración para la intercuenca Ayaviri



Fuente: elaboración propia



## CAPITULO V HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. HIDROMETRÍA

#### 5.1.1. Equipos y materiales

Los equipos utilizados para la recolección de la información de las aguas subterráneas son principalmente el *multiparámetro* para analizar las propiedades fisicoquímicas (pH, T°, TDS, conductividad eléctrica, etc) de las aguas termales IN SITU, el *correntómetro* para determinar su caudal, y unos *envases especiales de vidrio* para la toma de muestras de agua destinados para su análisis en laboratorio químico.

#### 5.1.2. Inventario de fuentes de agua termal del balneario Pojpoquilla

Las surgencias evidentes de las aguas termales están en el Balneario mismo de Pojpoquilla y la surgencia reciente e inesperada en el canal del Colegio Mariano Melgar de Ayaviri (ver MAPA N°10: HIDROGEOLOGÍA).

#### 5.1.3. Régimen y comportamiento de las fuentes geotermales

El comportamiento de la surgencia de las Aguas Termominerales Pojpoquilla, estaba caracterizado por presentar un régimen constante de caudal de producción de 12 l/s durante todo el año, hasta los descensos registrados en los últimos 5 años.

#### 5.1.4. Medición de caudal de producción del agua geotermal

De la información recopilada, se tiene el caudal que se aforo en una visita anterior, siendo este de 1036 m<sup>3</sup>/día o 12 Lts./seg., con un promedio de 378432 m<sup>3</sup>/año. Ahora en lo que respecta al caudal que sale en el canal del colegio Mariano Melgar, se llegó a determinar el mismo, por medio de aforo por sección en la salida del mismo canal, como puede apreciarse en la Figura 40.



*Figura 40. Canal de salida derivada del colegio Mariano Melgar*



*Fuente: elaboración propia*

## 5.2. HIDRODINÁMICA

La hidrodinámica del agua subterránea, está condicionada por un sistema dual, de doble porosidad, teniendo una porosidad primaria y otra secundaria, esto por los conductos que se originan por la acción del agua a temperatura y la disolución de los minerales que se transportan. Los valores de permeabilidad se indica como un valor predominante en la hidráulica del acuífero que alimenta al área de estudio y su relación con la fuente que se encuentra en el canal del colegio.

### 5.2.1. Equipo y materiales

Para ello fue necesario hacer determinar los niveles freáticos con piezómetros elaborados, y pruebas de infiltración para determinar la red de flujo del agua subsuperficial en el acuífero aluvial que rodea el Balneario. También caracterizar la porosidad y conductividad hidráulica del acuífero fisurado volcanosedimentario de



Tinajani, productor de las aguas termales.

### 5.2.2. Parámetros hidrogeológicos (porosidad y permeabilidad)

#### 5.2.2.1. Porosidad

Para la porosidad, como se indicó antes, se tiene un modelo dual, donde existe una porosidad secundaria, relacionada con los conductos hidrotermales, donde los valores son de 20 a 30%. También se ha empleado valores referenciales de porosidad, que se muestran en la Tabla 24.

*Tabla 24. Valores estimados de la porosidad (%)*

<b>Tipo de suelo/Litología</b>	<b>Porosidad total</b>	<b>Porosidad eficaz</b>
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 fracturada/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)*

#### 5.2.2.2. Permeabilidad

En cuanto a la permeabilidad, se debe indicar como factor a la porosidad primaria y secundaria. Esto por los conductos hidrotermales que vienen de profundidad a superficie, por la acción del origen magmático, correspondiendo muy probablemente a fuentes de recarga de fallas transversales a la falla de Ayaviri, que hacen como conductos de recarga. Por lo que se puede afirmar que el comportamiento es un sistema mixto, como se indicó en el apartado del marco teórico. Para ello también se ha tomado como referencia la Tabla 25.



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Tabla 25. Valores estimados de la conductividad hidráulica (metros/día)*

		<b>Domenico</b>	<b>Smith &amp; W</b>	<b>Freeze</b>	<b>Fetter</b>	<b>Sanders</b>
Sedimentos	Grava	25 a 2500	100 a 10 <sup>5</sup>	100 a 10 <sup>6</sup>	10 a 1000	
	Grava con arena					
	Arena gruesa	0,1 a 500	0,01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	Arena media	0,1a 50				
	Arena fina	0,02a 20			0,01 a 1	0,01 a 1
	Arena arcillosa			0,01 a 100	0,001 a 0,1	
	Silt, loess	10 <sup>-4</sup> a 2	10 <sup>-4</sup> a 1	10 <sup>-4</sup> a 1	0,001 a 0,1	10 <sup>-4</sup> a 1
	Arcilla	10 <sup>-6</sup> a 4*10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>
	Arcilla marina inalterada	10 <sup>-7</sup> a 2*10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-11</sup> a 10 <sup>-7</sup>		
<hr/>						
Rocas Sedimentarias	Calizas carstificadas	0,1 a 2000	0,05 a 0,5	0,1 a 1000		0,1 a 10 <sup>7</sup>
	Calizas, dolomías	10 <sup>-4</sup> a 0,5	0,001 a 0,5	10 <sup>-4</sup> a 1		10 <sup>-4</sup> a 1
	Areniscas	3*10 <sup>-5</sup> a 0,5	10 <sup>-5</sup> a 1	10 <sup>-5</sup> a 1		
	Argilitas (siltstone)	10 <sup>-6</sup> a 0,001				
	Pizarras sedimentarias (Shale) intactas	10 <sup>-9</sup> a 2*10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-8</sup>		10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-8</sup>
	Pizarras sed.(Shale) fracturadas/alteradas		10 <sup>-4</sup> a 1			
<hr/>						
Rocas cristalinas	Basalto inalterado, sin fracturar		10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>			10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>
	Basalto fracturado/vesicular cuaternario		10 a 1000			0,1 a 10 <sup>6</sup>
	Escorias basálticas		0,001 a 1000			
	Basalto permeable	0,03 s 2000		0,02 a 1000		
	Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup>		10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-5</sup>
	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0,001 a 25	10 <sup>-5</sup> a 1	0,0005 a 20		10 <sup>-5</sup> a 1
	Granito alterado	0,3 a 5				
	Gabro alterado	0,05 a 0,3				

*Fuente: (Sanders, 1998)*

Llegando a dar una permeabilidad que varía entre 36 a 85 m/día, correspondiente al de la poza geotermal, siendo 120 a 310 m/día, en la zona que está en el canal del colegio Mariano Melgar.

### **5.2.3. Dirección de flujo de aguas subterráneas**

La permeabilidad y porosidad, muestran el fácil paso (ver Figura 41) y salida del agua termal, en dirección ascendente, puesto que el acuífero es un sistema confinado, que viene de origen magmático, a través de los conductos se tiene la definición de oquedades por causa de la disolución y acción de los gases CO<sub>2</sub> y CO. Para el caso del área de

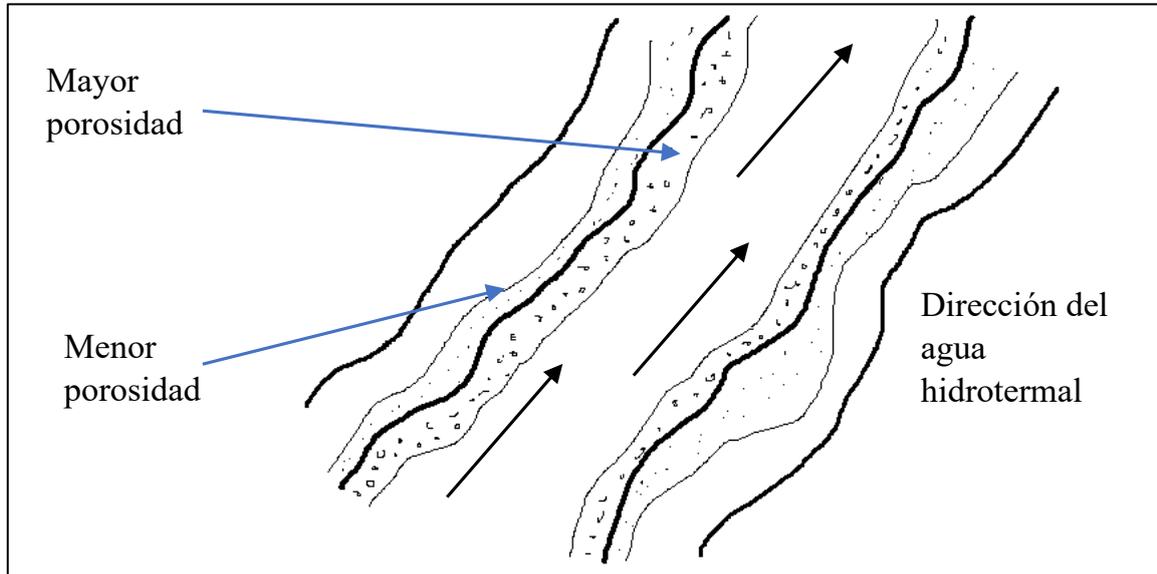


## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



estudio, la poza geotermal, la Formación Tinajani hace se techo para el afloramiento del agua subterránea.

Figura 41. Esquema de los conductos de agua hidrotermal



Fuente: elaboración propia

Lo que respecta al caudal que se debe recuperar en la poza geotermal, se tiene los aforos registrados en el canal del colegio Mariano Melgar, muestra una posible fuga, a través del conducto que se ubica por ese sector, pero podría estar indicando que existe algún tipo de taponamiento en el ramal principal del conducto hidrotermal, que se tiene a profundidad, los valores de permeabilidad y porosidad se dan por la toma de muestras, indicativas de hidrotermalismo por conductos, como se muestran en la Figura 42a, Figura 42b, Figura 43a y Figura 43b.

Figura 42. Muestras que evidencia el hidrotermalismo por conductos



Fuente: elaboración propia

Figura 43. Bloque de pared y pared del conducto hidrotermal



Fuente: elaboración propia

#### 5.2.4. Origen de las aguas geotermales

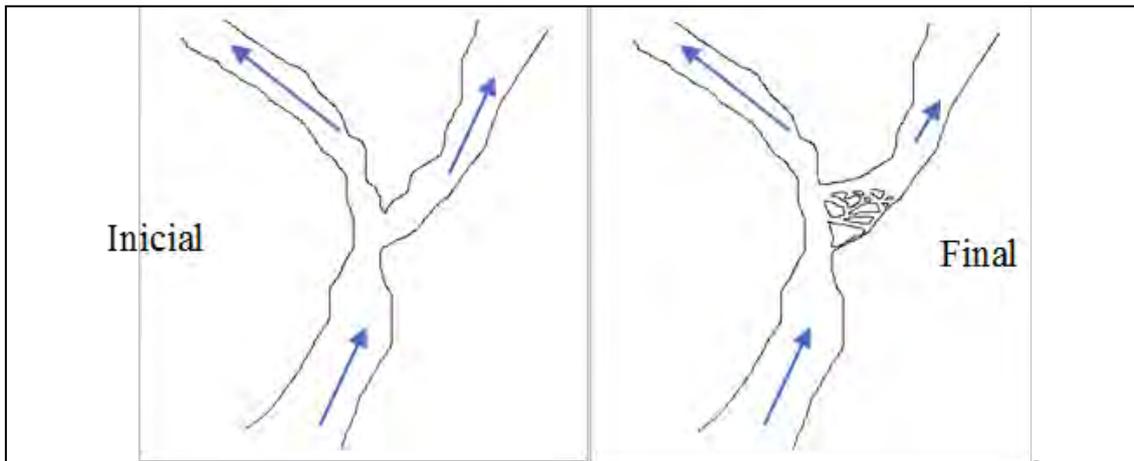
Como se indicó antes, una de las posibles causas para que el volumen del caudal de la poza geotermal, haya disminuido, es el efecto de un sismo que causo que una de las paredes en el conducto hidrotermal, cediera y muy posiblemente haya taponado con medianos a pequeños escombros, este conducto, y por ende, por la presión que se generó al no tener una zona de menor presión para salir, tuvo un desvío a la zona donde se encuentra el colegio Mariano Melgar, lo que esto pudo detonar al momento de hacer cortes o drenes de profundidad mayor a 15 mts, se haya liberado esta presión en el



conducto de ese sector. Por tal motivo el caudal y demás parámetros físico químicos, dieron su disminución en la poza.

Lo cual lleva ahora, a indicar como posiblemente este el conducto en la actualidad, esto puede verse en la Figura 44.

*Figura 44. Estados inicial y final del conducto principal del acuífero*



*Fuente: elaboración propia*

Con este marco de hipótesis inicial entonces, podemos decir que, para corregir y recuperar un caudal deseable para la operación del balneario, se debería liberar presión en el conducto que se encuentra en la poza geotermal. Puesto que el agua subterránea que alimenta los dos ramales, proviene de la misma fuente, que se muestra como magmática.

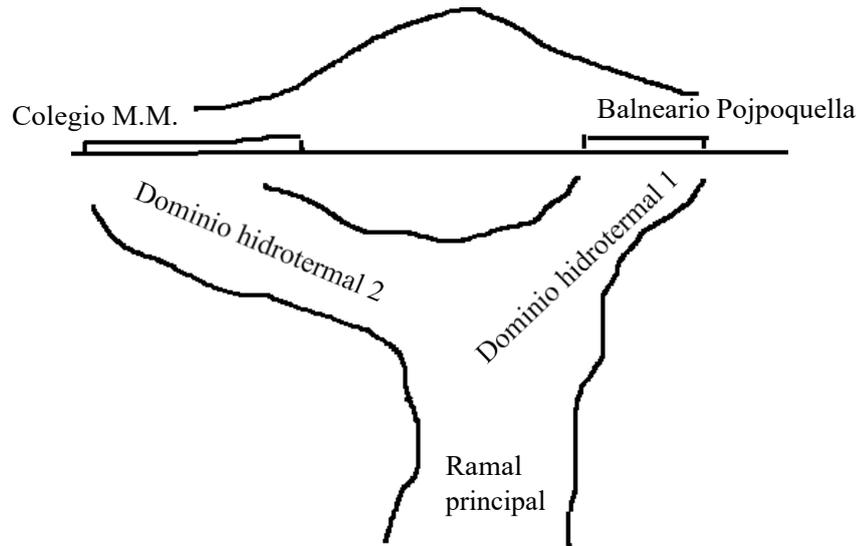
### **5.2.5. Situación de la poza termal**

Para el procedimiento de liberación de presión en el conducto, la poza tiene una depresión ubicada aproximadamente en el centro de la piscina, que llega a 8 mts, lo cual indica la no adecuada circulación del agua subterránea a través del ramal, por ende, entonces se tiene que profundizar a la distancia de 32 a 35 mts, profundidad que se encuentra el conducto o ramal hidrotermal.

La ubicación en planta y sección de estos ramales con respecto a la zona de estudio se indica en la Figura 45 y la Figura 46.

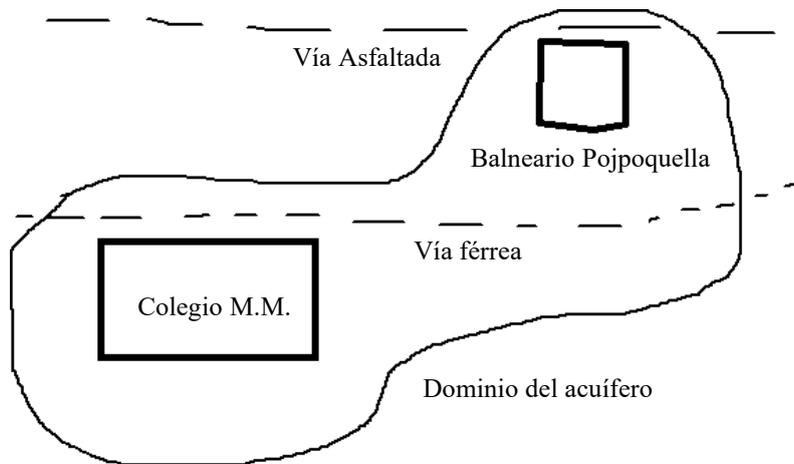


*Figura 45. Configuración del acuífero profundo, naturaleza confinada, vista en sección*



*Fuente: elaboración propia*

*Figura 46. Configuración del acuífero profundo, naturaleza confinada, vista en planta*



*Fuente: elaboración propia*

### **5.3. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

#### **5.3.1. Identificación de unidades hidrogeológicas**

La permeabilidad y porosidad, muestran el fácil paso y salida del agua termal, en dirección ascendente, puesto que el acuífero es un sistema confinado, que viene de origen magmático, a través de los conductos se tiene la definición de oquedades por causa de la



disolución y acción de los gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ . Para el caso del área de estudio, la poza geotermal, la Formación Tinajani hace se techo para el afloramiento del agua subterránea.

### **5.3.2. Clasificación de acuífero por profundidad y confinamiento**

En el área de estudio, se tienen 2 tipos de acuíferos bien definidos (ver MAPA N° 10: HIDROGEOLOGÍA) (acuífero aluvial libre y acuífero semiconfinado Tinajani), y un tercero que no está muy claro (acuífero de origen magmático). El primero, está relacionados a acuíferos superficiales a poco profundos, y el segundo está relacionado a acuíferos semi-profundos a profundos.

#### **5.3.2.1. Acuíferos libres poco-profundos**

##### **➤ Acuífero libre poco profundo (aluvial)**

Los depósitos aluviales del llano Ayaviri también son como reservorio que almacenan las aguas subterráneas provenientes de la infiltración y percolación de las aguas pluviales. Cuya red de flujo corresponde a flujos locales con recarga y descarga local.

Los datos indican que las fuentes poco profundas tienen interacción con los conductos de las aguas que tienen una temperatura elevada.

#### **5.3.2.2. Acuíferos confinados confinados semi-profundos a profundos**

##### **➤ Acuífero semiconfinado de Tinajani**

Los acuíferos semi-profundos a profundos son de tipo semiconfinado a confinado. Cuya red de flujo es de tipo intermedio a regional. Estos tienen influencia de origen magmático, que son recargadas por fallas transversales a la falla Ayaviri.

En cuanto a la profundidad del acuífero, se debe indicar que este acuífero representa un sistema enorme de conductos que se distribuyen por debajo de los depósitos aluviales, que rodean a la ciudad de Ayaviri, donde el valor promedio de profundidad es



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

de 35 mts, siendo este acuífero de naturaleza confinada. Para los acuíferos poco profundos el nivel freático está cercano a la superficie, evidenciándose en las surgencias que se tienen en las construcciones de viviendas, por las cercanías donde está la zona de estudio.

### ➤ **Acuífero semiconfinado Kárstico de Puno (miembro 4)**

El grupo puno cuenta en el miembro superior componentes carbonatados, que son las calizas. Estas rocas son buenos almacenadoras y transmisores del agua subterránea del área del estudio.

### ➤ **Acuífero confinado del grupo Puno**

El acuífero pobre de Puno se extiende a profundidad, que tiene como techo las calizas del miembro 4. La profundidad es incierta, pero se sabe que el espesor del Grupo puno es potente.



## CAPITULO VI HIDROQUÍMICA

### 6.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal planteado en este capítulo es evaluar la naturaleza de los afloramientos de agua, su posible origen geoquímico, así como la interacción de las aguas subterráneas con los materiales del entorno. Para ello en la zona de estudio se ha muestreado 2 fuentes de aguas subterráneas (agua termal) para su análisis fisicoquímico en laboratorio. Adicionalmente en las estaciones de muestreo se midieron in situ los parámetros físico-químicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica, ODS) con un equipo portátil (multiparámetro).

### 6.2. MUESTREO DE AGUAS TERMALES DEL BALNEARIOPOJPOQUELLA

#### 6.2.1. Equipo y materiales

- **Para análisis IN SITU**

Para la toma de parámetros en campo, se utilizó un equipo multiparámetro de marca HACH de modelo HQ40d (ver Figura 47a y Figura 47b). Este equipo, se calibró utilizando sus respectivos estándares y siguiendo las indicaciones del fabricante.

- **Para análisis LABORATORIO**

**Equipo de análisis de laboratorio LAQ (UNSAAC)**

#### 6.2.2. Selección de la serie analítica

La gran variedad de componentes y características físico-químicas del agua subterránea natural, exige su clasificación en grupos, para tener una información sistemática y sencilla sobre la composición química del agua, y visualizar en mapas.



Figura 47. Equipo multiparámetro HQ40d



Fuente: elaboración propia

La revisión visual de las facies predominantes en las muestras de agua se basa en la elaboración de un mapa hidroquímico, que se muestra a través del diagrama de Stiff, la predominancia de las aguas subterráneas que se encuentran en la zona de estudio.

### 6.3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA TERMAL

#### 6.3.1. pH

La medición del pH, se realizó in situ, durante la campaña de campo marzo del 2021, en cada fuente muestreada con el equipo portátil. En general, los valores muestran una tendencia neutra con valores entre 6.78 y 7.24, considerando que no existe acidez, ni alcalinidad en las muestras de agua.



### 6.3.2. Temperatura

Los valores de temperaturas en el agua subterránea están relacionados a la profundidad de circulación que tiene el agua en su recorrido. Las fuentes cuyos valores son superiores a 20 °C, en lugares fríos y las que superan en 4°C la temperatura del ambiente, en lugares cálidos, se consideran fuentes termales.

Las fuentes inventariadas en el presente estudio varían desde los 26.5 °C a los 35.6 °C (temperatura del agua del canal del colegio y de los baños termales respectivamente).

### 6.3.3. Conductividad eléctrica

De acuerdo a los estudios hidrogeológicos realizados por INGEMMET en las diferentes cuencas hidrográficas del Perú, se evidencia que los valores habituales de conductividad eléctrica para aguas subterráneas en zonas continentales (alejadas de la línea de costa) oscilan entre 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Las estaciones inventariadas presentan un valor normal de flujos que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios semi-profundos a profundos. Para la muestra de la Poza geotermal la conductividad eléctrica varía desde 12.38 mS/cm a 12.43 mS/cm; y para la muestra del colegio Mariano Melgar, se observa una ligera disminución de 11.32 mS/cm a 11.52 mS/cm.

### 6.3.4. Oxígeno disuelto

Este parámetro indica la cercanía a las fuentes superficiales y su contacto con aguas subterráneas poco profundas, como de acuíferos libres, donde el nivel freático es a pocos metros. Las lecturas obtenidas para la poza termal, oscilaban entre 0.22 mg/l a 0.39 mg/l y para el canal del colegio entre 2.10 mg/l y 2.12 mg/l. Esto da un indicio de que las aguas que emergen en la zona del colegio tienen contacto e interacción con los acuíferos libres poco profundos, que están contenidos en los depósitos aluviales, en los alrededores de la ciudad de Ayaviri.



### 6.3.5. Propiedades organolépticas

- ✓ Aspecto: Ligero Amarillo Transparente.
- ✓ Color: Difuso Transparente.
- ✓ Olor: Ácido Sulfhídrico. (inofensivos)
- ✓ Sabor: Salado. (inofensivos)

## 6.4. FACIES HIDROQUÍMICAS (DIAGRAMAS STIFF)

### 6.4.1. Programa Aquachem

El predominio de las facies hidroquímicas se ha calculado usando el software Aquachem, que a su vez ha permitido generar un mapa hidroquímico que represente los valores y el predominio de los elementos químicos mayoritarios.

Para establecer comparaciones entre los elementos predominantes se ha plotado los puntos en el diagrama de Stiff, los cuales han permitido visualizar los resultados químicos de las aguas sobre un mapa hidroquímico.

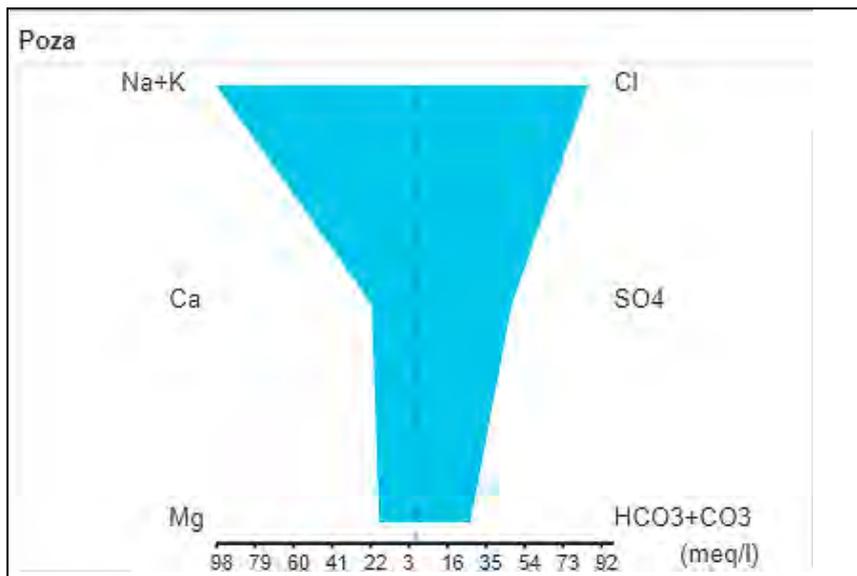
### 6.4.2. Diagramas Stiff

Son representaciones gráficas, que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, facilitando su clasificación.

Teniendo como base, el mapa de inventario de fuentes, se ha evaluado las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios en el agua, como los cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{K}^{+}$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^{-}$ ). A continuación, en la Figura 48 y la Figura 49, se muestran los diagramas obtenidos para las dos estaciones de muestreo.

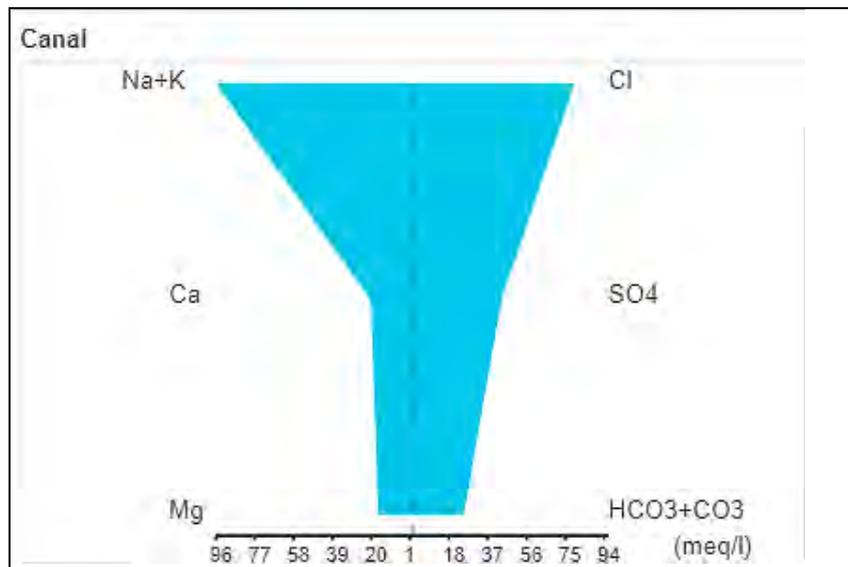


Figura 48. Diagrama Stiff de las aguas de la poza geotermal



Fuente: elaboración propia

Figura 49. Diagrama Stiff de las aguas del canal del colegio Mariano Melgar



Fuente: elaboración propia

### 6.4.3. Interpretación

La predominancia de las muestras, nos indica una predominancia sódico clorurada (Na/K-Cl-), lo que correspondería a una misma fuente de origen. Siendo los valores del canal (Colegio Mariano Melgar), ligeramente menores del que se tiene en la poza



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**

geotermal. Estos resultados también indican que las aguas que emergen en el canal del colegio, tienen interacción con aguas subterráneas poco profundas. Por otra parte, el contenido considerable de cloro, es un indicativo de que las aguas que salen en la poza geotermal, hacen un recorrido meso a epitermal. Lo que evidencia el sistema mixto que se encuentra en la falla de Ayaviri, que sirve como conducto para que los gases CO<sub>2</sub>, vapor de agua viajen por fallas transversales.

**6.5. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA TERMAL**

**6.5.1. Análisis físico-químico y biológico del agua termal**

Es fundamental conocer las propiedades del agua termal en estudio, para ver si ha variado con en el tiempo, y cómo. Es por ello para esta investigación, se ha recopilado cuatro resultados del análisis físico-químico, así como bacteriológico de las aguas del balneario Pojpoquilla. El primero es del año 2001, que fue hecho por INGEMET, como parte del estudio denominado “Aguas termales y minerales en el suroriente del Perú”. Luego se cuenta con dos resultados de laboratorio biológico y físico-químico de prestigio, en el año 2019 y 2020. Y finalmente se ha vuelto a analizar las propiedades del agua en el Laboratorio químico (LAQ) de la UNSAAC en el año 2021. A continuación, se tiene los resultados obtenidos por INGEMET en las Tablas 26, 27 y 28.

*Tabla 26. Características físicas del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001*

Caudal (l/s)	Parámetros físico-químicas			Gases	Tipo de agua
	Temp. (°C)	pH	Cond. Electr. (uS/cm)		
20	36	6.4	400	H <sub>2</sub> O,CO <sub>2</sub>	Termomineral

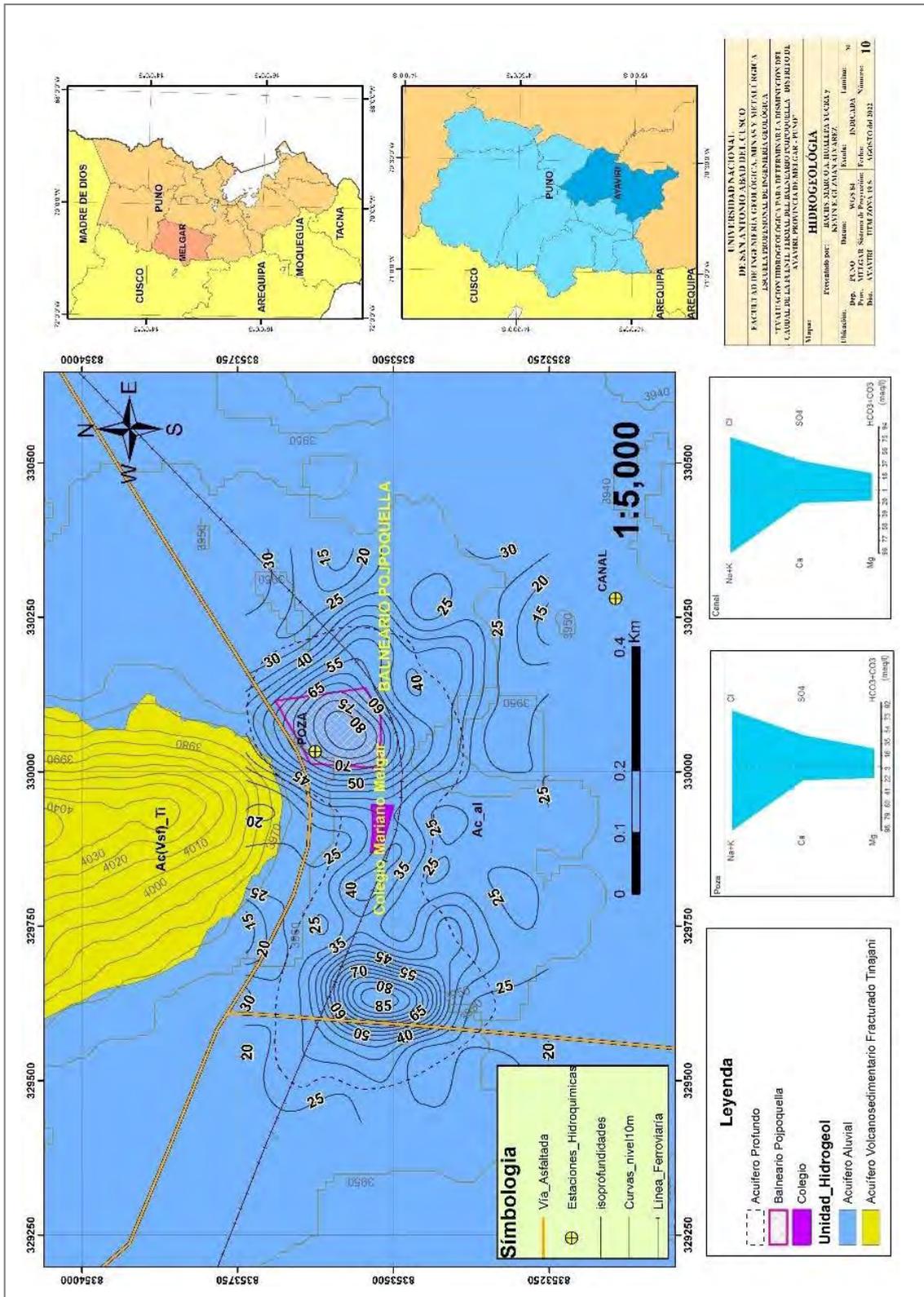
*Fuente: (Huamani, 2001)*



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## MAPA N°10: HIDROGEOLOGÍA





# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Tabla 27. Elementos químicos metálicos del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001

Au g/TM	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Li (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Al (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Co (ppm)	Cd (ppm)	Si (%)
<0,01	8	23,7	3	<0,5	5.926	<0,02	30	0,71	799	423,4	2996	84	<1,0	1,0	0.84

Fuente: (Huamaní, 2001)

Tabla 28. Elementos químicos y minerales del agua termal Pojpoquilla por INGEMET 2001

PARÁMETROS QUÍMICOS (mg/l)																		
Na	K	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3	Fe	Mn	Hg	As	Sr	Ba	Al	Li	Br	Cs	Rb
2124	67	396	133	908.4	2956	934.3	<0.1	0.15	0.48	<0.000	7.52	8.8	<=0.1	<0.2	11.4	15.18	1.44	0.46
HCO3 (Ca+Mg) (Cl+SO4)		Cl/Li	Na/Li	Br/Li	Cl/SO4	CLASIFICACION DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS						MINERALIZACIÓN (mg/l)						
0.23		0.24	259.3	186.3	0.0051	3.16	Clorurado-sódica						7564.13					

Fuente: (Huamaní, 2001)

También se tiene resultados de las propiedades del agua termal hechas por dos laboratorios de prestigio nacional, los cuales se muestran en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29. Análisis bacteriológico y físico-químico del agua Pojpoquilla por LABORATORIOS

Cerper DEL PERU - LIMA

ANALISIS MICROBIOLÓGICO	
Aerobios Mesófilos	100 ufc/ml
Coliformes totales	8 NMP/100ml
Coliformes fecales	2 NMP/100ml
ANALISIS BIOLÓGICO	
Algas	Familias: Oscillatoria spp Phormidium spp
ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO	
T°	36.2 °C
Color	3 U. C.
Nitritos	< 0.01mg/l
Cobre	< 0.06mg/l
Zinc	< 0.01mg/l
Plomo	< 0.05 mg/l
Nitratos	< 1mg/l
Arsénico	1.43 mg/l
Cianuros	0.006
Sulfuros	<1
Sólidos Totales	8530 mg/l
Cadmio	0.016
Mercurio	0.057 ppm
Dureza Total	1653,56 mg/l

Fuente: (Sociedad de Beneficiencia Pública Melgar Ayaviri, 2020)



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Tabla 30. Análisis biológico y químico del agua Pojpoquilla por Laboratorio INCAL –Arequipa  
2019*

<b>ANÁLISIS BIOLÓGICOS</b>			
ANALISIS AGUA POJPOQUELLA			
Algas	Familias: Oscillatoria spp Phormidium spp		
<b>ANÁLISIS QUÍMICOS</b>			
ANALISIS AGUA POJPOQUELLA			
Color	3 U. C.	Color	3 U. C.
Ag mg/L	Menor 0.0024	Cd mg/L	Menor 0.00011
Al mg/L	0.076	Co mg/L	Menor 0.000094
As mg/L	9.787	Cr mg/L	Menor 0.00039
B mg/L	78.42	Cu mg/L	Menor 0.002
Ba mg/L	0.02784	Fe mg/L	0.705
Be mg/L	0.000321	Hg mg/L	Menor 0.00041
Ca mg/L	Mayor 250	Pb mg/L	0.0315
K mg/L	76.7	Sb mg/L	Menor 0.00049
Li mg/L	10.839	Se mg/L	Menor 0.002
Mg mg/L	136.3	SiO <sub>2</sub> mg/L	58.91
Mn mg/L	0.40843	Sn mg/L	0.02698
Mo mg/L	0.00427	Sr mg/L	10.32
Na mg/L	Mayor 1250	Ti mg/L	0.00638
Ni mg/L	0.00351	V mg/L	0.00115
P mg/L	0.0349	Zn mg/L	Menor 0.0031

*Fuente: (Sociedad de Beneficiencia Pública Melgar Ayaviri, 2020)*

Finalmente se cuenta con resultados de laboratorio de Química de la UNSAAC, cuyos resultados se muestran en las Tablas 31 y 32, tomados de dos surgencias, de la poza termal Pojpoquilla y del canal del Colegio Mariano Melgar. En los mismos también se tomó las propiedades fisicoquímicas INSITU con multiparámetro, cuyos resultados se muestran en la Tabla 33.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Tabla 31. Análisis Físico-químico de las aguas de la poza Pojpoquilla por LAQ, UNSAAC-2021

COMPOSICIÓN		VALOR
pH		7.05
C.E.	(mS/cm)	11.70
Dureza CaCO <sub>3</sub>	(ppm)	1950.00
Ca	(ppm)	418.00
Mg	(ppm)	207.00
Na	(ppm)	1985.00
K	ppm)	433.00
Cloruros	(ppm)	2975.00
Sulfatos	(ppm)	2262.00
Bicarbonatos	(ppm)	1632.00
Carbonatos	(ppm)	0.00
Fe	(ppm)	32.20
B	(ppm)	1.22
Sales solubles totales	(ppm)	11964.40

Fuente: elaboración propia (en base a resultados LAQ. UNSAAC)

Tabla 32. Análisis Físico-químico de las aguas del canal del Colegio M.M. por LAQ, UNSAAC-2021

COMPOSICIÓN		VALOR
pH		6.76
C.E.	(mS/cm)	10.71
Dureza CaCO <sub>3</sub>	(ppm)	1825.20
Ca	(ppm)	394.50
Mg	(ppm)	191.70
Na	(ppm)	1952.20
K	(ppm)	406.40
Cloruros	(ppm)	2762.20
Sulfatos	(ppm)	2076.90
Bicarbonatos	(ppm)	1512.30
Carbonatos	(ppm)	0.00
Fe	(ppm)	28.50
B	(ppm)	1.10
Sales solubles totales	(ppm)	10917.20

Fuente: elaboración propia (en base a resultados LAQ. UNSAAC)



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Tabla 33. Propiedades Físico-químicas INSITU del agua Pojpoquilla y Canal del Colegio*

*M.M. 2021*

<b>PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS</b>		
<b>PARAMETRO</b>	<b>Poza termal</b>	<b>Canal del Colegio M.M.</b>
pH	7.24	6.78
Temperatura (°C)	35.6	26.5
Conduct. eléctrica (mS/cm)	12.41	11.42
Oxígeno disuelto (mg/l)	0.22 - 0.39	2.10 - 2.12
<b>PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS</b>		
Aspecto	Ligero Amarillo Transparente.	
Color	Difuso Transparente	
Olor	Ácido Sulhídrico. (inofensivos)	
Sabor	Salado. (inofensivos)	

*Fuente: Elaboración propia*

### **6.5.2. Análisis de resultados**

#### **a). Alteración de las propiedades del agua termal**

Por la comparación de los resultados de laboratorio del agua termal de varios años, en cuanto a sus propiedades Físicas, Químicas y Físico-químicas, antes y después del año 2016 los cambios no son notorios, como:

- Ligera disminución de la temperatura de 36 – 36.2 °C a 35.6 °C, con el consiguiente aumento ligero del pH de 6.4 por encima de 7, evidencia de que disminuyo la fuerza del flujo ascendente hidrotermal.
- La dureza es bastante elevada, aumento un tanto de 1653,56 mg/l a 1950 mg/l o ppm, prueba de que los acuíferos carbonatados del Grupo Puno tienen mayor aporte al sistema termal. En tanto que la mineralización que también es elevado (7564.13 mg/l), se mantiene, caso parecido las otras propiedades.

En resumen, si hubo ligero cambio de las propiedades fisicoquímicas del agua termal.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



### **b). Relación de las aguas surgentes del Balneario Pojpoquilla y del canal del Colegio**

#### **Mariano Melgar.**

La comparación de los resultados de las muestras analizadas de las aguas de la fuente termal Pojpoquilla y la surgencia reciente en el canal del colegio referido, arrojan una similitud aproximada, como:

- Una pH 6.77 para el colegio y 7.14 para el balneario,
- una temperatura de 35.6 °C para el balneario y 26.5 °C para el colegio.

El cual indica que el agua termal que emerge del colegio, interactúa con los acuíferos poco profundos, por lo que la temperatura es más baja que la otra fuente. Las otras propiedades de ambas surgencias también son similares, lo que evidencia que comparten un origen común.

### **c). Sistema termal según los resultados del análisis de resultados de laboratorio**

Los resultados del análisis de laboratorio, muestran que el agua termal es de facie sódico-potásica clorurada, y sus propiedades organolépticas, la presencia de ácido sulfhídrico en el olor y color ligeramente amarillento, es un claro indicativo de que es alimentado por rocas calientes a profundidad, que muy posiblemente es recargada por agua que se infiltra por fallas transversales a la falla de Ayaviri.



## CAPITULO VII PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

### 7.1. MÉTODO GEOELÉCTRICO (TOMOGRAFÍA

#### GEOELÉCTRICA-ERT)

##### 7.1.1. Equipo general de la tomografía geoeléctrica A.- Electroodos

Consta de 60 unidades de electrodos (aleación de hierro y cobre), donde la finalidad de estos es transmitir un voltaje hacia la profundidad de la corteza terrestre.

##### B.- Batería

Batería consta de variedad de voltaje 24v, 48v, 90v.

##### C.- Cables de conexiones

Cables de cobre que extendidos cubren hasta los 240 mts de distancia.

##### D.- Aditivos para el correcto uso del equipo

Agua con sal que aumenten la conductividad en los electrodos. Estos aditivos son recomendados en terrenos áridos y secos para que pueda ayudar a la conductividad.

##### E.- Otros instrumentos adicionales

Comba, alicates, voltímetros, guantes para seguridad, casco y lentes.

##### 7.1.1.1. DZD-6A - Sondeo Eléctrico Vertical

Puede utilizar solo como un estudio de resistividad convencional o metro IP y visualizar nueve matrices directamente. Además, puede mostrar las mediciones directamente en el voltaje de medición, la corriente de alimentación, resistividad aparente; así como más de catorce datos de celdas como combinado con la unidad de conmutación de multi-electrodo compacto, bajo consumo. En la Figura 50, se observa el modelo DZD-6A con funcionalidades para hallar SEV.



Figura 50. Interfaz de la pantalla modelo DZD-6A



Fuente: elaboración propia

### 7.1.1.2. DUK-2A - Tomografía Geoeléctrica

Es el equipo completo, con resistivimetro de múltiples electrodos, con un total de 60 a 120 electrodos. Para este estudio solo se dio el uso de los 60 electrodos y sistema de imagen IP, que consiste en una multifunción ohmios-metro, conjuntamente con el resistivimetro DZD-6A y un conmutador de multielectrodo (ver Figura 51).

El empleo de este método, está basado en el método de estudio de resistividad convencional y la tecnología en tomografía geoeléctrico en la prospección geofísico.

Figura 51. Interfaz de la pantalla modelo DZD-6A



Fuente: elaboración propia



## 7.2. UBICACIÓN DE LAS SECCIONES ERT

### 7.2.1. Trabajo en campo

En esta fase de trabajo, se procedió con el levantamiento de las secciones geoelectricas, siendo estas 5 en total (ver Tabla 34). Eligiendo para ello líneas adecuadas (priorizando cubrir el balneario Pojpoquilla), según el criterio y disponibilidad del terreno, para llegar a un correcto análisis e interpretación de los resultados (Ver MAPA N°11: LÍNEAS DE SECCIONES ERT).

Tabla 34. Secciones ERT levantadas en campo

Línea	Nombre	Longitud (m)
1	Sección AA'	314.62
2	Sección BB'	113.96
3	Sección CC'	148.07
4	Sección DD'	299.93
5	Sección EE'	142.62

Fuente: elaboración propia

Estas líneas de sección se pueden observar en las Figuras 52, 53, 54, 55 y 56.

Figura 52. Línea AA' - ERT



Fuente: elaboración propia



*Figura 53. Línea BB' - ERT*



*Fuente: elaboración propia*

*Figura 54. Línea CC' - ERT*



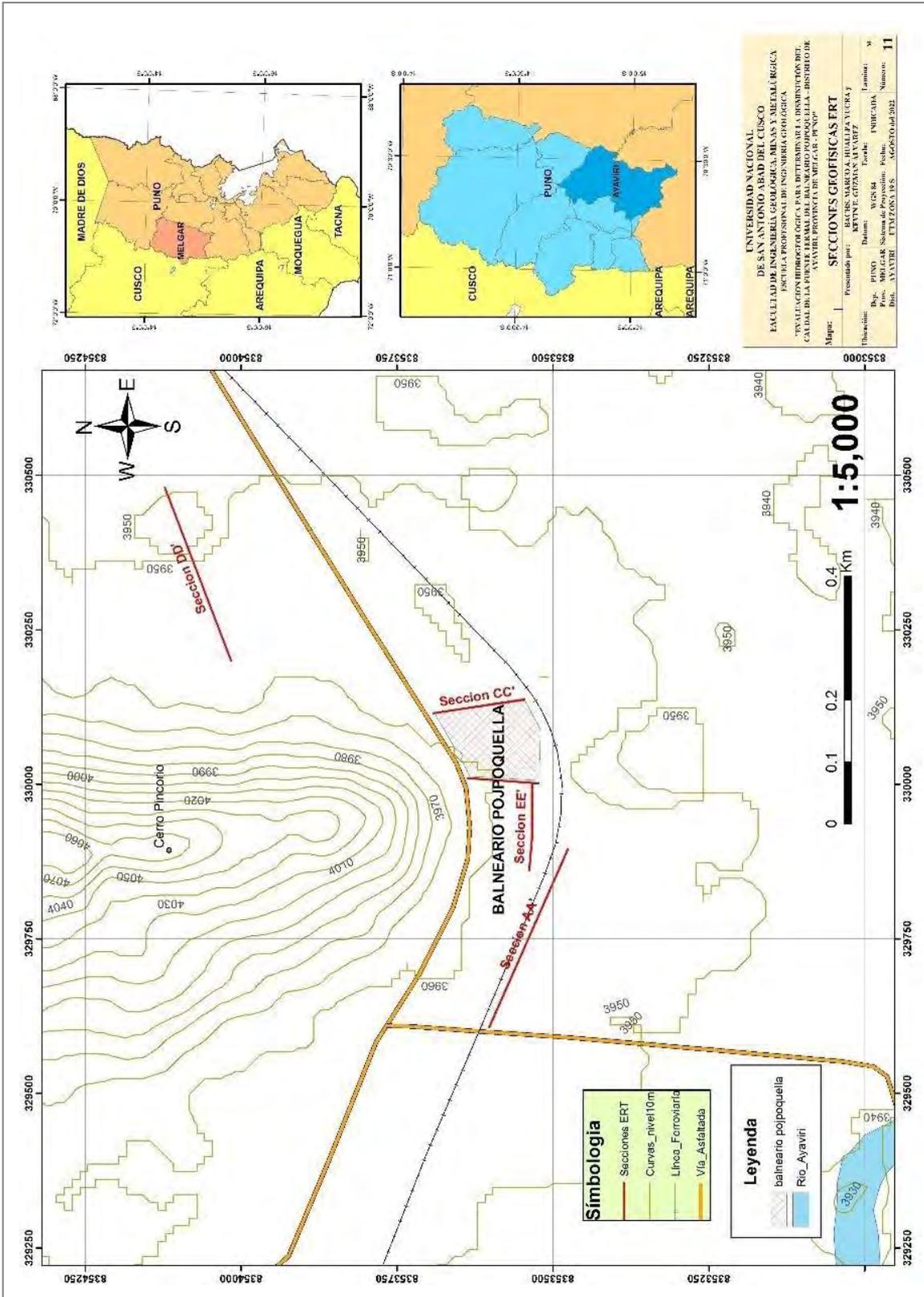
*Fuente: elaboración propia*



“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



MAPA N°11: SECCIONES GEOFISICAS ERT





**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Figura 55. Línea DD' - ERT*



*Fuente: elaboración propia*

*Figura 56. Línea EE' - ERT*



*Fuente: elaboración propia*



## 7.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS SECCIONES ERT

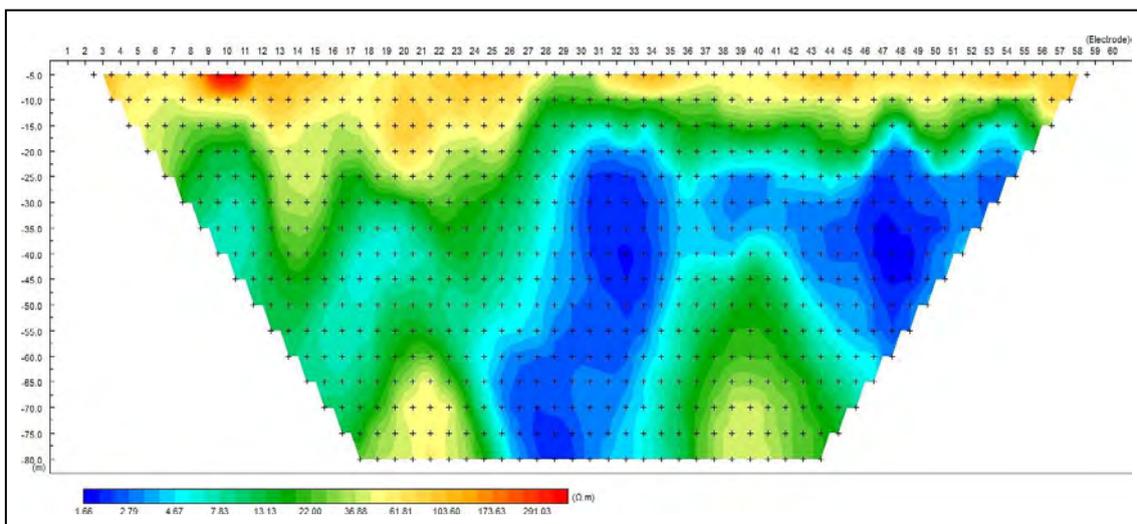
### 7.3.1. Sección AA'

El procesamiento de las secciones de tomografía eléctrica, mostro los siguientes resultados.

#### 7.3.1.1. Resultado

La muestra indica una resistencia de 1.66 a 291.03 Ohm.mts (ver Figura 57), lo cual estaría mostrando la profundidad y la naturaleza del acuífero hidrotermal. Siendo los valores más bajos representando al conducto del acuífero, este se corrobora con los afloramientos de roca caliza, en la vía férrea, cerca del colegio Mariano Melgar. Lo que nos lleva a la conclusión de que si, hiciéramos una perforación de 18 mts de profundidad en ese sector, conllevaría a la surgencia del agua subterránea. Por otra parte, se puede ver que la profundidad aún tiene una continuidad a más de 80 mts. El cual estaría llegando a uno de los ramales, que se tiene en profundidad de la cámara magmática.

Figura 57. Sección ERT AA' por método Wenner



Fuente: elaboración propia

#### 7.3.1.2. Interpretación

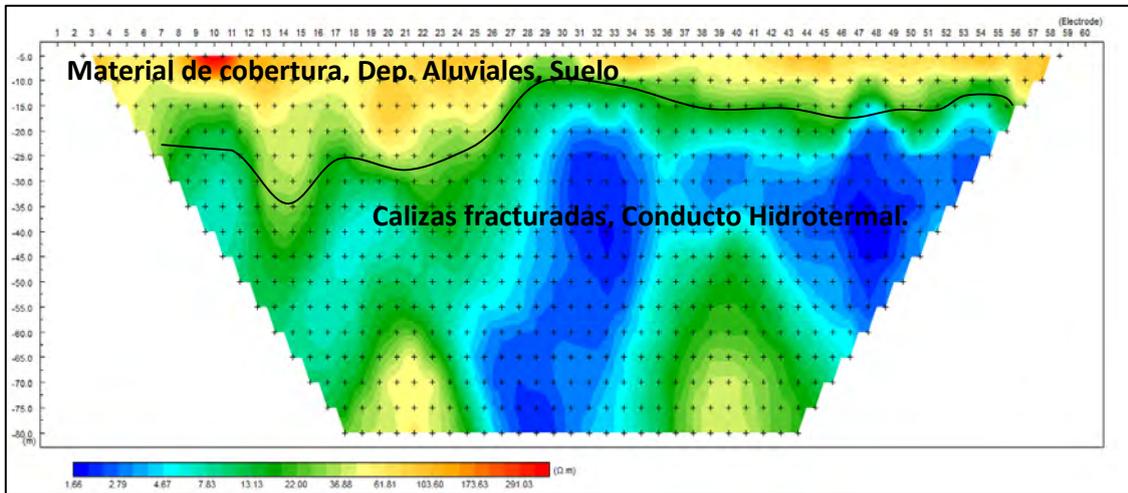
Se evidencia en efecto la presencia de material de cobertura en la parte superior,



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

correspondiendo a depósitos aluviales, suelo o vegetación, y a profundidades de 20 mts a más, se tienen las calizas, propiamente dicho el acuífero que contiene el agua subterránea (ver Figura 58).

Figura 58. Interpretación de la sección ERT AA'



Fuente: elaboración propia

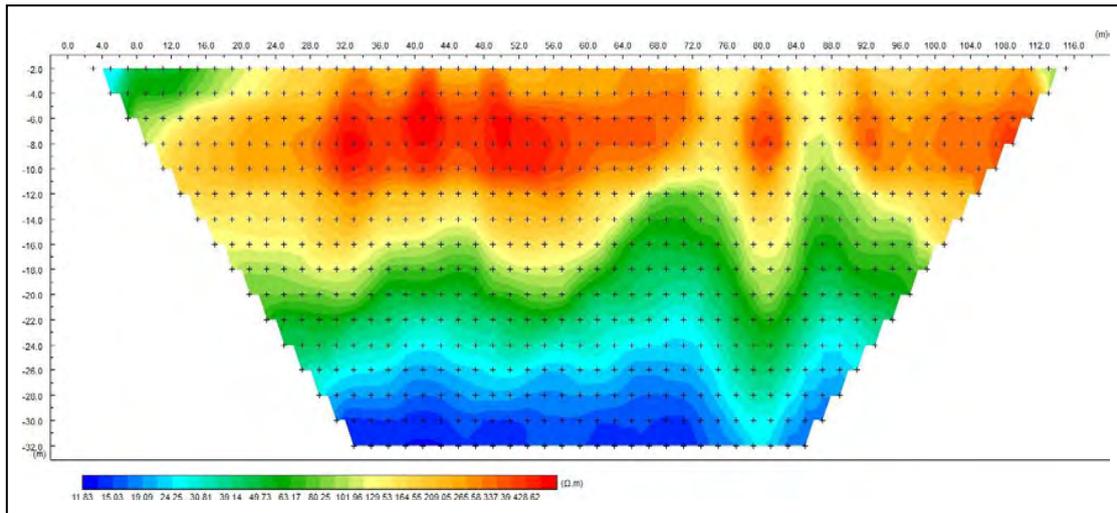
### 7.3.2. Sección BB'

#### 7.3.2.1.Resultado

La muestra indica una resistencia de 11.83 a 428.62 Ohm.mts (ver Figura 59), lo cual estaría mostrando una profundidad del acuífero de 32 mts. Siendo los valores más bajos representando al conducto del acuífero, corroborándose con la sección anterior, indicando una posible conexión con el conducto que se observa cerca del colegio Mariano Melgar. Por otra parte, los valores de mayor resistividad, corresponde a los depósitos de la formación Tinajani, sirviendo como sello al acuífero confinado, esto puede evidenciarse en la poza geotermal, además, se tiene una posible discontinuidad al borde derecho de la sección, posiblemente como indicativo de una falla local.



Figura 59. Sección ERT BB' por método Wenner

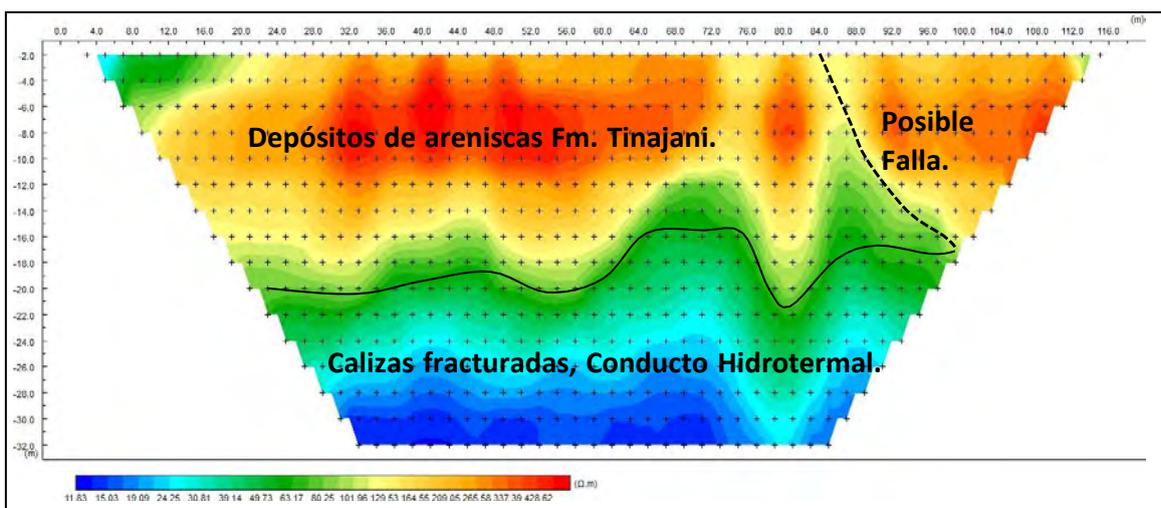


Fuente: elaboración propia

### 7.3.2.2. Interpretación

Según la Figura 60 en la parte superior se tiene roca que representa los valores de más alta resistividad, indicándose como los depósitos de la formación Tinajani. Por otra parte, en la parte inferior estaría el conducto hidrotermal, representando los valores inferiores en resistencia. Además, se tiene una posible falla local (ver Figura 48), viendo entonces corroborar con las demás secciones ERT.

Figura 60. Interpretación de la sección ERT BB'



Fuente: elaboración propia

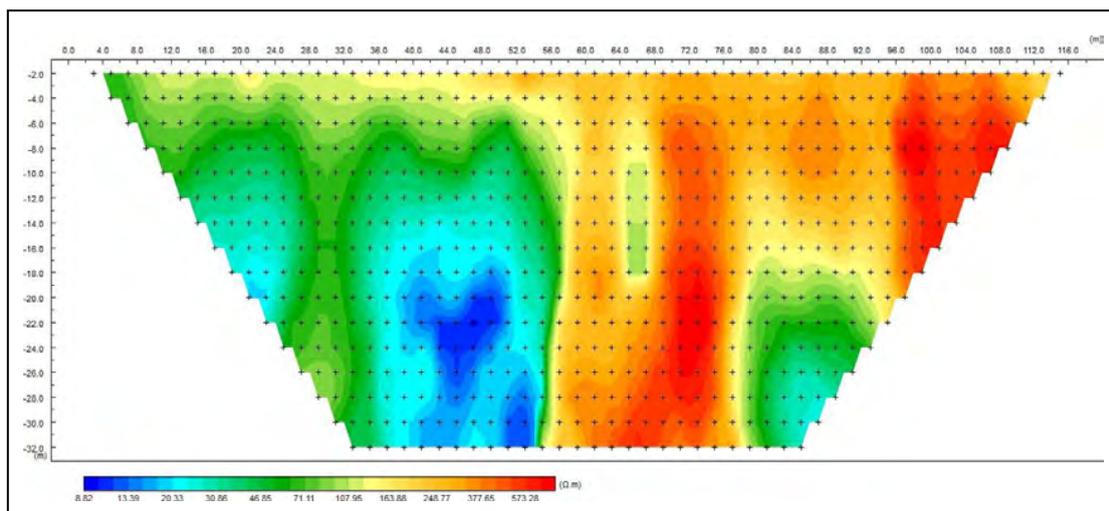


### 7.3.3. Sección CC'

#### 7.3.3.1.Resultado

Los resultados indican una resistividad que va de 8.82 a 573.28 Ohm.mts (ver Figura 61), donde a primera vista se puede evidenciar la presencia de la discontinuidad antes mencionada. También los valores indican una alta resistencia, y que además va a profundidad a más de 32 mts. Por otra parte, se tiene la evidencia del conducto hidrotermal, lo que va indicando la dirección del acuífero, en relación a la ciudad de Ayaviri, donde los valores de profundidad se abren a través de la ciudad, esto en profundidad.

Figura 61. Sección ERT CC' por método Wenner



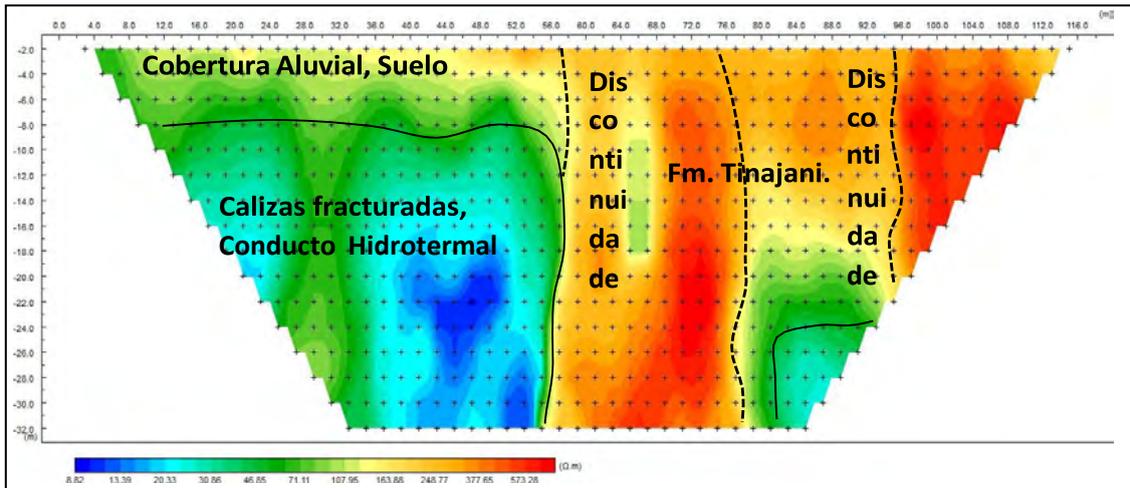
Fuente: elaboración propia

#### 7.3.3.2.Interpretación

La profundidad del conducto hidrotermal, puede encontrarse a unos 16 mts, que se muestra con los valores inferiores en resistencia, estos son calizas fracturadas. Ahora, para los depósitos de la formación Tinajani, está limitado por claras discontinuidades, lo cual nos lleva a inferir que estas discontinuidades corresponden a fallamientos, indicativos que la actividad sísmica ha podido influir en la roca (ver Figura 62).



Figura 62. Interpretación de la sección ERT CC'



Fuente: elaboración propia

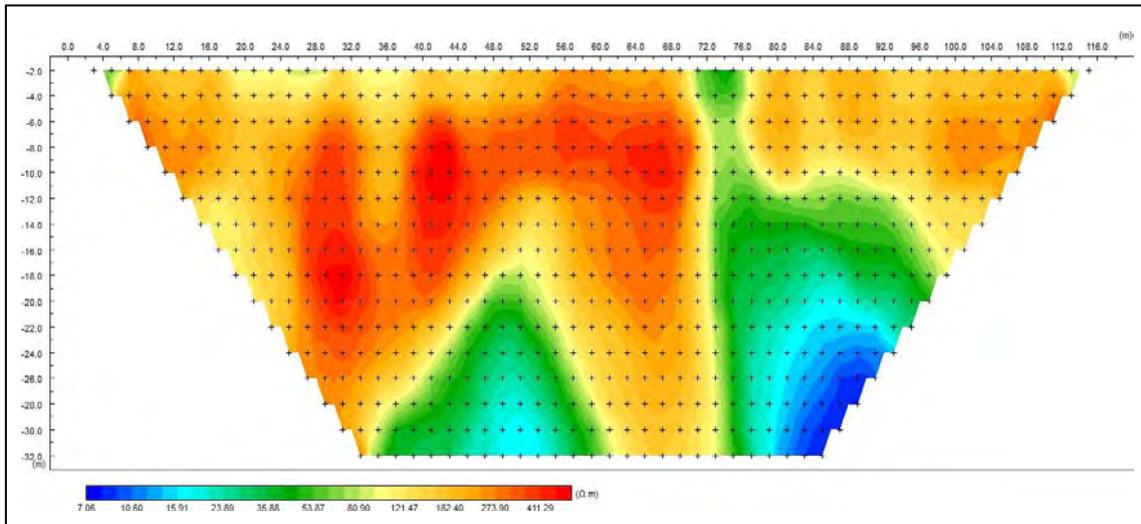
### 7.3.4. Sección EE'

#### 7.3.4.1. Resultado

Esta sección correspondiente, se realizó con el fin de corroborar la conexión que se tiene entre los conductos hidrotermales del colegio Mariano Melgar y la del balneario Pojpoquilla. Para los cuales se obtuvo valores de resistividad que van de 7.06 a 411.29 Ohm.mts (ver Figura 63). El cual es un indicativo claro de esta conexión a profundidad del acuífero profundo, mostrándose así en la Figura 52 valores de color azul, el conducto por el que va el agua subterránea. Por otro lado, se tienen también valores altos de resistividad, que representan los depósitos de la formación Tinajani, por lo que también puede evidenciarse la formación de las discontinuidades.



Figura 63. Sección ERT EE' por método Wenner



Fuente: elaboración propia

#### 7.3.4.2. Interpretación

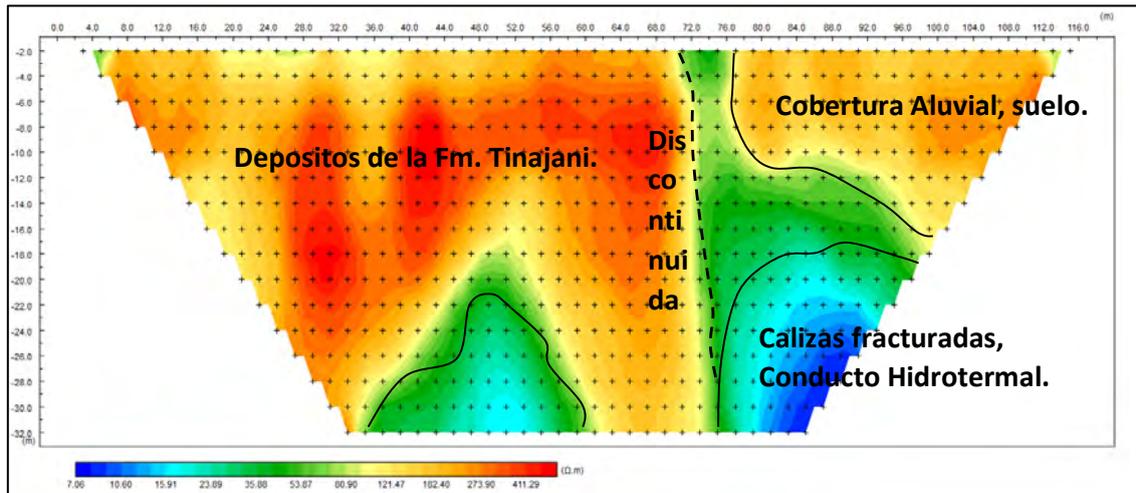
Efectivamente, se evidencia la conexión del conducto hidrotermal, a través de la sección, indicando, además, una profundidad promedio de 32 a 35 mts. En la Figura 59, se aprecia los valores bajos de resistividad en color azul, los cuales corresponden a las calizas fracturadas, que son los conductos termales. Ahora, la presencia de los depósitos de la formación Tinajani, tienen una connotación, que evidencia discontinuidades, fallamientos locales, que se ve marcado en la Figura 64. Por otra parte, la presencia de acuíferos poco profundos, como los depósitos aluviales, tienen alto contenido de agua subterránea, pero con la temperatura normal, que la que se tiene en aguas termales. Por lo que se infiere que el agua que emerge en el sector del colegio Mariano Melgar, tiene una interacción con las aguas que salen del conducto hidrotermal.



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Figura 64. Interpretación de la sección ERT EE'



Fuente: elaboración propia

En la campaña de levantamiento en campo, se realizó 5 secciones ERT, pero se consideró solo 4. Pero en la sección DD', se evidencia la presencia de acuíferos libres, con una profundidad de 10 a 12 mts del nivel freático. El cual no tiene ninguna conexión con el acuífero profundo, que alimenta a la poza geotermal.

De la correlación de las secciones se resalta, que el acuífero profundo en sí, tiene 2 ramales mayores de 80 mts de profundidad. Lo que nos lleva a definir la geometría del acuífero, definida por la geofoma que se indica en el mapa hidrogeológico, destacándose como el acuífero profundo, y también se ayuda por los isovalores de profundidad.



## CAPITULO VIII MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

### 8.1. INTRODUCCION

El modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del ámbito de estudio (Pojpoquilla – Ayaviri), está basado en función de la información geológica, hidrológica, hidroquímica, hidrogeológica y geofísica que se ha obtenido.

### 8.2. SISTEMA GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL

La estratigrafía del área de estudio, en secuencia de profundidad a la superficie, está definida por la secuencia detrítica de areniscas feldespáticas y microconglomerados del Grupo Puno, que tiene como techo a estratos delgados de calizas fracturadas color beige (miembro 4), llegando a aflorar en varias partes del área. Seguido por la secuencia tobácea – detrítica, compuesto por areniscas grauvacas y arcósicas (cuarzo-feldespáticas) de la Formación Tinajani, donde se manifiestas la poza termal. Y finalmente los depósitos aluviales que cubren la superficie de la planicie Ayaviri.

Tectónicamente el área de estudio se encuentra influenciado por la falla de Ayaviri, que regionalmente pone en contacto secuencias ordovicianas paleozoicas (Grupo Calapuja, formación San José) con unidades del Paleógeno Cenozoicas (Grupo Puno). Y localmente, hay indicios de fallas menores transversales a la Falla Ayaviri (U-S-A) pueden estar llegando hasta la zona misma de interés a profundidad cercana a 100 mts. Evidencia de ello son las calizas fracturadas del Grupo Pun, y sobre todo la surgencia de aguas termales que viajan desde profundidades hasta la superficie.

### 8.3. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Los regímenes hidrológicos promedios para la intercuenca de Ayaviri, han sido calculados con la validación de 3 estaciones meteorológicas (Ayaviri, Chuquibambilla y



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



Pucará). Según ello las precipitaciones aumentan en diciembre, alcanzando su pico máximo (media de 145.6 mmH<sub>2</sub>O) entre los meses enero y febrero, que luego disminuyen gradualmente hasta que decaer el abril. Y es durante esos meses de precipitación, que una parte de las aguas caídas se infiltran al subsuelo, alimentando los acuíferos aluviales y de ahí a los acuíferos poco profundos a profundos de la unidad Tinajani y el Grupo Puno.

El año hidrológico esta caracterizado por una precipitación media anual de 705.05 mm, con temperaturas máximas de 10.5 °C (mes febrero) a min. de 4.2 °C (mes julio). En tanto que la evapotranspiración potencial calculada alcanza valores de 1269.32 mm, superando a la precipitación, sobre todo en época de estiaje (abril a noviembre). Es así que, para la zona de Ayaviri, hay un desbalance de la precipitación con respecto de la evapotranspiración anual.

### 8.4. SISTEMA HIDROQUÍMICO

La hidroquímica indica un sistema acuífero de facie sódico-potásica clorurada, debido a sus propiedades organolépticas, altos contenidos de cloruros, la presencia de ácido sulfhídrico en el olor y color ligeramente amarillento, es un claro indicativo de que tiene origen profundo; que muy posiblemente es recargada por agua que se infiltra por fallas transversales a la falla de Ayaviri. Esto se evidenció por el análisis químico de los resultados de laboratorio de años pasados y muestras de agua subterránea que se tomó de la poza termal.

La composición de este tipo de agua refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos

### 8.5. SISTEMA HIDROGEOLÓGICO

En el área de estudio, se tienen 2 tipos de acuíferos, los primeros, están relacionados a acuíferos libres poco profundos de los depósitos aluviales, que tienen



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

interacción con los conductos de las aguas que tienen una temperatura elevada. También están los acuíferos semi-profundos a profundos (de tipo semiconfinado), que tienen influencia de origen magmático, y que son recargadas por fallas transversales a la falla Ayaviri. Estos acuíferos son de flujo intermedios a regionales.

La hidrodinámica del agua subterránea, está condicionada por un sistema dual, de doble porosidad, teniendo una porosidad primaria y otra secundaria (fracturas y fallas). Esto por los conductos que se originan por la acción del agua a temperatura y la disolución de los minerales que se transportan. Los valores de permeabilidad se indica como un valor predominante en la hidráulica del acuífero que alimenta al área de estudio y su relación con la fuente que se encuentra en el canal del colegio.

### 8.6. MODELO GEOFÍSICO

Según los resultados de las secciones ERT, los detríticos de la Formación Tinajani (que hace de techo del acuífero semiprofundo semiconfinado), presentan discontinuidades casi verticales, interpretadas como posibles fallamientos de la roca. También hay presencia de calizas fracturadas del Grupo Puno, conectadas al flujo hidrotermal, sobre todo por discontinuidades, interpretadas como fracturamiento de falla, como se ve claramente en la sección EE'. Creándose un sistema de conducto termal que llevan las aguas hasta la superficie.

Las secciones ERT, en cuanto a la profundidad del acuífero semiprofundo - profundo, indican que representa un sistema enorme de conductos que se distribuyen por debajo de los depósitos aluviales, que rodean a la ciudad de Ayaviri. Donde el valor promedio de profundidad es de 35 mts. Para los acuíferos poco profundos el nivel freático está cercano a la superficie, evidenciándose en las surgencias que se tienen en las construcciones de viviendas, por las cercanías donde está la zona de estudio.

Por otro lado, la correlación de las secciones se resalta, que el acuífero profundo



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

en sí, tiene 2 ramales mayores de 80 mts de profundidad. Lo que lleva a ver la geometría del acuífero, definida por la geoforma que se indica en el mapa hidrogeológico de isovalores de profundidad.

### 8.7. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

El modelo hidrogeológico conceptual de las aguas termales de Pojpoquilla – Ayaviri (mostrado en la Figura 65) de composición sódico-potásica clorurada, está representada por valores altos de evapotranspiración de 1269.32 mm/año, comparado con la precipitación anual de 704.64. De esta última, parte de ella se percola alimentando los acuíferos poco profundos (aluviales), semiprofundos (Tinajani)- calizas del G. Puno a profundos (G. Puno). Los cuales, se suman a la circulación de flujos intermedios a regionales de aguas, que bajo la influencia de las altas temperaturas (a causa de rocas plutónicas calientes), gradientes hidráulicas, viajan continuamente hacia la superficie (fuente termal), aprovechando las vías de fracturamiento y fallas, en este caso, uno de los ramales de la falla Ayaviri.

Lo que no está claro aún, es el porcentaje del agua termal que procede del flujo local e intermedio-regional. Que es aún tema por investigar.



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”

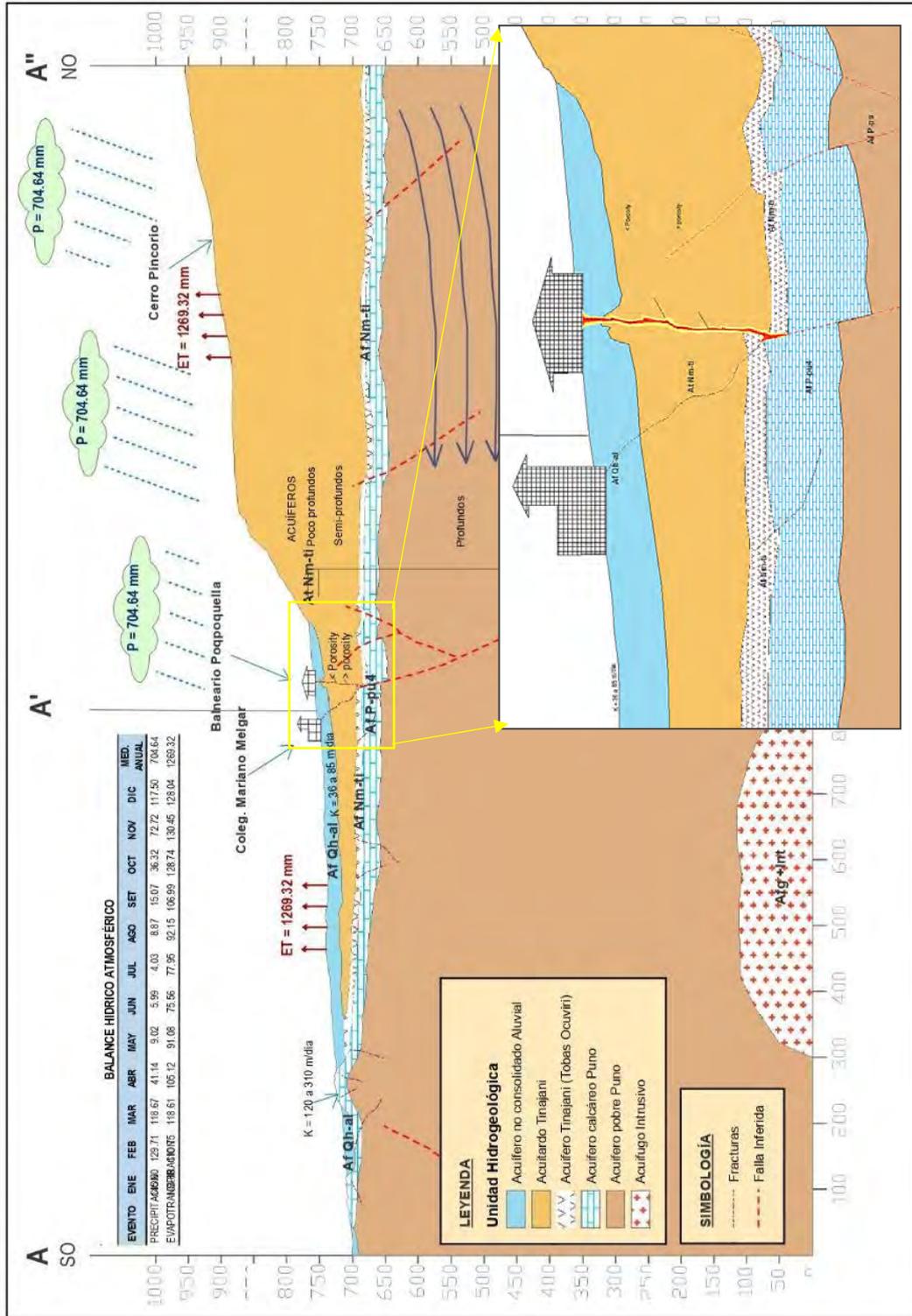


Figura 65. Modelo conceptual hidrogeológico del agua termal Pojpoquilla - Ayaviri  
Fuente elaboración propia



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



**8.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSI ON	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuáles son las características hidrogeológicas de las aguas subterráneas que se hallan bajo balneario Pojpoquilla del Distrito de Ayaviri; y por qué la disminución del caudal de la fuente termal?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b></p> <p>1.-¿Cuáles son las características geomorfológicas y geológicas de la zona de estudio “balneario Pojpoquilla-Ayaviri”?</p> <p>2.-¿Cuál es el comportamiento hidrometeorológico en la zona de estudio?</p> <p>3.-¿Cómo está configurado el sistema termal se halla bajo el balnearioPojpoquilla?</p> <p>4.-¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua termal del balneario Pojpoquilla?</p> <p>5.-¿Cómo es el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero y por qué ha descendido en caudal de la fuente termal del balneario Pojpoquilla?</p> <p>6.-¿Cuál(es) son las alternativas de solución a la situación actual del balneario Pojpoquilla?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar las características hidrogeológicas de las aguas subterráneas que se hallan bajo balneario Pojpoquilla del Distrito de Ayaviri; para determinar la causa de ladisminución del caudal de la fuente termal.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>1.-Determinar las características geomorfológicas y geológicas de la zona de estudio “balneario Pojpoquilla - Ayaviri”.</p> <p>2.-Determinar el comportamiento hidrometeorológico en la zona de estudio.</p> <p>3.-Determinar la configuración del sistema termal que se hallan bajo el balneario Pojpoquilla, mediante prospección geofísica eléctrica (tomografía).</p> <p>4.-Determinar las características fisicoquímicas del agua termal del balnearioPojpoquilla.</p> <p>5.-Determinar la causa o causas de la disminución del caudal de la fuente termal en base a los parámetros anteriores, sintetizado en un modelo hidrogeológico conceptual.</p> <p>6.-Proponer las alternativas de solución a la situación actual del balnearioPojpoquilla.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Los acuíferos volcanosedimentarios de la Formación Tinajani y Tacaza, se hallan atravesados por uno de los ramales de la falla Ayaviri, que es aprovechada por el agua termal que alcanza a la superficie en el punto de Pojpoquilla. Este sistema termal fue afectado por el sismo de Lampa de magnitud 5.5 (1 de diciembre del 2016), que causo la obstrucción del conducto termal, que a su vez generó el descenso gradual del caudal de la fuente termal.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b></p> <p>1.-La localidad de Ayaviri, donde se el Balneario Pojpoquilla, se halla en llanuraaltiplánica (depósitos aluviales), rodeado de montañas bajas o cerros, como el volcanosedimentario (detritico-tobáceo) de Tinajani, afloramientos de calizas dispersas yla serie detritica del Grupo Puno. Además de la presencia de la Falla Ayaviri que atraviesala cuenca de Ayaviri.</p> <p>2.-La localidad de Ayaviri por hallarse en el altiplano, sobre los 3900 msnm, presenta bajas precipitaciones y altas evapotranspiraciones.</p> <p>3.-Empleando prospección geofísica ERT (tomografía eléctrica) es posible delimitar la geometría, la configuración de acuífero volcanosedimentario de Pojpoquilla; y explicar los conductos o ramales hidrotermales.</p> <p>4.-Las características fisicoquímicas del agua subterránea del balnearioPojpoquilla, han cambiado desde el año 2016.</p> <p>5.-El acuífero volcanosedimentario de la Formación Tinajani, cubierto por depósitos aluviales en la zona, se halla fracturado. Tal es que uno de sus fracturas (conductos) llega a la superficie, por donde sube y fluye el agua termal Pojpoquilla. Y que un movimiento sísmico produjo nuevas fracturas y/o obstruyendo el conducto y, por ende, alterando el curso del fluido caliente.</p> <p>6.-Para recuperar el caudal original de la fuente termal, se debe realizar bombeo con electrobomba sumergible, sellar las grietas de escape, y dar una limpieza adecuada del fondo(6m) de la poza termal que permita liberar los detritos que obstruyen el conductode ascenso del agua.</p>	<p><b>DEPENDIENTES</b></p> <p>Aguas termales subterráneas del Balneario de pojpoquilla distrito de ayaviri</p> <p><b>INDEPENDIENTE S</b></p> <p>b). Geología</p> <p>-Litología: tipos de rocas</p> <p>-Estratigrafía: estratos (m), discordancias</p> <p>-Formas estructurales: geoformas, fallas, pliegues</p> <p>b). Hidrología</p> <p>-Precipitación pluvial</p> <p>-Evapotranspiración</p> <p>c). Hidrogeología</p> <p>-Composición de las aguas subterráneas.</p> <p>-Estudio hidrogeológico de aguas termales subterráneas.</p> <p>-Flujo de las aguas subterráneas.</p> <p>-Parámetros de litopermeabilidad.</p>	<p><b>GEOLOGÍA</b></p> <p>Unidades geológicas</p> <p>Modelo estructural.</p> <p>Tipos de suelos.</p> <p>Tipos de rocas.</p> <p><b>HIDROLOGÍA</b></p> <p>Clima.</p> <p>Cuenca.</p> <p>Hidrometría.</p> <p>Escurrimiento</p> <p>Precipitación efectiva.</p> <p>Generación de caudales mensuales.</p> <p>Balance hídrico.</p> <p><b>Hidrogeología</b></p> <p>a.</p> <p>Inventarios manantes.</p> <p>Clasificación de acuíferos.</p> <p>Propiedades físicas de acuíferos.</p> <p>Delimitación de acuíferos.</p>	<p><b>Hidrología.</b></p> <p>Precipitación Media (L/M3).</p> <p>Precipitación Media Mensual (L/M3).</p> <p>Precipitación Media Anual (L/M3).</p> <p>Precipitación Máxima (L/M3).</p> <p>Precipitación Minina (L/M3).</p> <p>Caudal Medio (L/S).</p> <p>Caudal Máximo (L/S).</p> <p>Caudal Mínimo (L/S).</p> <p>Temperatura Promedio (C°).</p> <p>Evapotranspiración (L/M3).</p> <p>Forma de Microcuenca (KM2).</p> <p>Pendiente (%).</p> <p><b>Hidrogeología</b></p> <p>Permeabilidad (Darcy).</p> <p>Porosidad (%).</p> <p>Infiltración (L/M3).</p> <p>Potencial De Hidrogeniones (Ph).</p> <p>Conductividad Eléctrica (Mmhos/Cm).</p> <p>Salinidad (G/L).</p> <p>Gradiente Hidráulico (%).</p> <p><b>Modelo Conceptual</b></p> <p>Nivel Freatico.</p> <p>Gradiente Hidraulico.</p> <p>Dirección de Flujo.</p> <p>Conductividad Hidraulica.</p> <p>Condiciones Iniciales.</p>	<p><b>Tipo de Investigación.</b></p> <p>- Aplicada</p> <p><b>Nivel de la investigación</b></p> <p>Descriptiva y Explicativa</p> <p><b>Técnicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Observación directa</li> <li>➤ Observación indirecta</li> <li>➤ Análisis documental</li> <li>➤ Trabajo de campo</li> </ul> <p><b>Instrumentos</b></p> <p>-Laptop</p> <p>-Brújula</p> <p>-Picota</p> <p>-GPS</p> <p>-Multiparámetro</p> <p>-Tomógrafo eléctrico</p> <p>-Etc</p> <p><b>Fases de Investigación</b></p> <p>-Gabinete</p> <p>-Campo.</p> <p>-Laboratorio-</p>



## CONCLUSIONES

**Primero.-** El ámbito de estudio “balneario Pojpoquilla de la zona Ayaviri” está caracterizada por llanuras fluvio-aluviales y montañas bajas. Donde la estratigrafía de la llanura, en secuencia de profundidad a la superficie, está definida por la secuencia detrítica de areniscas feldespáticas, microconglomerados y caliza (que llega aflorar) del Grupo Puno. Sobre la cual se extiende la secuencia detrítica-tobácea (piroclastos, areniscas grauvacas y arcósicas) de la Formación Tinajani, cubierto por los depósitos aluviales. Y tectónicamente el área de estudio se encuentra afectada por la falla de Ayaviri (U-S-A), que pone en contacto las unidades paleozoicas con las cenozoicas.

**Segundo.-** El comportamiento hidrológico de la intercuenca de Ayaviri, esta caracterizado por una precipitación media anual de 704.69 mm, temperaturas máximas promedio de 16.2 °C y min. de -1.8 °C, y una evapotranspiración potencial que alcanza valores de 1269.32 mm, superando a la precipitación, sobre todo en época de estiaje.

Manteniendo una temperatura constante del agua de la poza del balneario de pojpoquilla debido a la presencia de la roca volcánica y la presencia de un intrusivo de rocas hipoabisales.

**Tercero.-** Los resultados de las secciones ERT, indican la presencia de acuíferos libres aluviales poco profundos (10 a 12 mts); semiprofundos (32-35 m) semiconfinados de Tinajani y calizas fracturadas del Grupo Puno, conectadas al flujo hidrotermal; y los acuíferos profundos semiconfinada del Grupo Puno, representados como un sistema enorme de conductos, que tienen 2 ramales aproximadamente a los 35 mts de profundidad, que constituyen los conductos que llevan agua termal a Pojpoquilla y el canal del Colegio M. Melgar.

**Cuarto.-** Las aguas termales muestreados del Balneario Pojpoquilla y del del Colegio M.



## **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



Melgar, muestran similar composición química, con predominancia de facie sódico potásica clorurada (Na/K-Cl-), la presencia de ácido sulfhídrico en el olor y color ligeramente amarillento, indicativos de que es alimentado por una misma fuente de origen. Cuyas propiedades fisicoquímicas son prácticamente las mismas antes y después



## “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



del 2016 (Sismo de lampa), con apenas ligeros cambios en la temperatura (disminución en 0.5 °C), su pH (incremento en 0.6) entre otros.

**Quinto.-** Como el sistema termal de Pojpoquilla se halla conectada a la falla de Ayaviri a través de una falla transversal, al ocurrir el sismo de Lampa registrado el 1 de diciembre del 2016, quedo afectado. Pues el sistema de flujo del conducto que alimentaba la poza geotermal, quedo alterado. Por una parte, el movimiento produjo derrumbes de detritos del propio conducto, ocasionando el descenso del caudal original; y por otra parte la apertura del otro ramal que permanecía sellada, llegando a ser vía de escape del agua termal.

**Sexto.-** Las alternativas posibles de solución al problema actual del acuífero, son las siguientes: realizar una perforación diamantina hasta la profundidad hasta los 35 mts, para poder llegar al mismo ramal del acuífero profundo, conllevando esto, a la liberación de presión; así como proceder con limpieza y profundamente del lecho de la piscina en la poza geotermal.



## **RECOMENDACIONES**

1. Se debe realizar campañas de levantamiento de secciones ERT, a través de la ciudad de Ayaviri, en particular en las cercanías del balneario, a fin de delimitar correctamente este acuífero profundo y tener las consideraciones necesarias para proteger este recurso hídrico de la localidad.
2. En lo que respecta al origen de la recarga de esta fuente, se debe hacer estudios de isotopía en aguas subterráneas, con la finalidad de saber el origen y posible ubicación de estas fuentes de recarga que tiene el sistema mixto del acuífero profundo.
3. Inventariar todas las posibles fuentes de agua subterránea que se tiene dentro y en los límites de la ciudad, para poder tener un adecuado conocimiento del potencial hídrico que tiene los acuíferos poco profundos que existen, y sus posibles interacciones con el acuífero profundo de naturaleza confinada.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carlotto, V., Cárdenas, J., & Carlier, G. (2009). *Puesta en evidencia de acreciones Mezoproterozoicas en la formación de la litósfera del Sur del Perú*. UNSAAC. Lima: INGEMET.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., & Carlier, G. (2011). *Geología del Cuadrángulo de Cusco hoja 28-s*. Lima, Peru: INGEMET.
- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., . . . Ibarra, I. (2005). *Las cuencas Terciarias sinorogénicas en el Altiplano y en la Cordillera Occidental del Sur del Perú*. UNSAAC. Lima: INGEMET.
- Cerrón, F., & Chacaltana, C. (2003). *Actualización del cuadrángulo de Ayaviri (30-u)*. Lima: INGEMET.
- CMPLab. (2020). *Tomografía eléctrica: Fundamentos y aplicaciones*. España: Centro Universitario de Mérida.
- Collazo, M. P., & Montañó, J. (2012). *Manual de agua subterránea* (1ra ed.). Montevideo, Uruguay: Denad Internacional S.A.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (2da ed., Vol. I). Barcelona, España: Omega S.A.
- González, R., & López, A. (2015). *Informe final del área de geología Región Puno*. Gobierno Regional de Puno. Puno: Proyecto “Desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial”.
- Huamaní, A. (2001). *Aguas termales y minerales en el suroriente del Perú*. Lima: INGEMET.
- Martínez, P. E., Martínez, P., & Castaño, S. (2006). *Fundamentos de la hidrogeología*. Barcelona, España: Mundiprensa.
- NNOA. (15 de December de 2022). *Sunrise / Sunset Calculator*. Surface Radiation Research Branch. Department of Commerce, USA[On line].
- ONERN. (2009). *Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor*. Lima, Peru: DS N° 017-2009-AG.
- Palacios, O., De la Cruz, J., De la Cruz, N., Klinck, B. A., Allison, R. A., & Hawkins, M. P. (1993). *Geología de la cordillera Occidental y Altiplano al Oeste de Lago*



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



*Titicaca - Sur del Perú* (Vol. Boletín N° 42 Serie A: CARTA GEOLOGICA NACIONAL). Lima, Perú: INGEMET.

- Pinagua, J. I. (2004). *Infraestructura hidrotermal*. Madrid: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Rodríguez, R., Sempere, T., Ibarra, Y., Mamani, M., Carlotto, V., & Carlier, G. (2004). Estratigrafía de la parte sur de la Cuenca Ayaviri. *Publicación Especial SGP* N°5(5), 143 - 155.
- Sociedad de Beneficiencia Pública Melgar Ayaviri. (2020). *Antecedente y experiencia de capacidad en la explotación de agua minero medicinal del balneario de Pojpoquilla*. Ayaviri.
- Vargas, V. (2010). Las fuentes termales en el Perú estado y uso actual. *Sociedad Geológica del Perú*(9), 1175-1178.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Wikipedia. (2006). *Wikipedia*.



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



**ANEXOS**

**ANEXO I. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS**

**ANEXO 1.1. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO**

**HISTORICO ORIGINAL DE PRECIPITACIÓN**

**A). Estación Ayaviri**

ESTACION AYAVIRI													
DEPARTAMENTO	: PUNO			C_NORTE	8355578.50	LAT	14°52'7.56°			CODIGO	: 114038		
PROVINCIA	: MELGAR			C_ESTE	328766.75	LONG	70°35'29.8°			FUENTE	: SENAMHI		
DISTRITO	: AYAVIRI			ALT_Z	3910.00	ALT_Z	3910			PROP	: KEVIN E. GUZMAN A		
Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1975	133.1	187.4	104.8	37.3	4.1	0.0	0.0	0.0	4.9	87.2	73.4	172.3	804.5
1976	125.3	103.2	54.3	31.1	1.8	0.0	0.0	0.0	20.4	2.7	0.0	35.7	374.5
1977	17.2	87.4	57.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.6	52.5	168.6	387.1
1978	226.1	192.8	75.2	0.0						27.0	23.9	145.8	153.2
1979	183.3	56.9	101.0	44.3									
1980													
1981								7.8		50.6			
1982	149.6	23.3	163.0	93.9	0.0	1.0	0.0	39.5	35.0	117.9	211.5	57.1	891.8
1983	43.0	53.2	68.8	63.5	0.4	2.1	0.0	0.0	7.0	17.4	43.4	79.3	378.1
1984	248.1	162.1	152.1	21.0	16.6	3.4	0.0	18.8	0.0			179.0	801.1
1985													
1986		172.3	159.7	110.4	16.8	0.0	0.0	2.3	24.0	4.4	38.9	163.1	691.9
1987	180.2	70.1	58.1	41.3	4.7	4.8	20.4	3.3	2.0		72.8	76.9	534.6
1988	158.9	87.9	157.1	78.6	13.7	0.0	0.0	0.0	15.6	46.7	2.5	91.8	652.8
1989	158.5	75.7	99.0	56.2	3.7	2.9	0.1	31.6	22.8	47.6	37.0	76.6	611.7
1990	190.2	111.1	38.6	32.4	3.8	33.5	0.0	3.5	15.0	87.1	71.7	81.9	668.8
1991	163.5	95.9	109.8	27.6		35.8	0.6	2.9	13.6	51.1	33.2	85.4	619.4
1992	109.8	79.5	45.3	27.4	0.0	10.2	0.0	49.0	1.1	54.4	61.0	43.8	481.5
1993	206.6	68.0	120.0	26.6	0.3	10.8	0.3	23.7	40.8	84.1	175.0	78.8	835.0
1994	113.5	81.9	144.6	69.9	4.7	0.0	0.0	7.5	4.1	16.7	65.5	99.8	608.2
1995	96.3	98.4	132.5	44.9	0.5	0.0	0.0	0.0	5.1	15.1	70.5	104.1	567.4
1996	181.6	123.6	61.0	19.8	6.2	0.0	0.0	4.1	5.3	24.5	61.1	101.0	588.2
1997	139.0	194.9	174.0	8.4	1.4	0.0	0.0	14.7			122.2	107.1	761.7
1998	106.5	90.1	115.2	26.6	0.0	0.5	0.0	1.9	0.5	55.5	96.9	66.0	559.7
1999	92.8	156.3	129.7	111.6	7.0	0.0	0.0	0.0	22.6	43.2	31.5	54.9	649.6
2000	136.8	224.6	108.6	5.9	6.2	1.6	4.1	7.1	2.5	119.8	8.6	76.9	702.7
2001	228.1	111.2	99.9	39.0	22.7	2.9	1.3	10.8	11.3	34.8	21.4	100.8	684.2
2002	162.6	191.4	68.0	60.6	21.5	5.2	12.4	11.2	21.3	106.3	87.9	91.9	840.3
2003	201.0	98.7	163.2	41.7	9.6	4.8	0.0	10.5	15.1	29.3	25.2	135.6	734.7
2004	260.6	151.4	86.6	40.2	3.9	0.8	4.3	15.4	50.9	24.3	68.7	153.0	860.1
2005	70.6	224.9	130.2	26.3	0.3	0.0	0.0	4.5	4.8	94.8	83.0	67.0	706.4
2006	177.5	65.9	105.0	44.5	0.0	0.6	0.0	2.1	2.8	79.9	78.5	144.3	701.1
2007	110.8	77.8	162.4	61.3	11.2	0.0	0.0	0.6	23.7	18.3	68.6	110.1	644.8
2008	172.7	121.6	58.3	8.9	1.8	0.5	0.0	0.4	1.9	43.0	44.6	177.9	631.6
2009	91.8	123.8	89.8	40.7	4.8	0.0	0.9	0.2	25.2	32.0	94.4	118.7	622.3
2010	192.3	125.2	87.9	67.2	15.2	0.0	0.0	0.8	0.4	26.1	30.3	69.8	615.2
2011	71.6	164.1	132.7	66.6	12.6	1.4	7.5	2.1	10.8	31.1	96.0	143.3	739.8
2012	142.6	159.5	169.4	73.9	7.6	0.0	0.5	0.0	2.8	20.7	50.7	186.3	814.0
SUMA	5042.1	4212.1	3783.3	1549.6	203.1	122.8	52.4	276.3	441.6	1493.1	2224.3	3652.0	21764.8
PROMEDIO	148.3	120.3	108.1	44.3	6.3	3.7	1.6	8.1	13.4	46.7	67.4	107.4	659.5
N° DATOS	34	35	35	35	32	33	33	34	33	32	33	34	33
DESV. EST	56.767	51.605	40.172	28.280	6.627	8.442	4.263	11.922	12.868	33.602	46.150	42.838	133.365



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



**B). Estación Chuquibambilla**

ESTACION CHUQUIBAMBA													
DEPARTAMENTO	PUNO			C_NORTE	8364415.98	LAT	14°47'16.46°			CODIGO	114035		
PROVINCIA	MELGAR			C_ESTE	313967.63	LONG	70°43'42.57°			FUENTE	SENAMHI		
DISTRITO	UMACHIRI			ALT_Z	3918.00	ALT_Z	3918			PROP	KEVIN E. GUZMAN A		
Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1975	225.3	116.8	105.9	36.6	22.0	0.0	0.0	0.0	31.9	61.9	49.3	131.4	781.1
1976	208.8	88.9	151.9	27.4	15.4	1.5	0.8	2.8	33.8	1.9	26.0	43.0	602.2
1977	95.3	138.3	140.1	31.8	4.0	0.0	2.0	0.0	38.0	54.6	106.5	82.5	693.1
1978	295.2	127.7	67.0	64.0	0.9	0.6	0.0	0.0	24.7	19.9	101.9	122.3	824.2
1979	150.9	53.6	78.8	44.2	1.4	0.0	0.0	4.4	4.7	29.1	34.6	122.4	524.1
1980	109.0	103.7	149.2	11.8	11.2	0.0	1.3	2.4	4.8	87.2	64.2	105.8	650.6
1981	174.3	176.0	144.6	77.0	7.6	3.1	0.0	11.6	31.0	77.4	41.5	106.8	850.9
1982	148.3	91.7	101.1	82.2	0.0	2.0	0.0	0.0	27.0	95.0	154.2	67.9	769.4
1983	51.4	58.1	60.6	47.6	2.4	0.0	0.0	0.0	6.5	21.3	24.5	88.3	360.7
1984	220.3	175.4	139.9	30.5	20.9	0.0	1.3	0.7	2.7	120.6	124.1	180.1	1016.5
1985	114.0	123.5	90.5	121.0	20.7	25.9	0.0	0.5	65.7	24.6	140.8	106.9	834.1
1986	99.4	114.8	129.9	89.6	12.9	0.0	1.0	4.1	35.5	2.7	60.1	146.8	696.8
1987	111.2	75.1	72.5	32.0	1.1	1.4	7.3	0.9	3.2	9.3	96.6	79.8	490.4
1988	201.8	72.6	153.4	71.3	16.9	0.0	0.0	0.0	11.6	26.7	4.9	94.5	653.7
1989	156.8	84.7	113.9	86.8	3.6	0.7	0.7	40.1	30.9	59.8	55.9	95.5	729.4
1990	147.5	97.4	149.6	68.3	8.8	48.1	0.0	0.2	9.8	136.1	70.4	78.4	814.6
1991	191.4	61.4	118.0	30.1	28.8	39.1	0.0	0.0	1.0	48.3	29.8	94.5	642.4
1992	109.8	71.1	84.3	35.4	0.0	2.4	0.0	41.5	0.0	57.5	99.4	90.4	591.8
1993	183.4	29.0	182.9	46.9	0.0	16.0	0.0	28.6	9.3	94.1	162.0	98.1	850.3
1994	209.4	133.1	139.6	61.3	0.0	0.0	0.0	5.8	6.1	43.0	76.3	120.6	795.2
1995	119.7	119.7	119.8	15.8	2.1	0.0	0.0	0.0	2.5	27.0	56.7	123.8	587.1
1996	162.2	112.0	97.8	61.9	1.4	0.0	3.4	5.0	6.6	11.8	57.1	98.5	617.7
1997	205.1	204.3	192.7	63.8	4.0	0.0	0.0	16.5	31.0	35.4	111.6	121.7	986.1
1998	128.7	139.1	151.4	22.5	0.0	2.0	0.0	2.0	8.8	72.6	107.3	50.9	685.3
1999	114.1	162.6	139.9	146.8	9.8	0.0	1.4	1.7	20.3	58.1	28.0	94.1	776.8
2000	183.4	180.6	120.7	14.4	17.3	6.5	7.0	5.3	6.9	96.0	17.4	139.1	794.6
2001	238.6	127.3	126.9	25.1	19.3	1.2	4.7	7.5	10.8	40.4	18.2	69.9	689.9
2002	156.8	175.5	113.6	105.1	29.2	2.0	13.5	13.6	22.0	94.2	102.5	128.0	956.0
2003	137.9	154.8	245.0	43.6	4.3	3.3	0.0	12.6	23.3	18.7	33.6	97.6	774.7
2004	215.6	137.0	95.7	42.6	1.1	2.0	3.3	21.9	60.6	13.3	58.3	142.5	793.9
2005	88.1	213.7	97.7	39.0	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	118.3	75.7	97.9	738.3
2006	188.8	115.9		20.5	0.0	3.2	0.0	3.0	5.6	48.0	90.8	208.3	684.1
2007	95.6	96.9		81.9	3.5	0.0	4.6	0.0	22.1	21.1	67.2	72.9	465.8
2008	154.5	96.6	44.1	2.9	2.9	1.0	0.0	2.5	0.0	37.8	47.4	235.8	625.5
2009	114.1	90.4	137.6	65.2	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	19.1	84.8	131.1	656.7
2010	185.7	112.4	139.4	73.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	58.2	102.3	704.6
2011	122.8	180.7	122.4	72.5	13.5	7.8	9.7	6.8	37.2	31.0		163.2	767.6
2012	171.1	149.6	148.6	67.4	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	22.6	86.9	174.6	832.7
SUMA	5986.3	4562.0	4467.0	2059.8	302.2	169.8	62.0	249.9	662.2	1854.8	2624.7	4308.2	27308.9
PROMEDIO	157.5	120.1	124.1	54.2	8.0	4.5	1.6	6.6	17.4	48.8	70.9	113.4	718.7
N° DATOS	38	38	36	38	38	38	38	38	38	38	37	38	38
DESV. EST	50.785	43.573	39.050	31.390	8.793	10.621	3.096	10.475	16.417	35.398	39.063	40.295	137.749



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



**C). Estación Pucará**

ESTACION PUCARA													
DEPARTAMENTO		: PUNO		C_NORTE	8336168.19	LAT	15°02'44.4°		CODIGO		: 115046		
PROVINCIA		: LAMPA		C_ESTE	353095.21	LONG	70°21'59.9°		FUENTE		: SENAMHI		
DISTRITO		: PUCARA		ALT_Z	3941.00	ALT_Z	3941		PROP		: KEVIN E. GUZMAN A.		
Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1975	163.4	181.4	118.2	16.1	20.8	4.9	0.0	1.3	38.7	87.6	51.7	123.3	807.4
1976	213.8	155.8	99.5	31.0	7.5	0.0	3.3	5.7	79.2	1.8	32.2	115.6	745.4
1977	125.2	213.7	175.3	36.2	1.6	0.0	1.6	0.0	34.8	66.4	82.3	90.0	827.3
1978	228.4	180.7	144.2	90.7	8.3	0.0	0.0	0.0	17.3	67.0	164.6	227.8	1129.2
1979	186.1	63.2	118.4	45.6	11.7	0.0	0.2	0.0	8.4	80.2	107.0	163.3	784.1
1980	117.1	93.9	132.1	9.1	9.6	0.1	7.1	3.1	27.6	90.4	24.1	53.5	567.8
1981	184.6	147.4	124.7	125.0	8.5	2.5	0.0	13.9	34.4	87.2	70.4	110.3	908.9
1982	155.5	82.2	126.8	57.6	0.0	3.1	0.0	33.7	51.4	120.2	111.0	69.1	810.6
1983	74.1	78.8	34.2	50.8	10.5	7.4	1.9	0.0	28.6	38.4	35.0	99.8	459.4
1984	338.2	261.6	117.1	18.7	5.5	6.7	9.4	13.7	2.2	166.4	142.2	195.4	1277.0
1985	178.0	163.4	70.2	171.5	20.4	10.2	0.0	1.8	47.2	30.3	228.1	186.1	1107.2
1986	151.7	196.0	192.1	81.6	12.3	0.0	3.4	11.3	61.6	7.6	51.6	121.6	890.9
1987	176.0	83.9	58.8	57.4	6.2	11.5	28.7	9.9	4.9	32.1	99.4	78.5	647.2
1988	142.6	113.7	181.3	102.8	18.9	0.0	0.0	0.0	10.0	52.3	9.9	130.9	762.6
1989	130.1	80.3	110.2	62.9	7.1	2.4	1.4	16.5	13.6	48.3	31.7	111.2	615.4
1990	147.1	129.2	85.6	46.6	17.6	45.5	0.0	5.8	22.2	99.9	93.7	85.5	778.7
1991	144.8	127.0	150.9	43.8	28.7	54.2	5.6	9.2	18.0	48.2	43.6	69.3	743.4
1992	211.6	105.0	54.8	23.8	0.6	10.9	0.1	35.3	7.0	29.7	43.9	151.1	673.8
1993	184.8	39.6	132.7	89.9	8.3	0.5	0.0	12.6	27.2	78.7	73.0	147.4	794.7
1994	158.0	199.7	113.2	58.6	0.0	0.0	0.0	4.4		25.9	65.4	90.1	715.3
1995	98.2	76.9	78.9	9.3	2.6	0.0	0.3	0.5	7.7	17.8	94.3	106.0	492.5
1996	158.7	82.1	122.6	38.6	22.1	0.0	0.5	4.4	15.7	43.4	50.4	93.1	631.6
1997	160.3	126.3	166.5	21.3	2.7	0.0	0.0	13.4	23.3	59.0	142.1	118.0	832.9
1998	86.1	118.4	108.6	70.5	0.0	8.6	0.0	1.5	2.7	71.4	51.9	31.6	551.3
1999	83.8	111.6	147.7	73.6	10.6	0.0	1.0	6.8	22.3	78.1	24.5	46.2	606.2
2000	126.9	143.3	107.9	11.7	4.2	4.1	0.1	29.0	0.3	106.6	35.6	105.7	675.4
2001	302.9	117.9	224.9	33.6	18.1	1.8	4.8	9.9	5.0	35.2	29.8	108.3	892.2
2002	144.7	197.8	113.3	72.4	14.9	3.9	20.9	21.5	31.4	137.3	72.5	192.0	1022.6
2003	188.3	98.6	122.2	30.5	10.4	6.8	0.0	8.8	26.2	44.8	54.0	137.7	728.3
2004	302.7	227.4	104.1	55.2	6.9	4.0	8.2	26.5	48.0	7.5	68.1	136.7	995.3
2005	63.0	164.8	123.3	37.7	0.0	0.0	0.0	14.7	6.2	103.2	73.4	112.0	698.3
2006	240.7	90.2	124.6	32.6	0.0	0.2	0.0	0.6	5.0	47.2	68.1	104.6	713.8
2007	63.2	62.3	197.6	110.7	15.5	0.0	3.5	0.0	37.4	27.0	63.3	65.3	645.8
2008	174.6	79.9	62.4	4.1	3.9	0.0	0.0	0.9	24.2	51.4	63.5	165.2	630.1
2009	70.2	98.4	131.8	18.2	0.0	0.0	0.0	0.1	6.9	42.9	104.9	137.7	611.1
2010	198.1	138.7	66.4	38.2	6.0	0.0	0.0	0.2	1.2	36.9	27.9	121.3	634.9
2011	77.7	169.5	80.4	27.9	17.7	0.2	8.2	0.0	33.0	44.4	24.1	136.3	619.4
2012	125.0	176.1	121.6	61.0	0.0	0.0	0.0	4.6	6.2	12.2	31.4	168.9	707.0
2013	<b>122.8</b>	<b>139.2</b>	<b>171.1</b>	<b>20.4</b>	<b>27.7</b>	<b>7.7</b>	<b>0.4</b>	<b>15.6</b>	<b>7.8</b>	<b>58.3</b>	<b>29.9</b>	<b>231.6</b>	832.5
SUMA	6199.4	5116.2	4716.1	1987.1	367.4	197.1	110.6	337.0	844.8	2283.1	2670.4	4738.2	29567.5
PROMEDIO	159.0	131.2	120.9	51.0	9.4	5.1	2.8	8.6	22.2	58.5	68.5	121.5	758.1
N° DATOS	39	39	39	39	39	39	39	39	38	39	39	39	39
DESV. EST	64.679	51.520	41.769	35.532	8.059	11.171	5.891	9.725	18.419	36.711	44.589	46.242	174.542

**ANEXO 1.2. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO  
COMPLETADO Y EXTENDIDO**



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## A). Estación Ayaviri

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL TOTAL COMPLETA (mm)														
ESTACION:	AYAVIRI	LATITUD:	14°52'7.56"	S	DEPARTAM. ENTO:	Puno								
TIPO:	MET-CONV	LONGITUD:	70°35'29.8"	W	PROVINCIA:	Melgar								
CODIGO:	114038	ALTITUD:	3910	msnm	DISTRITO:	Ayaviri								
N° DE REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1975	129.62	182.50	102.06	36.33	3.99	0.00	0.00	0.00	4.77	84.92	71.48	167.80	783.48
2	1976	180.57	148.72	78.25	44.82	2.59	0.00	0.00	0.00	29.40	3.89	0.00	51.45	539.68
3	1977	24.30	123.45	81.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	3.67	74.16	238.15	546.78
4	1978	213.82	182.33	71.12	0.00	6.00	3.52	1.50	7.69	25.53	22.60	137.88	144.88	816.89
5	1979	197.60	61.34	108.88	47.76	6.84	4.01	1.71	8.76	14.43	50.30	72.66	115.79	690.08
6	1980	155.87	126.49	113.61	46.54	6.67	3.91	1.67	8.54	14.07	49.04	70.84	112.90	710.15
7	1981	155.47	126.17	113.33	46.42	6.65	3.90	1.66	8.18	14.03	53.05	70.67	112.61	712.14
8	1982	139.65	21.75	152.16	87.66	0.00	0.93	0.00	36.87	32.67	110.06	197.44	53.30	832.50
9	1983	61.57	76.18	98.52	90.93	0.57	3.01	0.00	0.00	10.02	24.92	62.15	113.55	541.41
10	1984	229.24	149.78	140.54	19.40	15.34	3.14	0.00	17.37	0.00	43.11	62.28	165.39	845.59
11	1985	155.81	126.44	113.57	46.52	6.67	3.91	1.67	8.54	14.06	49.02	70.82	112.85	709.86
12	1986	141.73	164.67	152.63	105.51	16.06	0.00	0.00	2.20	22.94	4.21	37.18	155.88	803.00
13	1987	203.46	79.15	65.60	46.63	5.31	5.42	23.03	3.73	2.26	52.68	82.20	86.83	656.29
14	1988	169.60	93.82	167.68	83.89	14.62	0.00	0.00	0.00	16.65	49.84	2.67	97.98	696.75
15	1989	174.49	83.34	108.99	61.87	4.07	3.19	0.11	34.79	25.10	52.40	40.73	84.33	673.42
16	1990	200.69	117.23	40.73	34.19	4.01	35.35	0.00	3.69	15.83	91.91	75.66	86.42	705.70
17	1991	178.01	104.41	119.54	30.05	6.91	38.98	0.65	3.16	14.81	55.63	36.15	92.98	681.26
18	1992	136.72	98.99	56.41	34.12	0.00	12.70	0.00	61.01	1.37	67.74	75.96	54.54	599.55
19	1993	206.61	68.00	120.00	26.60	0.30	10.80	0.30	23.70	40.80	84.10	175.01	78.80	835.03
20	1994	113.50	81.90	144.59	69.90	4.70	0.00	0.00	7.50	4.10	16.70	65.50	99.80	608.18
21	1995	96.29	98.39	132.48	44.89	0.50	0.00	0.00	0.00	5.10	15.10	70.49	104.09	567.33
22	1996	181.56	123.57	60.99	19.80	6.20	0.00	0.00	4.10	5.30	24.50	61.09	100.98	588.08
23	1997	138.96	194.84	173.95	8.40	1.40	0.00	0.00	14.70	13.38	46.65	122.17	107.07	821.51
24	1998	106.46	90.07	115.16	26.59	0.00	0.50	0.00	1.90	0.50	55.48	96.86	65.98	559.50
25	1999	92.76	156.23	129.64	111.55	7.00	0.00	0.00	0.00	22.59	43.18	31.49	54.88	649.31
26	2000	136.73	224.48	108.54	5.90	6.20	1.60	4.10	7.10	2.50	119.74	8.60	76.86	702.33
27	2001	227.96	111.13	99.84	38.98	22.69	2.90	1.30	10.79	11.29	34.78	21.39	100.74	683.78
28	2002	162.49	191.27	67.95	60.56	21.49	5.20	12.39	11.19	21.29	106.23	87.84	91.84	839.72
29	2003	200.85	98.62	163.07	41.67	9.59	4.80	0.00	10.49	15.09	29.28	25.18	135.50	734.13
30	2004	260.38	151.27	86.53	40.17	3.90	0.80	4.30	15.39	50.86	24.28	68.64	152.87	859.37
31	2005	70.53	224.69	130.08	26.28	0.30	0.00	0.00	4.50	4.80	94.71	82.92	66.94	705.74
32	2006	177.32	65.83	104.89	44.45	0.00	0.60	0.00	2.10	2.80	79.82	78.42	144.15	700.39
33	2007	110.68	77.71	162.22	61.23	11.19	0.00	0.00	0.60	23.67	18.28	68.52	109.98	644.09
34	2008	172.50	121.46	58.23	8.89	1.80	0.50	0.00	0.40	1.90	42.95	44.55	177.69	630.86
35	2009	91.68	123.64	89.69	40.65	4.79	0.00	0.90	0.20	25.17	31.96	94.28	118.55	621.52
36	2010	192.04	125.03	87.78	67.11	15.18	0.00	0.00	0.80	0.40	26.07	30.26	69.71	614.38
37	2011	71.50	163.87	132.51	66.51	12.58	1.40	7.49	2.10	10.78	31.06	95.86	143.10	738.75
38	2012	142.39	159.26	169.15	73.79	7.59	0.00	0.50	0.00	2.80	20.67	50.62	186.02	812.78
39	2013	204.57	147.49	89.65	87.97	17.50	0.19	3.74	0.90	2.72	24.37	21.53	204.75	805.39
40	2014	118.30	181.69	111.39	51.97	13.50	36.26	29.47	1.96	3.12	29.55	73.55	79.53	730.30
41	2015	80.18	101.79	143.22	100.87	6.29	1.17	0.47	20.34	8.57	35.22	111.47	148.19	757.78
42	2016	107.94	78.96	146.92	7.28	13.53	2.66	3.68	6.14	9.02	113.17	25.30	142.54	657.13
43	2017	197.16	261.66	77.26	71.58	4.36	5.40	0.55	0.69	2.91	47.49	14.97	147.72	831.75
44	2018	215.93	195.65	110.32	101.84	19.31	0.35	0.50	1.50	1.48	64.99	51.40	96.13	859.40
45	2019	204.11	122.56	81.97	57.46	3.05	7.04	0.17	2.09	2.22	26.34	84.72	94.57	686.27
46	2020	29.61	98.59	122.29	49.59	1.47	0.59	0.21	5.92	10.63	123.34	54.64	108.58	605.47
47	2021	283.89	82.24	113.36	100.55	0.87	0.85	1.35	1.70	7.78	57.43	41.05	121.35	812.43
N° DATOS		47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
MEDIA		154.11	127.42	111.03	50.55	6.88	4.37	2.20	7.73	12.20	49.71	65.94	114.39	706.5
DESV. ESTANDAR		57.56	49.31	33.20	29.52	6.21	9.03	5.64	11.61	11.39	31.59	39.65	41.17	94.81
COEF. VARIACION		0.37	0.39	0.30	0.58	0.90	2.06	2.56	1.50	0.93	0.64	0.60	0.36	0.13
PREC. MAX		283.89	261.66	173.95	111.55	22.69	38.98	29.47	61.01	50.86	123.34	197.44	238.15	859.4
PREC. MIN		24.30	21.75	40.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67	0.00	51.45	539.7



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## B). Estación Chuquibambilla

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL TOTAL COMPLETA (mm)														
ESTACION:	CHUQUIBAMBILLA	LATITUD:		14°47'16.46"	S	DEPARTAMENTO:		Puno						
TIPO:	MET-CONV	LONGITUD:		70°43'42.57"	W	PROVINCIA:		Melgar						
CODIGO:	114035	ALTITUD:		3918	msnm	DISTRITO:		Umachiri						
N° DE REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1975	236.13	122.41	110.99	38.36	23.06	0.00	0.00	0.00	33.43	64.88	51.67	137.72	818.65
2	1976	238.08	101.37	173.20	31.24	17.56	1.71	0.91	3.19	38.54	2.17	29.65	49.03	686.65
3	1977	103.39	150.03	151.99	34.50	4.34	0.00	2.17	0.00	41.22	59.23	115.54	89.50	751.91
4	1978	303.10	131.12	68.79	65.71	0.92	0.62	0.00	0.00	25.36	20.43	104.63	125.57	846.25
5	1979	180.43	64.09	94.22	52.85	1.67	0.00	0.00	5.26	5.62	34.79	41.37	146.35	626.65
6	1980	120.22	114.37	164.56	13.01	12.35	0.00	1.43	2.65	5.29	96.18	70.81	116.69	717.56
7	1981	176.51	178.23	146.44	77.98	7.70	3.14	0.00	11.75	31.39	78.38	42.03	108.16	861.71
8	1982	154.46	95.51	105.30	85.62	0.00	2.08	0.00	0.00	28.12	98.95	160.61	70.72	801.37
9	1983	71.92	81.30	84.79	66.60	3.36	0.00	0.00	0.00	9.10	29.80	34.28	123.55	504.70
10	1984	211.80	168.63	134.50	29.32	20.09	0.00	1.25	0.67	2.60	115.95	119.31	173.15	977.27
11	1985	115.40	125.01	91.61	122.48	20.95	26.22	0.00	0.51	66.51	24.90	142.53	108.21	844.35
12	1986	106.17	122.62	138.74	95.70	13.78	0.00	1.07	4.38	37.92	2.88	64.19	156.79	744.24
13	1987	134.88	91.09	87.94	38.81	1.33	1.70	8.85	1.09	3.88	11.28	117.17	96.79	594.81
14	1988	219.50	78.97	166.86	77.56	18.38	0.00	0.00	0.00	12.62	29.04	5.33	102.79	711.05
15	1989	164.28	88.74	119.33	90.94	3.77	0.73	0.73	42.01	32.37	62.65	58.57	100.06	764.18
16	1990	149.20	98.52	151.32	69.09	8.90	48.65	0.00	0.20	9.91	137.67	71.21	79.30	823.97
17	1991	192.13	61.63	118.45	30.21	28.91	39.25	0.00	0.00	1.00	48.48	29.91	94.86	644.83
18	1992	110.05	71.26	84.49	35.48	0.00	2.41	0.00	41.59	0.00	57.63	99.63	90.61	593.15
19	1993	183.54	29.02	183.04	46.94	0.00	16.01	0.00	28.62	9.31	94.17	162.12	98.17	850.94
20	1994	209.24	133.00	139.49	61.25	0.00	0.00	0.00	5.80	6.10	42.97	76.24	120.51	794.60
21	1995	119.43	119.43	119.53	15.76	2.10	0.00	0.00	0.00	2.49	26.94	56.57	123.52	585.77
22	1996	161.59	111.58	97.43	61.67	1.39	0.00	3.39	4.98	6.58	11.76	56.89	98.13	615.39
23	1997	204.02	203.23	191.69	63.46	3.98	0.00	0.00	16.41	30.84	35.21	111.01	121.06	980.91
24	1998	127.83	138.16	150.38	22.35	0.00	1.99	0.00	1.99	8.74	72.11	106.58	50.56	680.69
25	1999	113.16	161.26	138.75	145.59	9.72	0.00	1.39	1.69	20.13	57.62	27.77	93.33	770.41
26	2000	181.62	178.85	119.53	14.26	17.13	6.44	6.93	5.25	6.83	95.07	17.23	137.75	786.89
27	2001	235.93	125.87	125.48	24.82	19.08	1.19	4.65	7.42	10.68	39.95	18.00	69.12	682.19
28	2002	154.81	173.28	112.16	103.77	28.83	1.97	13.33	13.43	21.72	93.01	101.20	126.38	943.89
29	2003	135.95	152.61	241.54	42.98	4.24	3.25	0.00	12.42	22.97	18.44	33.12	96.22	763.74
30	2004	212.24	134.86	94.21	41.94	1.08	1.97	3.25	21.56	59.65	13.09	57.39	140.28	781.52
31	2005	86.60	210.05	96.03	38.33	0.00	0.00	0.00	7.77	0.00	116.28	74.41	96.23	725.70
32	2006	185.30	113.75	116.64	20.12	0.00	3.14	0.00	2.94	5.50	47.11	89.12	204.44	788.06
33	2007	93.69	94.96	179.76	80.26	3.43	0.00	4.51	0.00	21.66	20.68	65.86	71.44	636.25
34	2008	151.19	94.53	43.16	2.84	2.84	0.98	0.00	2.45	0.00	36.99	46.38	230.75	612.11
35	2009	111.49	88.33	134.45	63.71	0.00	0.00	0.00	0.00	14.07	18.66	82.86	128.10	641.67
36	2010	181.19	109.67	136.01	71.23	14.83	0.00	0.00	0.00	0.00	17.95	56.79	99.81	687.48
37	2011	119.64	176.05	119.25	70.63	13.15	7.60	9.45	6.62	36.24	30.20	28.40	159.00	776.23
38	2012	166.45	145.54	144.56	65.57	0.00	0.00	0.00	0.00	11.58	21.99	84.54	169.86	810.09
39	2013	135.58	224.78	109.78	38.08	0.25	1.82	0.73	0.89	53.97	13.65	9.52	116.63	705.67
40	2014	200.87	120.10	106.98	49.14	7.06	27.27	0.46	16.97	20.80	66.40	66.88	100.03	782.96
41	2015	179.50	143.82	137.22	63.61	1.96	0.89	3.53	0.18	32.52	39.27	80.06	104.81	787.37
42	2016	153.81	87.67	103.45	64.36	2.85	0.45	1.35	6.15	6.35	61.48	67.94	100.09	655.95
43	2017	172.53	126.06	112.38	39.55	3.65	2.00	1.49	1.23	0.24	25.07	91.91	179.44	755.54
44	2018	210.85	196.27	109.18	17.84	1.34	0.56	0.72	0.02	0.16	45.72	63.57	95.84	742.04
45	2019	209.65	104.83	64.59	16.08	20.28	1.25	0.50	0.36	36.89	45.25	70.46	95.16	665.31
46	2020	140.36	110.49	164.21	38.07	5.94	2.23	0.46	0.30	3.83	53.33	82.01	108.42	709.67
47	2021	73.28	117.88	141.85	15.04	0.80	5.46	1.01	0.03	0.22	24.67	95.60	152.37	628.22
N° DE DATOS	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
MEDIA	161.68	124.91	126.09	52.23	7.51	4.53	1.57	5.93	17.76	48.09	71.04	116.11	737.5	737.5
DES.V. ESTANDAR	49.13	41.50	36.39	30.16	8.47	10.25	2.85	9.92	17.14	32.70	37.01	36.64	102.28	102.28
COEF. VARIACION	0.30	0.33	0.29	0.58	1.13	2.26	1.82	1.67	0.96	0.68	0.52	0.32	0.14	0.14
PREC. MAX	303.10	224.78	241.54	145.59	28.91	48.65	13.33	42.01	66.51	137.67	162.12	230.75	980.5	980.5
PREC. MIN	71.92	29.02	43.16	2.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17	5.33	49.03	504.7



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## C). Estación Pucará

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL TOTAL COMPLETA (mm)														
ESTACION:	PUCARÁ				LATITUD:	15°2'44.4" S			DEPARTAMENTO:	Puno				
TIPO:	MET-CONV				LONGITUD:	70°21'59.9" W			PROVINCIA:	Lampa				
CODIGO:	115046				ALTITUD:	3941 msnm			DISTRITO:	Pucara				
N° DE REGISTRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1975	176.01	195.38	127.31	17.31	22.44	5.28	0.00	1.40	41.69	94.28	55.63	132.78	869.51
2	1976	229.34	167.14	106.74	33.21	8.00	0.00	3.56	6.07	84.98	1.97	34.56	123.96	799.53
3	1977	133.78	228.30	187.29	38.70	1.74	0.00	1.72	0.00	37.22	70.98	87.87	96.19	883.79
4	1978	243.04	192.30	153.46	96.54	8.68	5.54	3.03	9.95	18.43	71.25	175.18	242.42	1219.82
5	1979	197.24	66.92	125.51	48.35	8.65	5.51	3.02	9.91	20.95	57.19	66.19	126.48	735.92
6	1980	166.75	137.29	127.57	49.10	8.61	5.49	3.01	9.87	20.86	56.97	65.92	125.98	777.42
7	1981	166.10	136.75	127.07	48.91	8.58	5.47	3.00	14.56	20.78	91.68	65.66	125.48	814.04
8	1982	162.85	86.13	132.79	60.34	0.00	3.27	0.00	35.24	53.78	125.92	116.21	72.41	848.94
9	1983	77.34	82.17	35.62	52.94	10.98	7.68	2.00	0.03	29.87	40.01	36.53	104.07	479.24
10	1984	351.42	271.83	121.72	19.46	5.66	7.00	9.72	14.18	2.29	56.08	64.89	203.05	1127.30
11	1985	163.51	134.62	125.09	48.15	8.45	5.39	2.95	9.68	20.46	55.86	64.64	123.53	762.33
12	1986	162.88	202.12	198.08	84.11	12.64	0.00	3.48	11.69	63.46	7.87	53.19	125.41	924.93
13	1987	180.78	86.13	60.34	58.90	6.41	11.76	29.49	10.21	5.06	55.43	102.09	80.58	687.18
14	1988	145.91	116.36	185.50	105.19	19.36	0.00	0.00	0.02	10.19	53.53	10.16	133.96	780.18
15	1989	132.62	81.87	112.28	64.05	7.19	2.43	1.39	16.78	13.84	49.17	32.29	113.29	627.20
16	1990	149.36	131.21	86.86	47.26	17.83	46.18	0.01	5.88	22.50	101.47	95.14	86.85	790.55
17	1991	146.47	128.49	152.57	44.26	8.25	54.83	5.69	9.25	18.25	48.78	44.06	70.13	731.03
18	1992	213.23	105.83	55.16	23.96	0.63	10.95	0.06	35.57	7.05	29.87	44.27	152.26	678.84
19	1993	185.53	39.77	133.15	90.26	8.36	0.50	0.00	12.60	27.32	79.01	73.28	147.96	797.74
20	1994	172.05	217.46	123.27	63.81	0.00	0.00	0.00	4.79	12.84	28.20	71.22	98.11	791.75
21	1995	106.35	83.29	85.45	10.07	2.82	0.00	0.32	0.54	8.34	19.28	102.13	114.80	533.39
22	1996	171.43	88.68	132.43	41.70	23.87	0.00	0.54	4.75	16.96	46.88	54.44	100.57	682.25
23	1997	172.67	136.05	179.35	22.94	2.91	0.00	0.00	14.43	21.29	58.13	153.07	127.11	887.95
24	1998	92.26	126.87	116.37	75.55	0.00	9.22	0.00	1.61	2.89	76.51	55.61	33.86	590.75
25	1999	89.50	119.20	157.75	78.61	11.32	0.00	1.07	7.26	23.82	83.42	26.17	49.34	647.46
26	2000	135.10	152.56	114.87	12.46	4.47	4.36	0.11	30.87	0.32	113.48	37.90	112.53	719.03
27	2001	321.57	125.17	238.76	35.67	19.22	1.91	5.10	10.51	5.31	37.37	31.64	114.98	947.21
28	2002	153.11	209.30	119.89	76.61	15.77	4.13	22.12	22.75	33.23	145.28	76.72	203.16	1082.07
29	2003	198.33	103.85	128.71	32.12	10.95	7.16	0.00	9.27	27.60	47.19	56.88	145.03	767.09
30	2004	317.96	238.86	109.35	57.98	7.25	4.20	8.61	27.84	50.42	7.88	71.53	143.59	1045.47
31	2005	65.87	172.30	128.91	39.42	0.00	0.00	0.00	15.37	6.48	107.90	76.74	117.10	730.09
32	2006	250.77	93.97	129.81	33.96	0.00	0.21	0.00	0.63	5.21	49.17	70.95	108.97	743.69
33	2007	65.58	64.65	205.05	114.87	16.08	0.00	3.63	0.00	38.81	28.02	65.69	67.76	670.14
34	2008	180.52	82.61	64.51	4.24	4.03	0.00	0.00	0.93	25.02	53.14	65.65	170.80	651.45
35	2009	72.31	101.36	135.77	18.75	0.00	0.00	0.00	0.10	7.11	44.19	108.06	141.84	629.49
36	2010	203.37	142.39	68.17	39.22	6.16	0.00	0.00	0.21	1.23	37.88	28.64	124.53	651.80
37	2011	79.48	173.38	82.24	28.54	18.10	0.20	8.39	0.00	33.75	45.42	24.65	139.42	633.57
38	2012	127.47	179.58	124.00	62.21	0.00	0.00	0.00	4.69	6.32	12.44	32.02	172.24	720.97
39	2013	184.97	80.71	203.57	3.74	10.17	3.90	0.07	3.71	6.95	133.72	30.91	132.75	795.17
40	2014	180.57	171.97	103.65	46.64	18.16	77.33	12.08	17.51	31.12	18.91	39.31	98.87	816.13
41	2015	134.73	110.93	125.09	36.36	18.73	0.06	0.11	21.71	13.52	26.36	41.06	126.65	655.29
42	2016	168.81	182.51	120.94	133.55	9.40	10.95	2.48	0.27	11.44	56.96	165.42	73.81	936.54
43	2017	166.67	187.01	140.98	48.62	3.83	0.13	2.98	9.25	15.62	69.26	65.21	136.38	845.94
44	2018	178.46	69.72	121.46	44.97	7.20	1.73	1.54	3.66	25.14	54.23	35.91	105.89	649.93
45	2019	174.51	75.68	74.44	14.50	11.95	7.11	0.12	11.05	49.77	74.35	43.94	64.95	602.37
46	2020	143.93	127.28	101.41	49.41	0.05	0.03	0.01	6.26	16.04	55.01	11.22	108.52	619.17
47	2021	165.00	119.33	232.78	76.71	4.93	23.06	15.17	6.08	24.25	36.02	30.89	96.24	830.46
N° DE DATOS		47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
MEDIA		167.18	134.62	128.15	49.66	8.51	7.08	3.33	9.55	22.12	57.74	63.01	119.50	770.5
DESV. ESTANDAR		61.26	52.80	44.01	28.73	6.67	14.92	5.94	9.28	17.53	32.78	36.48	39.02	150.50
COEF. VARIACION		0.37	0.39	0.34	0.58	0.78	2.11	1.78	0.97	0.79	0.57	0.58	0.33	0.20
PREC. MAX		351.42	271.83	238.76	133.55	23.87	77.33	29.49	35.57	84.98	145.28	175.18	242.42	1219.8
PREC. MIN		65.58	39.77	35.62	3.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	1.97	10.16	33.86	479.2



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



## 1.3. REGISTRO HIDROMETEOROLÓGICO HISTORICO DE LA TEMPERATURA

### A). TEMPERATURA MÁXIMA

T° MEDIA MAX AYAVIRI														
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	m(T°C)
1	1998	17.1	15.4	15.2	16.3	15.1	15.1	15.7	17.3	16.2	17.2	16.3	15.9	16.1
2	1999	14.6	16.2	15.6	15.7	15.3	15.1	15.3	16.1	16.7	17.6	15.7	15.7	15.8
3	2000	14.3	16.2	15.6	15.7	15.7	16.2	15.1	17.4	18.5	17.9	18.0	16.0	16.4
4	2001	16.6	16.6	15.3	16.2	15.8	16.4	15.5	17.1	17.3	16.6	18.1	16.9	16.5
5	2002	15.4	14.8	15.7	15.0	15.7	15.0	15.9	14.5	15.7	17.0	17.7	16.7	15.8
6	2003	15.0	16.5	16.3	15.3	15.8	14.9	15.9	16.4	15.6	16.8	15.9	17.4	16.0
7	2004	18.1	17.9	18.9	17.7	17.5	16.0	16.6	17.6	17.3	18.0	19.7	17.6	17.7
8	2005	13.6	13.6	14.6	15.0	15.6	13.8	15.1	15.9	17.0	16.0	15.4	15.3	15.1
9	2006	15.2	14.4	15.1	14.7	14.4	13.2	14.1	16.0	15.9	17.1	14.7	14.8	15.0
10	2007	14.7	14.2	14.5	14.7	13.9	15.6	13.7	15.3	16.1	18.4	18.7	16.8	15.6
11	2008	14.9	17.0	16.6	17.1	16.3	15.3	15.6	18.0	18.5	18.5	18.0	18.8	17.1
12	2009	15.9	17.0	15.7	15.4	16.0	15.9	16.0	18.4	18.2	18.3	19.7	16.9	17.0
13	2010	15.1	15.6	15.1	15.2	15.8	15.8	15.6	15.3	18.6	18.6	18.8	19.4	16.6
14	2011	16.7	16.8	17.9	17.4	15.9	12.7	14.2	15.4	14.9	16.2	16.2	15.5	15.8
15	2012	14.9	15.9	16.4	17.4	16.1	14.5	14.7	16.2	15.4	16.7	16.5	17.4	16.0
16	2013	15.4	15.7	16.7	17.8	18.4	15.8	15.3	13.9	17.0	17.1	16.9	16.5	16.4
17	2014	14.8	16.0	14.3	15.1	15.4	15.0	15.8	16.2	17.8	18.0	15.9	17.4	16.1
18	2015	16.4	16.4	15.8	15.8	16.8	16.3	17.5	18.3	17.8	19.0	19.2	18.0	17.3
19	2016	18.1	18.0	15.9	16.6	16.8	14.9	15.8	17.8	17.2	18.5	17.6	16.2	17.0
20	2017	15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	14.6	14.3	14.1	15.9	16.8	15.4	15.3	15.2
21	2018	14.4	13.7	13.8	13.8	15.2	15.2	15.2	13.6	16.4	17.8	16.6	17.7	15.3
22	2019	16.8	18.1	17.8	18.1	17.6	15.8	16.8	17.3	17.9	17.4	16.5	16.7	17.2
23	2020	15.1	13.8	13.6	13.8	14.4	14.5	14.1	15.6	15.8	15.2	17.2	16.5	15.0
N° DATOS	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
PROMEDIO	15.6	15.9	15.7	15.9	15.9	15.1	15.4	16.2	16.9	17.4	17.2	16.8	16.2	

### B). TEMPERATURA MÍNIMA

T° MEDIA MIN AYAVIRI														
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	m(T°C)
1	1998	2.5	2.9	3.7	-1.0	-5.4	-12.1	-8.1	-9.1	-2.0	-1.8	2.0	1.7	-2.2
2	1999	3.7	3.4	1.8	0.9	-5.7	-8.0	-11.4	-7.5	-4.1	-2.0	1.6	3.4	-2.0
3	2000	3.0	2.8	3.4	-0.5	-6.4	-8.3	-9.7	-8.3	-4.9	-0.9	-0.3	2.0	-2.3
4	2001	3.1	3.0	3.5	-1.6	-7.2	-9.5	-7.2	-6.7	-3.4	1.9	0.2	0.7	-1.9
5	2002	3.9	3.5	2.9	0.2	-5.4	-10.4	-9.7	-5.4	-3.4	0.1	2.0	2.2	-1.6
6	2003	4.3	1.9	3.4	0.2	-8.2	-8.4	-9.8	-7.2	-2.9	0.2	2.7	1.9	-1.8
7	2004	2.7	2.3	0.9	-0.3	-5.8	-7.8	-8.9	-5.9	-2.9	-1.5	-1.8	1.1	-2.3
8	2005	3.5	4.3	4.4	1.4	-3.4	-5.8	-8.4	-5.0	-6.0	1.2	2.7	2.4	-0.7
9	2006	3.5	3.7	2.9	2.3	-1.4	-4.7	-9.3	-6.4	-1.0	-2.0	1.9	2.6	-0.7
10	2007	3.0	3.3	3.2	2.2	-6.1	-8.6	-10.0	-6.9	-1.9	-3.0	-0.4	3.0	-1.9
11	2008	4.7	2.3	1.3	-1.1	-5.2	-8.2	-8.7	-7.1	-4.8	-2.0	2.7	2.5	-2.0
12	2009	4.6	2.8	4.5	2.4	-2.6	-8.8	-9.9	-8.8	-3.2	-1.5	-1.0	2.4	-1.6
13	2010	3.1	3.2	3.2	2.1	-3.0	-5.0	-7.3	-4.6	-1.8	1.1	0.9	2.2	-0.5
14	2011	4.1	3.0	1.2	0.3	-5.5	-5.6	-8.9	-6.8	-4.3	-0.3	2.2	1.4	-1.6
15	2012	2.1	1.5	5.0	2.2	-4.7	-8.0	-10.5	-8.6	-3.1	-1.9	1.4	0.8	-2.0
16	2013	2.8	1.7	1.8	-0.5	-6.2	-6.9	-9.3	-5.5	-4.0	-0.6	0.5	2.6	-2.0
17	2014	2.7	1.8	2.5	1.7	-3.7	-8.8	-7.4	-5.9	-2.3	0.0	2.4	3.5	-1.1
18	2015	3.8	5.0	3.2	2.0	-3.0	-7.5	-7.7	-7.7	-1.9	-0.7	2.8	3.9	-0.7
19	2016	4.4	2.2	2.8	-1.4	-7.3	-10.3	-10.3	-9.4	-4.8	-3.0	-0.9	-0.4	-3.2
20	2017	1.8	2.4	1.3	0.6	-4.1	-10.1	-10.3	-7.0	-6.4	-3.4	-0.5	2.1	-2.8
21	2018	3.2	2.7	1.7	-2.1	-5.3	-10.7	-9.6	-5.3	-2.6	0.0	1.8	1.7	-2.0
22	2019	2.2	3.9	3.4	-0.3	-8.1	-7.1	-9.6	-6.1	-5.4	-0.1	-0.1	0.5	-2.2
23	2020	2.2	2.8	2.7	0.5	-4.4	-10.4	-9.8	-7.4	-4.9	-1.0	-2.7	0.4	-2.7
N° DATOS	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
PROMEDIO	3.3	2.9	2.8	0.4	-5.1	-8.3	-9.2	-6.9	-3.6	-0.9	0.9	1.9	-1.8	

### C). TEMPERATURA MEDIA



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO  
POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”**



T° MEDIAAYAVIRI															m(T°C)
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		
1	1998	9.8	9.2	9.5	7.7	4.9	1.5	3.8	4.1	7.1	7.7	9.2	8.8	6.9	
2	1999	9.2	9.8	8.7	8.3	4.8	3.6	2.0	4.3	6.3	7.8	8.7	9.6	6.9	
3	2000	8.7	9.5	9.5	7.6	4.7	4.0	2.7	4.6	6.8	8.5	8.9	9.0	7.0	
4	2001	9.9	9.8	9.4	7.3	4.3	3.5	4.2	5.2	7.0	9.3	9.2	8.8	7.3	
5	2002	9.7	9.2	9.3	7.6	5.2	2.3	3.1	4.6	6.2	8.6	9.9	9.5	7.1	
6	2003	9.7	9.2	9.9	7.8	3.8	3.3	3.1	4.6	6.4	8.5	9.3	9.7	7.1	
7	2004	10.4	10.1	9.9	8.7	5.9	4.1	3.9	5.9	7.2	8.3	9.0	9.4	7.7	
8	2005	8.6	9.0	9.5	8.2	6.1	4.0	3.4	5.5	5.5	8.6	9.1	8.9	7.2	
9	2006	9.4	9.1	9.0	8.5	6.5	4.3	2.4	4.8	7.5	7.6	8.3	8.7	7.2	
10	2007	8.9	8.8	8.9	8.5	3.9	3.5	1.9	4.2	7.1	7.7	9.2	9.9	6.9	
11	2008	9.8	9.7	9.0	8.0	5.6	3.6	3.5	5.5	6.9	8.3	10.4	10.7	7.5	
12	2009	10.3	9.9	10.1	8.9	6.7	3.6	3.1	4.8	7.5	8.4	9.4	9.7	7.7	
13	2010	9.1	9.4	9.2	8.7	6.4	5.4	4.2	5.4	8.4	9.9	9.9	10.8	8.0	
14	2011	10.4	9.9	9.6	8.9	5.2	3.6	2.7	4.3	5.3	8.0	9.2	8.5	7.1	
15	2012	8.5	8.7	10.7	9.8	5.7	3.3	2.1	3.8	6.2	7.4	9.0	9.1	7.0	
16	2013	9.1	8.7	9.3	8.7	6.1	4.5	3.0	4.2	6.5	8.3	8.7	9.6	7.2	
17	2014	8.8	8.9	8.4	8.4	5.9	3.1	4.2	5.2	7.8	9.0	10.2	10.5	7.5	
18	2015	10.1	10.7	9.5	8.9	6.9	4.4	4.9	5.3	8.0	9.2	11.0	11.0	8.3	
19	2016	11.3	10.1	9.4	7.6	4.8	2.3	2.8	4.2	6.2	7.8	8.4	7.9	6.9	
20	2017	8.5	8.7	8.5	8.0	5.6	2.3	2.0	3.6	4.8	6.7	7.5	8.7	6.2	
21	2018	8.8	8.2	7.8	5.9	5.0	2.3	2.8	4.2	6.9	8.9	9.2	9.7	6.6	
22	2019	9.5	11.0	10.6	8.9	4.8	4.4	3.6	5.6	6.3	8.7	8.2	8.6	7.5	
23	2020	8.7	8.3	8.2	7.2	5.0	2.1	2.2	4.1	5.5	7.1	7.3	8.5	6.2	
N° DATOS		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
PROMEDIO		9.4	9.4	9.3	8.2	5.4	3.4	3.1	4.7	6.6	8.3	9.1	9.3	7.2	



## ANEXO II. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA

### 2.1. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA POZA POJPOQUELLA



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**  
Nº0053-21-LAQ

SOLICITANTE: Ing. MAX AGUIRRE POZO

MUESTRA : AGUA TERMAL

CODIGO : 1A (POZO)

LUGAR : POPPOQUELLA

DISTRITO : AYAVIRI

PROVINCIA : MELGAR

REGION : PUNO

FECHA : C/24/03/2021

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

=====

pH	6.76
C.E. mS/cm	11.70
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	1950.00
Calcio ppm	418.00
Magnesio ppm	207.00
Sodio ppm	1985.00
Potasio ppm	433.20
Cloruros ppm	2975.00
Sulfatos ppm	2262.80
Bicarbonatos ppm	1632.00
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	32.20
Boro ppm	1.22
Sales solubles totales ppm	11964.40

=====

\* ANALISIS DEL AGUA, JEAM RODIER, 9ª EDICION  
Cusco, 26 de Marzo 2021

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

 Melquiades Herrera Arriola  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



# “ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL BALNEARIO POJPOQUELLA DISTRITO DE AYAVIRI- PUNO”



## 2.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA – CANAL DEL COLEGIO

M.M.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD 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**  
Nº0054-21-LAQ

**SOLICITANTE:** Ing. MAX AGUIRRE POZO

**MUESTRA :** AGUA TERMAL

**CODIGO :** 3C (CANAL COLEGIO)

**DISTRITO :** AYAVIRI

**PROVINCIA :** MELGAR

**REGION :** PUNO

**FECHA :** C/24/03/2021

**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:**

=====

pH	7.05
C.E. mS/cm	10.71
Dureza ppm CaCO <sub>3</sub>	1825.20
Calcio ppm	394.50
Magnesio ppm	191.70
Sodio ppm	1952.20
Potasio ppm	406.40
Cloruros ppm	2762.20
Sulfatos ppm	2076.90
Bicarbonatos ppm	1512.30
Carbonatos ppm	0
Hierro ppm	28.50
Boro ppm	1.10
Sales solubles totales ppm	10917.20

=====

\* ANALISIS DEL AGUA , JEAM RODIER, 9ª EDICION

Cusco, 26 de Marzo 2021

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

 Melquides Herrera Arzúca  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
DE ANÁLISIS QUÍMICO