

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ACUÍFEROS PARA LA
EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL
SECTOR DE ULLANCANI DEL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO
COTABAMBAS APURIMAC - 2025**

PRESENTADO POR:

Br. CELIA ANCASI VERA

Br. MARIA ESTHER RIVERA QUISPE

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

ASESOR:

Dra. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA DE ACUIFEROS
PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN
EL SECTOR DE ULLANCANI DEL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO
COTABAMBA APURIMAC - 2025

Presentado por: MARIA ESTHER RIVERA QUISPE DNI N° 48056839;
presentado por: CELIA ANCASI VERA DNI N°: 70031847
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 09 %.

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

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 03 de SETIEMBRE de 20 26

JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

Firma

Post firma JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

Nro. de DNI 2380 95 33

ORCID del Asesor 0000-0001-9359-0481

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:620127860

Ancasi- Rivera

Evaluación Hidrogeológica de Acuíferos para la Explotación Sostenible de Aguas Subterráneas en el Sector de Ullancani

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:620127860

Fecha de entrega

3 sep 2026, 3:47 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 sep 2026, 3:51 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Ancasi,C.-Rivera,M.pdf

Tamaño del archivo

16.2 MB

180 páginas

39.159 palabras

210.618 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
312 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos a nuestros padres, porque ellos siempre estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo y sus consejos para hacer de nosotros una mejor persona.

A los ingenieros de nuestra escuela profesional, por todos los conocimientos adquiridos en toda la etapa de aprendizaje.

A nuestra asesora de tesis, quien nos apoyó en la realización de la tesis, dándonos ánimos y tiempo necesario para realizarnos profesionalmente, a nuestros amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Mi más grande agradecimiento primeramente a Dios, a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a toda la escuela profesional de Ingeniería Geológica, a mis docentes, quienes con su enseñanza me han permitido crecer cada día como un gran profesional. A la Dra. Josefina Gutiérrez Escalante, asesor de tesis, por su apreciada guía y asesoramiento en la realización del presente trabajo de investigación.

A mis padres presentes por su apoyo constante e incondicional, hermanos, hermanas porque es gracias a ellos este logro, a mis amistades más sinceras y genuinas, que día a día contribuyeron con un grano de arena en la realización de este trabajo de investigación.

Atte. María Esther

Porque creo y confío en ti, gracias por acompañarme en cada paso, por darme fuerzas cuando me siento débil y por llenarme de esperanza cuando las cosas se ponen difíciles. ¡Gracias a ti Diosito!

Gracias por tus sacrificios silenciosos, por tus desvelos, tu paciencia y tu entrega. Eres mi ejemplo de fortaleza, mi refugio en los días grises y mi alegría en los días buenos. ¡Gracias Mimi!

Gracias por el esfuerzo que a veces nadie ve, por las lágrimas que limpié sola, y por las sonrisas que aprendí a dar de nuevo. ¡Gracias Celia!

Atte. Celia

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	16
1.1. Ubicación.....	16
1.2. Accesibilidad	16
1.3. Planteamiento del problema.....	17
1.3.1. Descripción del problema	17
1.3.2. Formulación del problema	18
1.3.2.1. Problema general	18
1.3.2.2. Problemas específicos.....	18
1.4. Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5 Hipótesis	19
1.5.1 Hipótesis general.....	19
1.5.2 Hipótesis específicas.....	19
1.6. Justificación	19
1.7 Limitaciones.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	21
2.1. Marco referencial.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	24

2.1.3. Antecedentes locales	25
2.2. Marco conceptual.....	26
2.3. Bases teóricas.....	49
2.3.1. Hidrogeología	49
2.3.2. Acuíferos y evaluación hidrogeológica	50
2.3.3. Prospección geofísica aplicada a la identificación de acuíferos	52
2.3.4. Hidroquímica de aguas subterráneas	53
2.3.5. Hidroquímica de aguas subterráneas	54
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.1. Métodos de investigación	55
3.1.1 Tipo de investigación.....	55
3.1.2. Nivel de investigación.....	55
3.1.3. Diseño de la investigación	55
3.1.4. Operacionalización de variables	55
3.2. Métodos de trabajo.....	57
3.2.1. Equipos y herramientas.....	57
3.2.2. Materiales.....	57
CAPITULO IV: RESULTADOS	58
4.1. Geomorfología	58
4.2. Litoestratigrafía	68
4.3. Geología estructural	73
4.4. Hidrología.....	95

4.5.	Prospección geofísica.....	113
4.6.	Hidrogeología.....	133
4.7.	Oferta y demanda hídrica para consumo humano	156
4.8.	Caracterización Hidroquímica.....	158
4.9.	Análisis ambiental	168
CAPÍTULO V. DISCUSION DE RESULTADOS		170
5.1.	Discusión para el objetivo 1:.....	170
5.2.	Discusión para el objetivo 2:.....	171
5.3.	Discusión para el objetivo 3:.....	172
CONCLUSIONES		174
RECOMENDACIONES.....		176
REFERENCIAS.....		178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación.....	16
Figura 2 Columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomas 29-r	30
Figura 3 Dominios Morfoestructurales del sur del Perú.....	32
Figura 4 Pliegues simétricos por fuerzas compresivas en el sector de Ullancani.....	33
Figura 5 Representación esquemática del principio de resistividad	34
Figura 6 Resistividad en Ohm.ms en rocas y minerales	35
Figura 7 Valores de resistividad en rocas, suelos y minerales.....	36
Figura 8 Métodos geoelectricos de prospección hidrogeológica.....	36
Figura 9 Esquematzación del arreglo SEV Schlumberger	37
Figura 10 Arreglo SEV Schlumberger.....	37
Figura 11 Tipos de acuíferos según su estructura.....	41
Figura 12 Tipos de acuíferos según su porosidad.....	42
Figura 13 Clasificación de acuíferos según su permeabilidad en m/día.....	44
Figura 14 Clasificación de acuíferos según su permeabilidad en m/día.....	45
Figura 15 Conductividad Vs. Total de Sólidos Disueltos (TDS)	45
Figura 16 Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	47
Figura 17 Diagrama de Piper	48
Figura 18 Diagrama de Piper	48
Figura 19 Diagrama de Stiff	49
Figura 20 Cimas allanadas de montaña	58
Figura 21 Vertiente de montaña allanada en la Formación Huallhuani	60
Figura 22 Vertiente de montaña empinada en la formación Huallhuani	60
Figura 23 Vertiente de montaña empinada en la formación Huallhuani	61
Figura 24 Altiplanicie allanada en depósitos morrénicos.....	62
Figura 25 Altiplanicie ondulada	62

Figura 26	Altiplanicie disectada en depósitos morrénicos	63
Figura 27	Fondo de valle glaciar y aluvial en depósitos morrénicos.....	64
Figura 28	Terraza media disectada en depósitos aluviales	65
Figura 29	Terraza media sin disección en depósitos morrénicos	65
Figura 30	Terrazas bajas en el rio Challhuahuacho en depósitos aluviales.....	66
Figura 31	Mapa geomorfológico	67
Figura 32	Presencia del afloramiento de arenisca en la vertiente de montaña	68
Figura 33	Afloramientos de calizas fracturadas y karstificadas	70
Figura 34	Depósitos eluviales y morrénicos en el sector de Ullancani	71
Figura 35	Mapa geológico	72
Figura 36	Ventana estructural 01	74
Figura 37	Ventana estructural 02	77
Figura 38	Ventana estructural 03	80
Figura 39	Ventana estructural 04	83
Figura 40	Ventana estructural 05	86
Figura 41	Mapa geológico estructural	89
Figura 42	Curva hipsométrica en la cuenca de Ullancani	95
Figura 43	Histograma de precipitación periodo 1985-2025	97
Figura 44	Precipitación media mensual en el sector de Ullancani	97
Figura 45	Histogramas de temperaturas periodo 1985-2025	103
Figura 46	Variación mensual de temperaturas	104
Figura 47	Variación de la evapotranspiración (ETP) mediante los 3 métodos	108
Figura 48	Caudales generados y aforados en los meses de abril a septiembre.....	111
Figura 49	Curvas de persistencia de caudales generados	112
Figura 50	Instalación y medición de la resistividad del suelo	113
Figura 51	Instalación y medición en campo a través de SEV	114

Figura 52 Medición con el equipo geoelectrico de resistividad	114
Figura 53 Resistividad y profundidad SEV-001	116
Figura 54 Resistividad y profundidad SEV-002.....	118
Figura 55 Resistividad y profundidad SEV-003	120
Figura 56 Resistividad y profundidad SEV-004.....	122
Figura 57 Resistividad y profundidad SEV-005	124
Figura 58 Resistividad y profundidad SEV-006.....	126
Figura 59 Resistividad y profundidad SEV-007.....	128
Figura 60 Ubicación en planta de los SEV que forman la sección 1	129
Figura 61 Procesamiento en el software Zond1P1D sección 1	129
Figura 62 Interpretación de la sección 1	130
Figura 63 Ubicación en planta de los SEV que forman la sección 2.....	130
Figura 64 Procesamiento en el software Zond1P1D sección 2	131
Figura 65 Interpretación de la sección 2	131
Figura 66 Mapa de ensayos SEV	132
Figura 67 Caudales aforados.....	135
Figura 68 Registro y aforo de manantes	136
Figura 69 Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963).....	137
Figura 70 Areniscas cuarzosas fracturadas	139
Figura 71 Calizas fracturadas y karstificadas	140
Figura 72 Depósitos morrénicos en quebradas cubierto por cobertura vegetal.....	141
Figura 73 Clasificación de manantiales según su productividad (Meinzer, 1927)...	145
Figura 74 Modelo hidrogeológico conceptual en 2D	153
Figura 75 Sección geológica AA'	154
Figura 76 Mapa hidrogeológico.....	155
Figura 77 Diagrama comparativo de temperatura	159

Figura 78 Diagrama comparativo para pH	160
Figura 79 Diagrama comparativo para conductividad eléctrica	161
Figura 80 Representación de las muestras en el diagrama de Piper	166
Figura 81 Representación de las muestras en el diagrama de Stiff	168
Figura 82 Caracterización del macizo rocoso E01	182
Figura 83 Caracterización del macizo rocoso E02	183
Figura 84 Caracterización del macizo rocoso E03	184
Figura 85 Caracterización del macizo rocoso E04	185
Figura 86 Caracterización del macizo rocoso E05	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM y altitud.....	16
Tabla 2 Unidades geomorfológicas de la región de Apurímac.....	27
Tabla 3 Resistividad de las rocas y minerales.....	35
Tabla 4 Clasificación de huecos y tipos de porosidad en kársticos	43
Tabla 5 Iones presentes en el agua.....	45
Tabla 6 Índice de calidad de la roca RQD E-01	75
Tabla 7 <i>Puntuación RQD según Bienasky</i>	75
Tabla 8 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-01	75
Tabla 9 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-02	75
Tabla 10 Índice de calidad de la roca RQD E-02	77
Tabla 11 Puntajes RQD en el sistema RMR de Bieniawski E-02	78
Tabla 12 RQD para la estación E-01	78
Tabla 13 <i>Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-02</i>	78
Tabla 14 Índice de calidad de la roca RQD E-03	80
Tabla 15 Puntajes RQD en el sistema RMR de Bieniawski E-03	81
Tabla 16 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-03	81
Tabla 17 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-03	81
Tabla 18 Índice de calidad de la roca RQD E-04	83
Tabla 19 Puntajes RQD E-04.....	84
Tabla 20 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-04	84
Tabla 21 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-04	84
Tabla 22 Índice de calidad de la roca RQD E-05	86
Tabla 23 Puntajes RQD en el sistema RMR de Bieniawski E-05	87
Tabla 24 <i>Determinación y puntuación del RQD para la estación E-05</i>	87
Tabla 25 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-03	87

Tabla 26	Área y perímetro del área de estudio	95
Tabla 27	Parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la zona de estudio	95
Tabla 28	Registro de las precipitaciones 1985-2025	98
Tabla 29	Temperaturas mínimas 1985-2025	99
Tabla 30	Temperaturas máximas 1985-2025	100
Tabla 31	Temperaturas medias 1985-2025	102
Tabla 32	Humedad relativa Uyancani 1985-2025	104
Tabla 33	Evapotranspiración Método Thornthwaite - estación Queuña 2025.....	106
Tabla 34	Evapotranspiración Hargreaves Estación Queuña	107
Tabla 35	Evapotranspiración Serruto Estación Queuña	108
Tabla 36	Resumen de la evapotranspiración en el sector de Ullancani, 2025	108
Tabla 37	Precipitación efectiva 1985-2025 y caudales aforados	109
Tabla 38	Caudales generados y aforados	110
Tabla 39	Caudales disponibles en el sector de Ullancani, 2025	111
Tabla 40	Coordenadas geográficas del SEV y profundidad alcanzada	113
Tabla 41	Resultados SEV-001	115
Tabla 42	Resultados SEV – 002	117
Tabla 43	Resultados SEV-003	119
Tabla 44	Resultados SEV-004	121
Tabla 45	Resultados SEV-005	123
Tabla 46	Resultados SEV-006	125
Tabla 47	Resultados SEV-007	127
Tabla 48	Inventario de manantiales y bofedales en el sector de Ullancani 2025	134
Tabla 49	Tabla de valores de permeabilidad por tipo de material	137
Tabla 50	Caudal de los manantes aforados	143
Tabla 51	Clasificación de los manantes según Meinzer, 1927	144

Tabla 52 Clasificación de los manantes en el sector de Ullancani	144
Tabla 53 Precipitación y temperatura medias regionalizada	146
Tabla 54 Determinación del coeficiente de escurrimiento	146
Tabla 55 Resumen de datos hidrológicos en el sector de Ullancani	147
Tabla 56 Resumen de datos hidrológicos e hidrogeológicos en m ³ /s	147
Tabla 57 Población del distrito de Challhuahuacho, 2025.....	156
Tabla 58 Estimación de la población del distrito de Challhuahuacho al 2025	156
Tabla 59 Población zona rural y urbana del distrito de Challhuahuacho.....	157
Tabla 60 Demanda poblacional en el sector de Ullancani	157
Tabla 61 Parámetros físicoquímicos de los manantiales	163
Tabla 62 Concentración de iones mayoritarios.....	163
Tabla 63 Matriz de consistencia.....	187

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las características hidrogeológicas de los acuíferos para una futura explotación sostenible de aguas subterráneas en el sector de Ullancani, distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, Apurímac, 2025. La problemática surge por limitada información hidrogeológica de la zona, lo que dificulta una adecuada gestión del recurso hídrico y la toma de decisiones para un aprovechamiento sostenible.

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental y nivel descriptivo. Los resultados evidenciaron un sistema acuífero complejo conformado por acuíferos fisurados asociados a areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani, acuíferos kársticos desarrollados en calizas fracturadas de la Formación Arcurquina y acuíferos porosos relacionados con depósitos morrénicos. Se identificaron 09 manantes y 06 bofedales, con un caudal total aforado de 14.65 L/s en época seca y 51.58 L/s en época húmeda, destacando los manantes Majana (5.68 L/s), Chuño Percana (4.12 L/s) y Chakulluqu (2.14 L/s). Las pruebas de permeabilidad determinaron valores entre 3.38 y 61.62 m/día, clasificando las unidades evaluadas como permeables y favorables para la infiltración y recarga hídrica.

Los análisis hidroquímicos mostraron una composición predominante cálcica bicarbonatada (Ca-HCO_3), con variaciones locales hacia facies sulfatadas y cloruradas, presentando valores de pH entre 6.5 y 7.5 y baja conductividad eléctrica (10–50 $\mu\text{S/cm}$), evidenciando condiciones físicoquímicas favorables para su aprovechamiento.

Finalmente, se concluye que el sector Ullancani presenta condiciones hidrogeológicas favorables para el aprovechamiento sostenible de aguas subterráneas, condicionado por la litología, fracturamiento estructural, permeabilidad y dinámica de recarga del sistema acuífero.

Palabras clave: Hidrogeología, Acuíferos, Aguas subterráneas, Prospección geofísica, Hidroquímica.

Abstract

This research aimed to determine the hydrogeological characteristics of the aquifers to enable future sustainable groundwater exploitation in the Ullancani sector (Challhuahuacho District, Cotabambas Province, Apurímac region). The issue stems from limited hydrogeological information regarding the area, which hinders proper water resource management and decision-making for sustainable use.

The study employed a quantitative approach, utilizing a non-experimental design and a descriptive level of analysis. The results revealed a complex aquifer system comprising fissured aquifers associated with quartzose sandstones of the Hualhuani Formation, karst aquifers developed in fractured limestones of the Arcurquina Formation, and porous aquifers associated with moraine deposits. Nine springs and six bofedales were identified, with a total gauged flow rate of 14.65 L/s during the dry season and 51.58 L/s during the wet season; notable springs included Majana (5.68 L/s), Chuño Percana (4.12 L/s), and Chakulluqu (2.14 L/s). Permeability tests yielded values ranging from 3.38 to 61.62 m/day, classifying the evaluated units as permeable and favorable for infiltration and groundwater recharge.

Hydrochemical analyses indicated a predominantly calcium-bicarbonate (Ca-HCO_3) composition, with local variations toward sulfate and chloride facies; pH values ranged from 6.5 to 7.5, and electrical conductivity was low (10–50 $\mu\text{S/cm}$), demonstrating physicochemical conditions favorable for utilization.

Finally, it is concluded that the Ullancani sector presents favorable hydrogeological conditions for the sustainable use of groundwater, determined by the lithology, structural fracturing, permeability, and recharge dynamics of the aquifer system.

Keywords: Hydrogeology, Aquifers, Groundwater, Geophysical prospecting, Hydrochemistry.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Ubicación

El sector de Ullancani se ubica en el Centro Poblado de Queuña, distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac.

Las coordenadas UTM en la zona 19L y con datum WGS 84 son los siguientes:

Tabla 1 Coordenadas UTM y altitud

Coordenadas UTM		
Este(m)	Norte (m)	Altitud(m.s.n.m.)
794239	8433908	3980

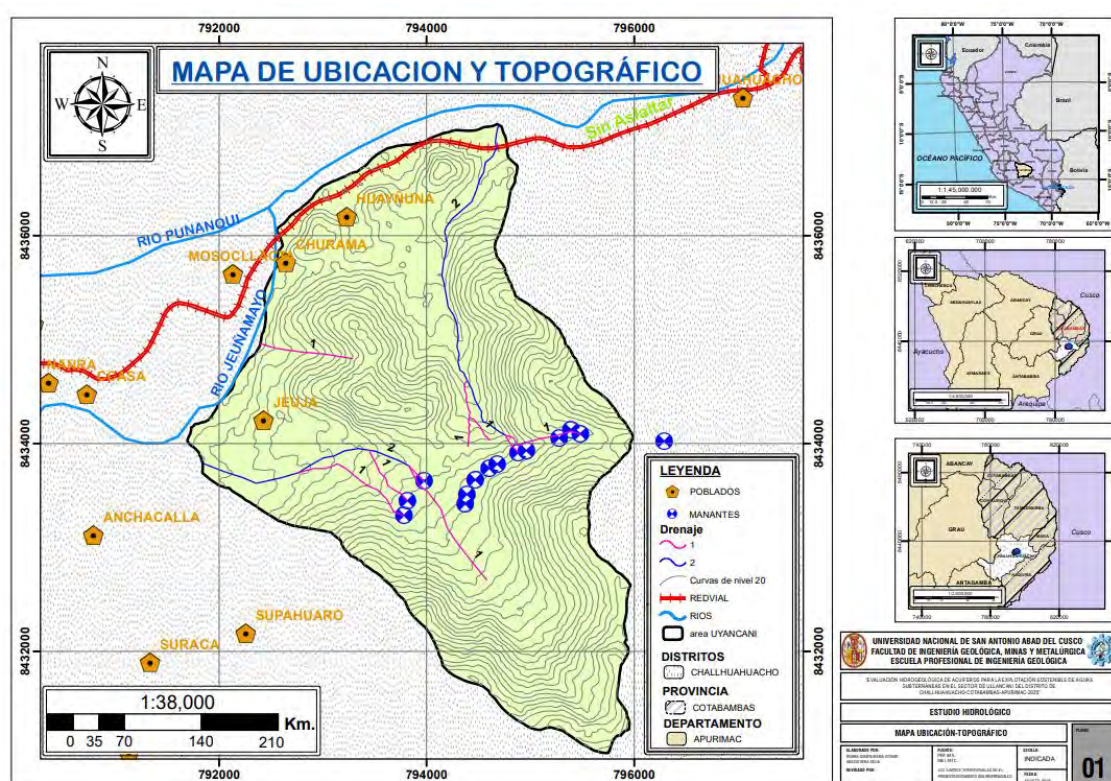


Figura 1 Mapa de ubicación

Nota. Delimitación del área de estudio del Sector de Ullancani, Centro Poblado de Queuña, distrito de Challhuahuacho, Cotabambas, Apurímac.

1.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio, ubicada en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, región Apurímac, se realiza mediante vías terrestres desde diferentes ciudades principales. Las principales rutas de acceso son las siguientes:

- Ruta Cusco – Yaurisque – Challhuahuacho - Ullancani: corresponde a una distancia aproximada de 260 km, con un tiempo estimado de recorrido de 8 horas, dependiendo de las condiciones de la vía.
- Ruta Cusco - Izcuchaca – Sumaro - Cotabambas - Challhuahuacho – Ullancani: presenta una distancia aproximada de 180 km y un tiempo estimado de recorrido de 6 horas.
- Ruta Arequipa - Espinar - Santo Tomás - Quiñota – Haquira - Challhuahuacho – Ullancani: presenta un tiempo aproximado de recorrido de 15 horas hasta el área de estudio.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Descripción del problema

La ausencia de estudios hidrogeológicos detallados dificulta la toma de decisiones para el manejo sostenible de las aguas subterráneas. Es fundamental conocer la dinámica del flujo subterráneo, los procesos de recarga, la interacción con aguas superficiales y la calidad del recurso, con la finalidad de prevenir problemas relacionados con la sobreexplotación, el descenso piezométrico y la contaminación del agua subterránea (Fetter, 2018).

El agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano, agrícola e industrial en diversas regiones del mundo, especialmente en zonas donde los recursos superficiales son limitados (Custodio & Llamas, 2012). En este contexto, la gestión sostenible de este recurso requiere información precisa sobre las condiciones hidrogeológicas, como la geometría del acuífero, profundidad del nivel freático, características hidráulicas, zonas de recarga y calidad del agua. Sin embargo, en muchas zonas rurales y semiáridas, esta información es limitada o inexistente.

En el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, existe limitada información hidrogeológica que permita comprender el comportamiento del sistema acuífero local. Los antecedentes disponibles corresponden principalmente a estudios geológicos y climáticos generales, los cuales no permiten determinar las características del acuífero, sus zonas de recarga y descarga, ni las condiciones de calidad del agua subterránea. Esta ausencia de información representa una limitación

para la planificación y gestión adecuada del recurso hídrico, debido al riesgo de realizar una explotación sin criterios técnicos de sostenibilidad.

Por ello, la presente investigación tiene como finalidad evaluar las características hidrogeológicas de los acuíferos del sector de Ullancani, mediante el análisis de sus condiciones geológicas, presencia y distribución de aguas subterráneas e hidroquímica, con el propósito de establecer condiciones técnicas para la explotación sostenible de aguas subterráneas.

1.3.2. Formulación del problema

1.3.2.1. Problema general

¿Cuáles son las características hidrogeológicas de los acuíferos que determinan la viabilidad de la explotación sostenible de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025?

1.3.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características geológicas que condicionan la formación y almacenamiento de los acuíferos en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025?
- ¿Cuáles son las características y distribución de los acuíferos identificados mediante prospección geofísica que permiten determinar su potencial para la explotación de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025?
- ¿Cuáles son las características hidroquímicas de las aguas subterráneas y su aptitud para la explotación sostenible en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar las características hidrogeológicas de los acuíferos para evaluar la viabilidad de la explotación sostenible de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones geológicas que controlan la formación y almacenamiento de los acuíferos en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuhahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025.
- Determinar las características y distribución de los acuíferos mediante prospección geofísica en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuhahuacho – Cotabambas - Apurímac, 2025.
- Determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuhahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Las características hidrogeológicas de los acuíferos del sector de Ullancani presentan condiciones favorables que permiten una explotación sostenible de aguas subterráneas.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Las características geológicas favorecen la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Chalhuhahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025.
- Los acuíferos identificados mediante prospección geofísica presentan características favorables de distribución y profundidad para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Chalhuhahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025.
- La composición hidroquímica de las aguas subterráneas está condicionada por la interacción agua-roca, presentando predominancia de iones mayoritarios característicos del medio geológico del sector de Ullancani del distrito de Chalhuhahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025.

1.6. Justificación

Social

La población del sector de Ullancani requiere contar con información técnica sobre la disponibilidad, calidad y comportamiento de las aguas subterráneas, debido a la limitada información hidrogeológica existente en la zona. La caracterización hidrogeológica permitirá

generar conocimiento sobre las condiciones del acuífero, contribuyendo a una adecuada gestión y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. La población beneficiaria está conformada por 48 familias, quienes podrán verse favorecidas mediante la generación de información técnica orientada a mejorar la disponibilidad del agua para sus necesidades básicas y productivas.

Práctica

La realización de la evaluación hidrogeológica en esta área permitirá identificar y caracterizar las condiciones geológicas, estructurales, geofísicas e hidroquímicas que condicionan la ocurrencia, circulación y calidad de las aguas subterráneas. Esta información permitirá evaluar las condiciones hidrogeológicas del acuífero, identificar zonas favorables para la captación y determinar su potencial de aprovechamiento sostenible. Los resultados servirán como información técnica para el diseño de futuras obras de captación y para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales y regionales orientadas a una adecuada gestión del recurso hídrico.

Teórico-Científico

Desde el punto de vista teórico-científico, la investigación permitirá ampliar el conocimiento hidrogeológico del sector de Ullancani, aportando información relevante sobre la relación entre la litología, estructuras geológicas y comportamiento hidroquímico de los acuíferos. Los resultados obtenidos constituirán una base técnica para futuras investigaciones y contribuirán al desarrollo de modelos conceptuales hidrogeológicos a escala local y regional.

1.7 Limitaciones

Escasa o nula información hidrogeológica previa del área de estudio, lo que limita la disponibilidad de antecedentes técnicos para la comparación y validación de los resultados obtenidos.

Ausencia de pozos o captaciones de aguas subterráneas en el sector de Ullancani, lo que limita la disponibilidad de registros históricos de niveles piezométricos, caudales de explotación y comportamiento hidráulico del acuífero.

La ausencia de pruebas de bombeo en el área de estudio limita la determinación directa de parámetros hidráulicos del acuífero, tales como transmisividad, conductividad hidráulica y capacidad de producción; por ello, la evaluación de la viabilidad de explotación sostenible se realizará mediante la integración de las características geológicas, geofísicas e hidroquímicas identificadas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes internacionales

Chibani et al. (2025) en su estudio titulado “Caracterización hidrogeológica del sistema acuífero multicapa en la región fronteriza tunecino-argelino mediante técnicas geológicas y geofísicas”, tuvieron como objetivo caracterizar la hidrogeología del sistema acuífero multicapa. En el que los recursos hídricos subterráneos provienen de formaciones kársticas del Cretácico Superior y el Eoceno Inferior, que representan el 13,5% de las reservas de aguas subterráneas someras de Túnez. Asimismo, identificaron que el sistema de fracturas y cortes geológicos transversales, la deposición de sedimentos, las discordancias y las brechas litoestratigráficas desempeñan un papel importante en el control de la recarga de acuíferos. Además, señalaron que la presencia de calizas permite el almacenamiento de grandes volúmenes de agua y favorece la recarga de los acuíferos. Estos resultados evidencian la importancia de las características geológicas y estructurales en la dinámica de los sistemas acuíferos y la recarga de aguas subterráneas.

Nemer, Z., *et al.* (2023) en su artículo “Hydrogeophysical Investigation of Aquifer Parameters and Seawater Intrusion: A Case Study from Eastern Mitidja Plain, Algeria” [Investigación hidrogeofísica de los parámetros del acuífero y la intrusión de agua de mar: un estudio de caso en la llanura oriental de Mitidja, Argelia] tuvieron por objetivo evaluar la aplicación de métodos geofísicos para estimar los parámetros hidráulicos del acuífero y analizar la intrusión marina en la llanura oriental de Mitidja. Los valores estimados variaron de 1000 a 2000 m²/día para la transmisividad (T) y de 3,5 a 14,5 m/día para la conductividad hidráulica (K). Asimismo, identificaron una primera zona se encuentra contaminada por agua de mar debido a la presencia de formaciones permeables con alta transmisividad, las cuales favorecen el avance rápido de la interfaz entre agua salada y dulce. Por otro lado, reconocieron

una segunda zona de agua dulce caracterizada por elevados valores de transmisividad y conductividad hidráulica. Finalmente, concluyeron que la integración de métodos geofísicos con análisis hidrogeológicos mejora significativamente la caracterización de acuíferos complejos y fortalece la gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos.

Gouasmia, M., *et al.* (2021) en su artículo “Hydrogeological characterization of a carbonate aquifer using geophysical and geochemical approach: case of the Krachoua formation in Tataouine area, Southern Tunisia” [Caracterización hidrogeológica de un acuífero carbonatado mediante un enfoque geofísico y geoquímico: caso de la Formación Krachoua en la zona de Tataouine, sur de Túnez], tuvieron por objetivo caracterizar hidrogeológicamente el acuífero carbonatado de la formación Krachoua mediante métodos geofísicos y geoquímicos. Los autores determinaron que esta formación constituye el principal acuífero de la zona y está conformado por calizas y dolomías fracturadas, las cuales permiten el almacenamiento y la transmisión de agua subterránea. Asimismo, identificaron que la recarga del acuífero se produce principalmente mediante la infiltración directa de agua meteórica proveniente de la escorrentía superficial. Los resultados hidroquímicos mostraron que las aguas subterráneas presentan facies sulfatadas y cloruradas cálcico magnésicas, asociados con la interacción del agua con formaciones evaporíticas que se acumulan en el acuífero detrítico aguas abajo. Estos resultados resaltan la importancia de las características litológicas, estructurales y geoquímicas en el almacenamiento, la recarga y el flujo de las aguas subterráneas.

Ortuño (2025) en su tesis titulada “Caracterización hidrogeológica de acuíferos del altiplano boliviano para un plan de manejo” tuvo por objetivo determinar la hidrogeología del sistema de acuíferos de Challapampa, Paria y Cochiraya en Oruro, Bolivia. Geológicamente se caracteriza por afloramientos rocosos del Paleozoico al noreste y rocas volcánicas al este de los límites del acuífero. Al centro del área, depósitos cuaternarios. Geomorfológicamente, presenta abanicos aluviales de composición litológica de gravas, arenas y arcillas, una planicie

extensa con procesos fluviolacustres. Los análisis isotópicos contribuyeron a contrastar el modelo de flujo, concluyendo que el sistema acuífero recibe aportes de agua de zonas altas y frías, infiltrando abanicos aluviales, constituyéndose en una zona de almacenamiento y transmisión de agua. Empleando un enfoque que combina aspectos geológicos, geomorfológicos, geofísicos, de suelos, hidroquímicos e isotópicos.

Vargas, R., Alpízar, R., et al (2025) en su tesis titulada “Caracterización hidrogeológica del sistema de acuíferos en las comunidades Isla Chica y La Trocha, Alajuela”, identificaron dos acuíferos. La primera corresponde a un acuífero somero, libre y cubierto, de baja transmisividad, formado por capas intercaladas de arena y arcilla. Un segundo acuífero más profundo, semiconfinado a confinado, formado de arenas volcanoclásticas. Este acuífero se encuentra sobreyacido por una capa de arcilla rojiza poco permeable con un promedio de 30 m de espesor. Asimismo, mediante la aplicación de métodos geofísicos, lograron identificar indirectamente zonas asociadas con diferentes grados de permeabilidad, permitiendo establecer características de la distribución y comportamiento de los materiales.

Rojas R., (2025) en su trabajo de investigación “Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Itata, Región de Ñuble”, caracterizó las unidades geológicas e hidrogeológicas de la cuenca, identificando una unidad metamórfica paleozoica, una unidad intrusiva paleozoica, una unidad de intrusivos jurásicos y una formación volcanosedimentaria de origen marino y volcánico afectado por procesos de fallamiento y plegamiento con un potencial hidrológico medio a bajo en roca fisurada. Los parámetros hidrológicos de evapotranspiración, recarga e infiltración, usando 41 años de datos meteorológicos de 14 estaciones pluviométricas y 3 meteorológicas. Identificó 6 unidades hidrogeológicas determinando un acuífero libre y superficial.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Valencia C., y Almanza G. tuvieron el objetivo de caracterizar la geología, geofísica e hidrogeología de la parte media - alta de la cuenca Paucarbamba con fines de exploración del agua subterránea. La investigación es de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, explicativo, no experimental. Se determinó que las formaciones geológicas presentes en la Cuenca Paucarbamba abarcan un periodo desde el Mesozoico-Albiano hasta el Cenozoico Holoceno con depósitos Cuaternarios Q-co-al y Q-al. (Formaciones Maras, Quilque, Rumicolca, San Sebastián, depósitos cuaternarios Coluvio aluviales y aluviales). Acuíferos en la Formación Quilque, Depósitos Cuaternarios Coluvio Aluviales, Depósitos Aluviales y Formación Rumicolca. Acuitardos en Formación Maras y Formación San Sebastián. La permeabilidad mayor 63.935 m/día se observa en los depósitos Coluvio-Aluviales ubicados en el eje de la quebrada de la parte Media-Alta. Transmisividad de los Depósitos Coluvio Aluviales con 434.865 m²/día, valor que clasifica como buen transmisor de agua subterránea, incluyendo a la Formación Quilque con 756.08m²/día como excelente transmisor de agua subterránea, teniendo una reserva total de agua subterránea de 36 millones de m³.

Huamán J., y Melgarejo Y., (2024) tuvieron por objetivo estudiar la hidrogeología para determinar el potencial hídrico en la cuenca San Juan, se identificaron acuíferos fisurados que pertenecen a la formación Kayra, Huancané de origen sedimentario, la formación Pachatusan y el macizo Urubamba de origen ígneo, acuíferos no consolidados como depósitos fluviales y morrénicos, además encontraron acuitardos no consolidados que de los depósitos aluviales, coluviales y los acuitardos sedimentarios de las formaciones Quilque, Chilca, Maras, Puquín y Paucarbamba. La cuenca San Juan presentó un balance hídrico, entre los aportes y las pérdidas de agua en toda la cuenca hidrogeológica, -241.78 mm por año, este dato es un déficit de almacenamiento, el cual vendría hacer el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua. Mediante el método de Schlumberger se determinó 5

litologías diferentes con resistividades que varían entre 130-260 Ohmio-m, corresponde a las areniscas saturadas de la formación Kayra con potencia mayor a 42 metros.

2.1.3. Antecedentes locales

Huaranca N. y Quispe I., (2024) estudiaron la geología de la microcuenca de Pacramayo del distrito de Lucre con el objetivo de identificar fuentes de agua e identificar las zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas en la microcuenca. La evapotranspiración real fue de 502,3 mm/año, el escurrimiento superficial 88,07 mm/año y la infiltración fue 17,55 mm/año, el balance hídrico entre aportes y pérdidas de agua, en toda la microcuenca hidrogeológica fue 39,21 mm, que es el valor del agua acumulada en los acuíferos. La microcuenca formada por la formación Kayra, Soncco miembro I y II, formación Punacancha, depósitos cuaternarios como aluviales y coluviales, deluviales, eluviales y fluviales. En las unidades hidrogeológicas se distinguieron tres tipos de acuíferos más importantes: los acuíferos fisurados sedimentarios de Kayra, el acuífero sedimentario pobre de Sonco y por último podemos mencionar el acuífero fluvial poroso no consolidado. Adicionalmente se destacaron 2 acuíferos porosos coluviales y coluvioaluviales. En la microcuenca se registraron un total de 59 manantiales, los cuales fueron clasificados por sus valores de caudal; manantiales con caudales muy bajos, caudales bajos, caudales regulares, buenos caudales.

Meza P., y Zecenarro J., (2024) tuvieron el objetivo de modelar la hidrogeología de un yacimiento epitermal en Apumayo. Muestran que el sistema hidrogeológico está dominado por las secuencias volcánicas de los grupos Barroso (UH GB) y Tacaza (UH-GT). Conceptualmente, el Grupo Barroso se comportaría como un medio fracturado “Poco Permeable” con valores de permeabilidad de $1e-7$ y $1e-4$ m/s; y el Grupo Tacaza como un medio fracturado de “Baja Permeabilidad” con valores de permeabilidad de $1e-9$ y $1e-7$ m/s. Además, los gradientes muestran medios fracturados de “Baja Permeabilidad a Impermeables” a mayores profundidades. Se simuló flujos en el orden de 0.78 y 1 L/s hacia los tajos

Huamanloma y Apumayo, durante la Fase 3 en adelante para el Tajo Huamanloma y la Fase 1 en adelante para el Tajo Apumayo, filtraciones del orden de 1 L/s para el Botadero Apumayo. Se evidenciaron filtraciones y humedad hacia las paredes del Tajo Huamanloma y filtraciones en el orden de 2 a 3 L/s en el Tajo Apumayo.

Ancco Y., y Limachi E., (2025) estudiaron la hidrogeología para determinar el potencial hídrico en la cuenca de Ccolcayqui, Lucre. En el que se identificaron acuíferos fisurados que pertenecen a la formación Kayra, Sonco y Punacancha que son de origen sedimentario, los acuíferos no consolidados identificados son los depósitos aluviales y coluviales. Además, evidenció un equilibrio entre el ingreso y descarga del agua dentro del sistema hidrogeológico, con una totalidad de capa de agua caída sobre la cuenca es de 948.55mm. Además, presenta una precipitación media mensual de 704.40 mm/año, cuenta con una temperatura media mensual es de 12.2 °C, en tanto la temperatura máxima es de 20.4 °C, en tanto la temperatura mínima es de 4 °C. Analógicamente la evapotranspiración real es de 34.35 mm, con una escorrentía superficial de 183.25 mm, una infiltración de 367.49 mm/año, y como resultado -186.370 mm/año de déficit en el balance hídrico de almacenamiento el vendría hacer una cantidad de agua donde se necesita poder satisfacer las demandas potenciales en el distrito de Lucre.

2.2. Marco conceptual

Geomorfología

Según Pedraza J., (1996), la geomorfología estudia las formas del relieve terrestre, su origen y evolución. Pudiendo abordarse a una escala regional, local o integrado que relacione a ambas.

Unidades de geomorfología regional

Regionalmente forma parte del componente de la cordillera andina producto de procesos tectónicos de levantamiento de cordillera y por procesos degradacionales

presentes, generando como resultado un relieve abrupto con pendientes fuertes, valles intermontañosos.

Tabla 2 Unidades geomorfológicas de la región de Apurímac

UNIDADES MORFOESTRUCTURALES				
GRAN UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA	SISTEMA GEOMORFOLÓGICO	PASISAJE	ORIGEN
Cordillera Andina	Cordillera y Estribaciones	Montañoso	Estructural y Erosional	Cimas de Montaña
				Cima Allanada de Montaña
				Laderas rocosas fuertemente empinadas
				Laderas rocosas empinadas
				Laderas rocosas moderadamente empinadas
				Laderas rocosas fuertemente inclinadas
				Laderas de Montaña
				Laderas empinadas
				Laderas moderadamente empinadas
				Laderas fuertemente inclinadas
				Laderas moderadamente inclinadas
				Laderas ligeramente inclinadas
	Colinoso	Denudacional	Diapirismo	Colinas Altas
				Colinas Bajas
	Altiplanicies	Fluvioglacial	Agradacional	Colinas Erosionadas
				Domos
				Domos Salinos
				Terrazas Estructurales
				Terrazas y Valle Fluvioglacial
Valles o Planicies de Sedimentación		Fluvial	Agradacional	Altiplanicies Fluvioglaciales
				Fondos de Valle Fluvial
				Terrazas Fluviales
				Unrazas Fluviales
				Terrazas Aluviales
				Terrazas Aluviales Altas
				Terrazas Aluviales Bajas
		Aluvial		Quebradas
				Planicies Antropicas
		Antropico		

Nota. A nivel detallado la geomorfología está caracterizada por unidades de origen estructural erosional como las cimas y laderas de montaña, en formaciones del holoceno, unidades de origen agradacional como terrazas, valles y fondos de valle

Unidades de geomorfología local

Detalla las formas del relieve en un área específica, analizando su origen, evolución y procesos que las modelan en escalas reducidas. Este enfoque permite comprender unidades como laderas, terrazas, cauces, fondos de valle en relación con la geología, hidrología y factores climáticos.

Geología

Es la ciencia que estudia la tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del universo, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas (Rivera Mantilla, 2005).

De los cuadrángulos elaborados por INGEMMET se tiene en la zona de estudio las formaciones geológicas que componen parte de la configuración física.

Formación Hualhuani (Cretácico inferior) Ki-hu

Esta formación es típica de predominancia cuarcítica superiores a la Formación Yura, tienen un espesor aproximado de 500 metros, siendo compactadas cambiando de un color gris a marrón, con estratificaciones cruzadas con intercalaciones de calizas, estas cuarcitas sobreyacen a las lutitas y calizas inferiores del grupo Yura y en la zona de estudio presentan cuarcitas blancas que fueron asignadas al cretácico inferior.

Formación Murco Ki-mu

Constituida por una intercalación de areniscas y limoarcillas de estratos delgados con una potencia promedio de 80 metros en la parte superior, en la parte media está compuesta por areniscas blanquecinas a rojizas con limoareniscas y limoarcillas, aflora en la zona de estudio, Mara, al sureste del poblado de Chalhuahuacho, Patán y Quiñota entre otros. Se estima una edad del Aptiano (Pecho, V;1980) ya que correlacionalmente sobreyace a la Formación Soraya (Neocomiano inferior) y infrayace a la Formación Arcurquina, tiene una potencia aproximada de 350 metros.

Formación Arcurquina Kis-ar-i

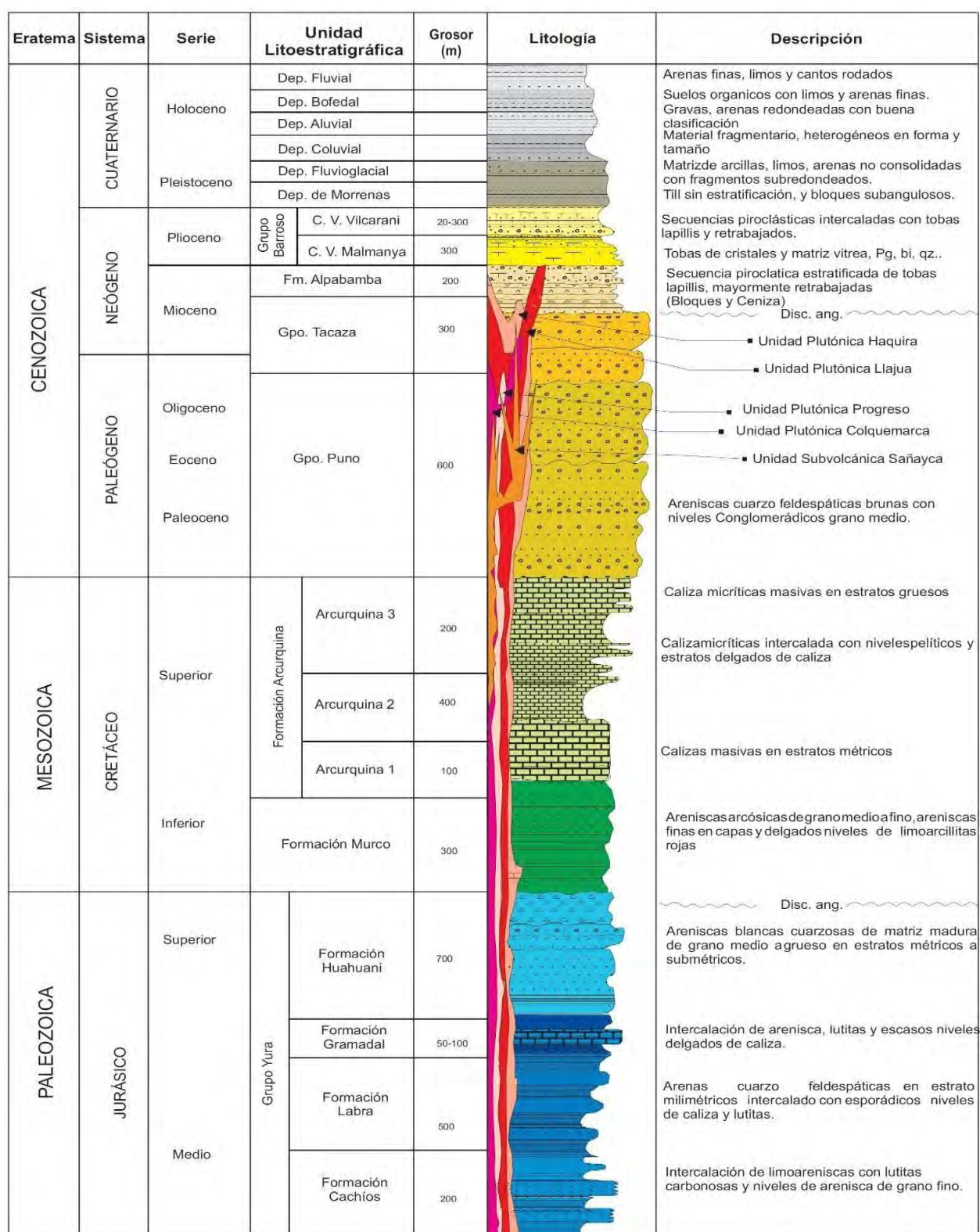
Esta formación Arcurquina (Jenks, W., 1948), sobreyace en forma concordante a la Formación Murco, aflora en la zona norte del cuadrángulo de Santo Tomas con una geomorfología suave. Litológicamente está comprendida en tres secuencias: La secuencia inferior destaca estratos de caliza con grosores hasta de 2 m, la secuencia media con niveles de caliza en estratos delgados y niveles esporádicos de dolomita y la secuencia superior presenta estratos de caliza de hasta 3 m de grosor alternando con niveles de caliza submétricos. Infrayace en discordancia al Grupo Puno, fue depositada

en ambiente marino abierto y relativamente somero en el cual las condiciones son favorables para el desarrollo de abundante vida bentónica.

Depósitos Cuaternarios (Holoceno) Qh-al, Qh-el, Qh-co, Qh-mo

Las unidades cuaternarias sedimentarias están marcadas por la condición del clima que predominaron la zona de estudio, en el área de estudio está representada por depósitos aluviales, eluviales que corresponde a áreas con pie de monte con pendientes notorios, constituidos por gravas, ripios y arenas mal seleccionada con matriz de limo y arcilla; los depósitos y cubiertas antrópicas corresponden a suelos de uso agrícola de poca vegetación alrededor de la comunidad de Uyancani.

Figura 2 Columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomas 29-r



Nota. Extraído de Yomona J., Mineralogía del yacimiento de oro y plata del distrito de Colquemarca-Cusco, 2023.

Geología Estructural

Es la parte de la ciencia geológica que se encarga de estudiar la arquitectura de la tierra y las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionada con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar (Rivera Mantilla, 2005).

Las diferentes rocas plutónicas del Batolito de Apurímac intruyen y metamorfozan a las formaciones mesozoicas y del Terciario inferior previamente deformadas por eventos tectónicos; mientras que las hipabisales afectan a las formaciones del Terciario superior (Oligomiocenas) y se consideran como las últimas pulsaciones del magmatismo y asociadas con la mineralización de la región. Las intrusiones plutónicas se encuentran en gran parte de los cuadrángulos de Santo Tomás, Antabamba y Chalhuanca, en forma casi continúa siguiendo aproximadamente la dirección del modelo estructural andino, y las zonas de mayor debilidad y cizallamiento regional.

Las rocas intrusivas aparte del intenso diaclasamiento y fallamiento, no presentan mayormente otros indicios notables de deformación; El rumbo general predominante observado de las fallas y junturamiento es noroeste y sureste; aunque en algunas zonas del cuadrángulo de Chalhuanca (cerros Yahuarcocha y Colquimina) tiende hacia el Este. El emplazamiento de las rocas hipabisales filoneanas está controlado principalmente por fallas y fracturas de carácter regional. En estas rocas el junturamiento es menos conspicuo y sigue una dirección normal a la de los diques.

Figura 3 Dominios Morfoestructurales del sur del Perú



Nota. Dominios Morfoestructurales del sur del Perú mostrando los principales sistemas de fallas: C – L – M: Cusco – Lagunillas – Mañazo, U – S – A: Urcos – Sicuani – Ayaviri, A – A. Adaptado de INGEMMET

Influencia de la Orogénesis Andina

Presenta un resultado de los efectos de las dos últimas fases más intensas de la Orogenia Andina que sigue los lineamientos del modelo estructural de la Cordillera de los Andes NO-SE, en la parte de estudio las estructuras también están influenciadas por un patrón E-O y NNE-SSO considerados a nivel regional de menor magnitud.

Pliegues

Se define como la flexión u ondulación en las rocas de la corteza, que alcanzan su mayor desarrollo en formaciones estratificadas tales como las rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas. Los pliegues se pueden dividir en grandes grupos como Anticlinales con una forma convexa respecto a la superficie y conteniendo formaciones más antiguas hacia el centro y Sinclinales con formas cóncavas conteniendo formaciones más recientes a la parte central.

En la zona de estudio constituye grandes anticlinales y sinclinales, y en gran parte contiene pliegues recostados hacia el norte y noroeste en la parte central del cuadrángulo

de Santo Tomas, hacia el norte por Antabamba en formaciones de cuarcitas del Grupo Yura y Formación Ferrobamba están inclinados 40° y 50° al noreste y asociados con grandes fallas normales, inversas y de rumbo.

Figura 4 *Pliegues simétricos por fuerzas compresivas en el sector de Ullancani*



Nota. Se observan pliegues por fuerzas compresivas de formas simétricas inclinadas formando estructuras sinclinales en la zona de estudio.

Geofísica

Aspectos de la geofísica

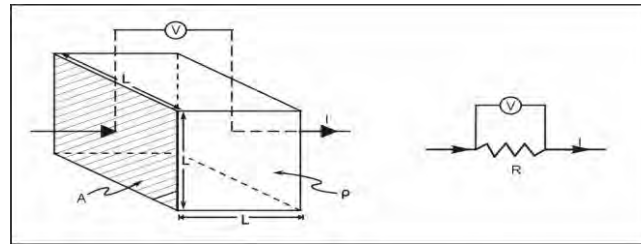
La prospección geofísica es un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, etc.), por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la tierra. (Orellana Silva, 1982).

Estos métodos son sensibles en variación con factores como la porosidad, la permeabilidad, temperatura, saturación de fluidos, la química de los fluidos, además del grado de fracturamiento y los minerales que componen estas rocas. (Zúñiga L., 2012).

Resistividad eléctrica del Subsuelo

La resistividad eléctrica R de un material se define como la dificultad que encuentra la corriente en atravesar dicho material, está representada por la Ley de Ohm que define el paso de corriente eléctrica I a través de 2 puntos y la caída de potencial entre estos puntos.

Figura 5 Representación esquemática del principio de resistividad



Ley de Ohm

$$\Delta V = I \cdot R$$

La conductividad se define como la facilidad que fluye la corriente eléctrica en un determinado material siendo el inverso de la resistividad, la unidad de la resistividad en el Sistema Internacional es el Ohm por metro ($\Omega \cdot m$).

Una vez que se obtiene el valor de la intensidad I y la diferencia de potencial V , inyectando corriente en el subsuelo y midiendo su diferencia de potencial, se calcula la resistividad aparente ρ_a mediante la relación:

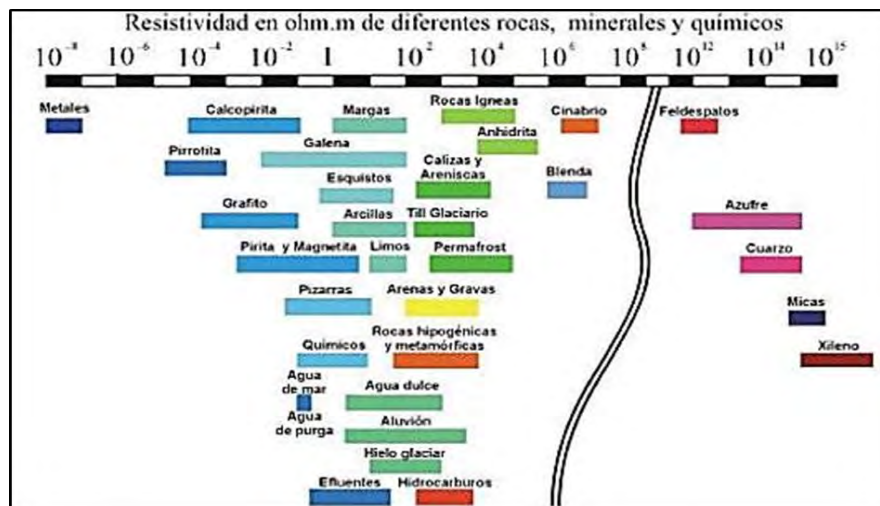
$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

Donde k se denomina constante geométrica, porque depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente, y tiene las dimensiones de una distancia.

Gasulla Forner (1999) menciona: “Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en

cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas”.

Figura 6 Resistividad en Ohm.ms en rocas y minerales



Nota. Tomado de *Prospección geoelectrica en corriente continua* (2ª. Ed.) por E. Orellana, 1982, Paraninfo.

Tabla 3 Resistividad de las rocas y minerales

Rangos usuales de variación de resistividad de tipos de roca y agua		
Material tipo	Resistividad eléctrica (ohm-metro)	
Agua de origen meteórica	30	1000
Agua superficial en distintas rocas ígneas	30	500
Agua superficial en distintas rocas sedimentarias	10	100
Agua subterránea en distintas rocas ígneas	30	150
Agua subterránea en distintas rocas sedimentarias	> 1	
Agua de mar	= 0,2	
Agua potable, 0,25% máximo de sólidos totales disueltos	> 1,8	
Irrigación y almacenaje, 0,7% máximo de sólidos totales disueltos	> 0,7	

Nota. Tomado de *Prospección geoelectrica en corriente continua* (2ª. Ed.) por E. Orellana, 1982, Paraninfo.

Figura 7 Valores de resistividad en rocas, suelos y minerales

Material	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
	Mínimo	Máximo
Grava	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Arena	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Limo	20	50
Marga	30	100
Arcilla (húmeda)	5	30
Arcilla (seca)		> 1000
Lodos	15	25
Arenisca	< 50 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Caliza	100 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Esquisto	50 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Toba	2×10^3 (húmedo)	10^5 (mojada)
Rocas ígneas y metamórficas	< 100 (degradado, húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Roca de sal	30 (húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Residuos domésticos e industriales	< 1	> 1000 (de plástico)
Agua natural	10	300
Agua de mar (35 ‰ NaCl)	0.25	
Agua salada	(salmuera) < 0.15	3×10^3
Agua superficial (rocas ígneas)	0.1	100
Agua superficial (sedimentos)	10	10^6

Nota. Resistividades de materiales geológicos y residuos. Modificada por Gasulla, 1999. Fuente: (Zúñiga L., 2012)

Métodos de prospección eléctrica usados en la investigación

Existen diferentes técnicas para medir la resistividad del terreno, están las electródicas como el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Calicatas Eléctricas y las multielectródicas como la Tomografía Eléctrica.

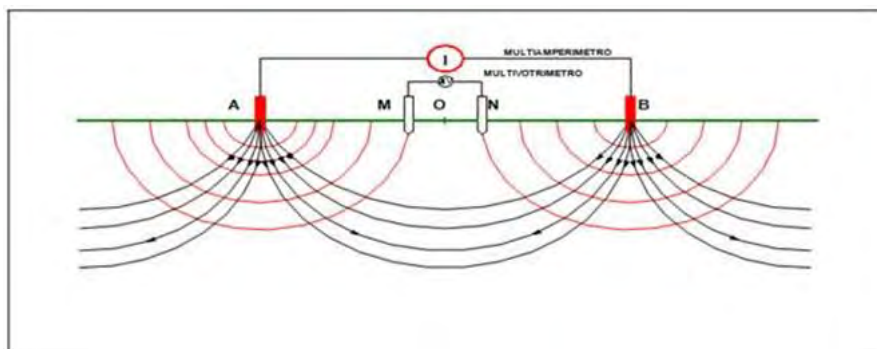
Figura 8 Métodos geoelectrónicos de prospección hidrogeológica



En la investigación se usó el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) el arreglo de Schlumberger, con espaciamientos electródicos descritos más adelante.

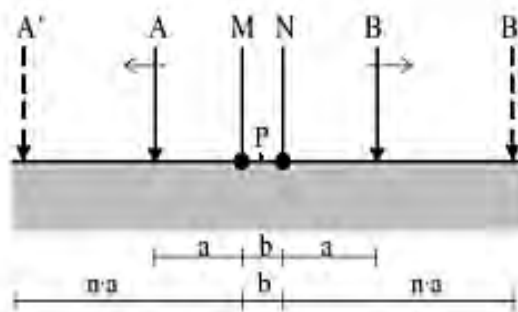
Este método consiste en inyectar corriente eléctrica por electrodos extremos A y B y medir la diferencia de potencial en los electrodos medios M y N, asimismo los electrodos A y B se van separando progresivamente y MN quedan estáticos en lo más posible siempre en cuando cumpla $AB \gg MN$, de esta manera en la parte central hacia profundidad se va obteniendo valores de resistividad aparente ($\Omega.m$).

Figura 9 Esquematización del arreglo SEV Schlumberger



Nota. Extraído de Gasulla F., 1999

Figura 10 Arreglo SEV Schlumberger



Nota. Los electrodos A, B se abren y M y N quedan fijos respecto a P. Extraído de Gasulla F., 1999

Hidrología

La hidrología es la ciencia de la naturaleza que estudia el agua dentro del planeta tierra en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación.

Ciclo hidrológico del agua

Es un sistema complejo, en donde todas las aguas de la tierra se encuentran incluidas e interrelacionadas dentro de un contexto cuya evolución es cíclica. Las aguas subterráneas representan una parte del ciclo hidrológico total del agua (David & Wiest, 1971).

Son las etapas que atraviesa el agua al pasar de la superficie terrestre a la atmósfera y volver nuevamente al mismo (Padilla, 2009).

Precipitación

Es el proceso de condensación del agua, este proceso ocurre en una determinada área, se mide en función a la precipitación de 1 mm en un metro cuadrado de superficie, siendo un parámetro que se registra en las estaciones meteorológicas para su tratamiento de datos a lo largo de un determinado tiempo.

Temperatura

La temperatura influye en los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en el transporte del agua potable, lo que impacta en la calidad del agua distribuida.

Evaporación

Etapas permanentes del ciclo hidrológico. Existe evaporación en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico, la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso; sin embargo, hay otra evaporación provocada por la actividad de las plantas, la cual recibe el nombre de transpiración. (Villon Bejar).

Evaporación total: evapotranspiración (evaporación + transpiración)

Existen factores que afectan la evaporación como:

- Radiación solar
- Temperatura del aire
- Presión de vapor
- Viento
- Presión atmosférica

Evapotranspiración

Está constituida por las pérdidas totales de agua en este proceso, siendo más práctico decir la evaporación de la superficie o área de estudio y la transpiración de las plantas. El término evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite, y se define como la pérdida total del agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación. (Villon Bejar).

Escurrecimiento superficial

Es el proceso por el cual el agua de lluvia precipitada en la superficie de la tierra fluye por acción de la gravedad desde las partes más altas hacia las más bajas, confluyendo en ríos, arroyos y otros cuerpos de agua (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

Escurrecimiento subsuperficial

Es la precipitación que llega a infiltrarse en el suelo y circula lateralmente a pequeñas profundidades, sin llegar a la zona saturada y reaparece en superficie (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

Escurrecimiento subterráneo:

Es parte del agua precipitada que se infiltra y llega a la zona saturada, recargando los acuíferos (Collazo Caraballo & Montaña Xavier, 2012).

Balance hidrológico

Es el análisis del balance de entradas y salidas del sistema, en si aplicación de la conservación de materia (agua), evaluando como entrada las precipitaciones y salidas la evaporación, escorrentía e infiltración.

$$P - ETr - ES - I = \Delta S$$

Dónde: P = Precipitación

ETr = Evapotranspiración real

ES = Escorrentía superficial

I = Infiltración

Hidrogeología

La Hidrogeología tiene como finalidad el estudio de la fase subsuperficial del ciclo hidrológico es preciso aplicar las leyes y métodos de otras muchas disciplinas. (Custodio & Llamas, 1983).

La caracterización depende de factores como la hidrología superficial, la geología, las estructuras que son el componente donde existe el comportamiento de los flujos subterráneos de agua por lo que estos conllevan a caracterizar distintos aspectos.

Las rocas se consideran de interés hidrogeológico siempre y cuando se comporten como un medio permeable que pueda transmitir los flujos subterráneos, ya sean rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas o carbonatadas o químicas como las calizas en la zona de estudio; estos medios deben ser permeables o estar fracturados o karstificados teniendo una capacidad de infiltración, almacenaje considerándose acuíferos.

Acuífero

En la hidrología subterránea, se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (Custodio & Llamas, 1983).

Los parámetros esenciales para su análisis pueden ser (permeabilidad o conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, transmisividad y porosidad) y proceder, finalmente a una clasificación de los acuíferos.

Acuíferos en función a su estructura

Acuíferos libres, no confinados o freáticos.

Acuíferos que tienen un piso impermeable y el techo se encuentra a presión atmosférica, presenta recarga directa por infiltración de lluvia o infiltración de lagos o ríos, es dependiente de cambios climáticos.

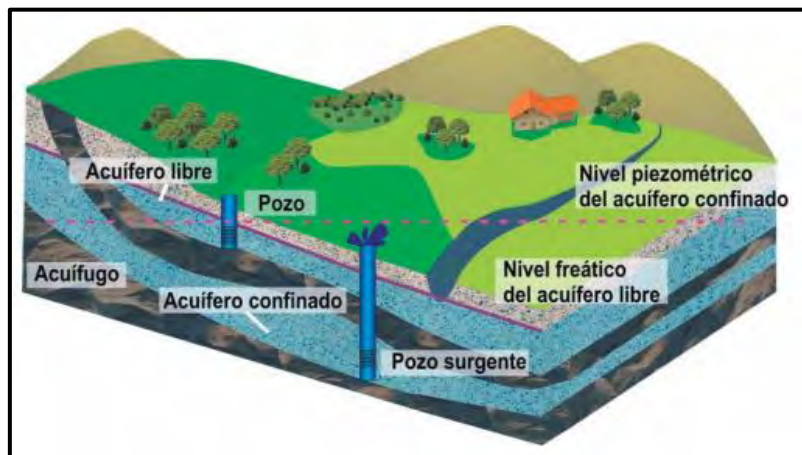
Acuíferos confinados, cautivos o a presión.

Acuíferos que presentan el techo una formación de baja o muy baja permeabilidad, la presión hidrostática en el techo es superior a la atmosférica, presentan recargas laterales.

Acuíferos semiconfinados o semicautivos

Acuíferos con el techo y el piso limitados por formaciones con capas de baja permeabilidad que dificultan o impiden la circulación vertical del agua, existe diferencias de carga hidráulica con los acuíferos o capas del piso y techo, se recargan y descargan a través de acuíferos o unidades con permeabilidad baja que actúan como semiconfinantes, filtrantes o acuitardos.

Figura 11 *Tipos de acuíferos según su estructura.*



Nota: Extraído de Manual de agua subterránea, por Collazo M., & Montaña J., 2012.

Acuíferos en función al tipo de porosidad

Acuíferos de porosidad primaria o poroso

Formados por unidades sedimentarias como gravas, arenas con variación en composición y tamaño en función a su origen (fluvial, eólico, lacustre, glacial, etc.), pueden estar sueltos en general formaciones cuaternarias.

Acuíferos de porosidad secundaria o fisurado

Formaciones rocosas ígneas o metamórficas, su porosidad depende del grado de alteración, fracturación, fallas o diaclasas, únicos medios por donde pueda almacenar o circular con la condición de que estos deben de estar abiertas e interconectadas.

Acuíferos kársticos por disolución

Compuesto por rocas químicas de origen carbonatico en el que la porosidad depende del grado de karstificación (huecos y cavernas), se desarrollan en forma secundaria por disolución del carbonato, el agua circula a mayor velocidad por estos huecos y cavernas que en los demás acuíferos.

Figura 12 *Tipos de acuíferos según su porosidad*



Nota. Adaptado de Collazo Caraballo & Montaña Xavier

Porosidad y permeabilidad

La porosidad es expresada por la relación entre el volumen de vacíos y/o agua y su volumen total de la roca o material cualquiera.

$$m = \frac{V_v}{V_t}$$

Existe la porosidad eficaz que representa una porción de la porosidad total y la retención específica expresado por la capacidad de retención específica del terreno y viene dada por la relación:

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

Siendo (V_a) el volumen del agua retenido por la roca inicialmente saturada una vez evacuada el agua gravífica.

El volumen de agua contenido en una roca liberada por gravedad denominado V_e (volumen de agua libre) está definido por la porosidad eficaz.

$$m_e = \frac{V_e}{V_t} 100$$

Entonces la capacidad de retención específica vendría a ser igual a la diferencia entre la porosidad total m_t y la porosidad eficaz m_e :

$$m_t = m_e + m_s$$

Los factores que determinan la permeabilidad pueden ser como el tamaño de poros, el grado de fracturamiento de las rocas.

En calizas por su composición y su origen adquieren reducida porosidad, en prospección de hidrocarburos menciona que se adquirió valores máximos de 10^{-3} cm/s a 10^{-7} cm/s (Pulido Bosh, 2014).

Tabla 4 *Clasificación de huecos y tipos de porosidad en kársticos*

ESCALA	ESPACIOS	TIPO DE POROSIDAD	
Microscópica	Poros o intersticios	Intercristalina	Intercristalina
		Intergranular	Intergranular (Intersticial)
	Microfisuras	Juntas de estratificación	Microfisural
Macroscópica	Conductos y cavidades	De conductos (kársticos)	

Nota. Adaptado de *Principios de hidrogeología kárstica*, por A. Pulido Bosch, 2014.

Transmisividad

Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical del terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura determinada. (Custodio & Llamas, 1983). Se expresa en m²/día o cm²/s.

Figura 13 Clasificación de acuíferos según su permeabilidad en m/día

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

Nota. Extraído de Hidrología subterránea (Vol. I y II) por E. Custodio & M. Llamas, 1983, Omega.

Hidroggeoquímica

La hidroggeoquímica se entiende por una ciencia interdisciplinaria que permite establecer la correlación entre componentes geoquímicos del agua subterránea y la relación con las rocas y suelos del medio.

Parámetros fisicoquímicos del agua

Temperatura (T°)

En el transcurso de las aguas subterráneas, estas pueden recibir calor de fuentes como reacciones químicas, pérdida o aumento de carga, estos aportes son pequeños a comparación del aporte como gradiente geotérmico que son constantes durante largos periodos de tiempo.

Potencial de hidrogeniones (pH)

El PH expresado matemáticamente como el antilogaritmo de H⁺ es decir el PH = -log (H⁺). Para un agua pura a 25° C se cumple que (H⁺) = (H⁺), siendo el PH =7.

Las aguas neutras varían entre 6.5 a 8, menores a 6.5 son consideradas como acidas y mayores a 8.5 como alcalinas.

Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad del agua de permitir el paso de la corriente eléctrica o de facilitar el paso de electrones a través suyo.

La unidad de medida que tiene este parámetro es el microsiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) y debe mencionarse la temperatura de referencia, ya que los valores de CE aumentan a mayor temperatura a razón de 2% / $^{\circ}\text{C}$ (Custodio & Llamas, 1996).

Figura 14 Clasificación de acuíferos según su permeabilidad en m/día

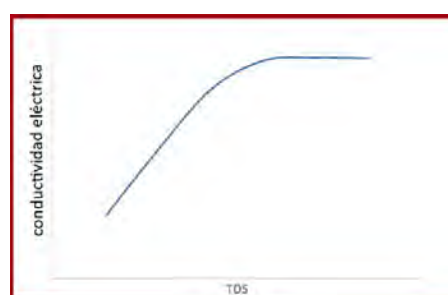
Tipo de agua	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)
Agua pura	0,04 $\mu\text{S/cm}$
Agua destilada	0,5 a 5 $\mu\text{S/cm}$
Agua de lluvia	5 a 50 $\mu\text{S/cm}$
Aguas potables	<2500 $\mu\text{S/cm}$
Aguas salobres	2500 –20000 $\mu\text{S/cm}$
Aguas de mar	45000-55000 $\mu\text{S/cm}$
Salmueras	>100000 $\mu\text{S/cm}$

Nota. Tomado de Oz Perú-Conductímetro: sensores para agua (2024)

Tabla 5 Iones presentes en el agua

IONES DE CARGA POSITIVA PRESENTES EN EL AGUA	IONES DE CARGA NEGATIVA PRESENTES EN EL AGUA
Sodio Na^+	Cloruro Cl^-
Calcio Ca^{+2}	Sulfato $(\text{SO}_4)^{-2}$
Potasio K^+	Carbonato $(\text{CO}_3)^{-2}$
Magnesio Mg^{+2}	

Figura 15 Conductividad Vs. Total de Sólidos Disueltos (TDS)



Nota. Extraído de Madzier, materiales.phemtycs.com (2025))

La conductividad de la solución de agua deja de aumentar con cierta cantidad de iones presentes.

Total, de Solidos Disueltos (TDS)

El agua subterránea no se encuentra pura, por lo que presenta otros componentes que en su mayoría se encuentran disueltos en forma iónica (cationes y aniones), coloides (Hidróxidos de Si, Al, Fe), materia orgánica y gases disueltos.

Se expresa en mg/L o ppm, se tienen ciertos parámetros como:

Aguas subterráneas dulces: 50-2000 mg/l, aguas salobres: 2000 – 10000 mg/l, aguas saladas: 10000 – 50000 mg/l (mar: aprox. 35000 mg/l), salmueras: 50000 - > 100000 mg/l.

Para describir estos componentes, se distinguen 3 grupos, los cuales son.

a. Elementos mayoritarios

Son los componentes que se encuentran en las aguas subterráneas en cantidades superiores a 5 mg/L, y por lo general se encuentran presentes casi siempre, constituyendo casi la totalidad de los iones disueltos. Dentro de este grupo se considera a los aniones Cloros, Sulfato, Bicarbonato y cationes Sodio, Calcio y Magnesio. (NG Cutipa, 2014).

b. Elementos minoritarios

Son los componentes que se encuentran en aguas subterráneas en cantidades de entre 10 a 0.01 mg/L, aunque a veces puede sobrepasarse ese rango. Entre ellos, se considera a los aniones Nitrato, Carbonato, Nitrito, Flúor y los cationes Potasio, Hierro, Hierro ferroso (Fe^{++}), Amonio, Estroncio. (Cutipa N., 2014).

c. Elementos traza

En este grupo, se considera los componentes que se encuentran en concentraciones menores a 0.1 mg/L, como los iones Bromo, Nitrito, Manganeseo, Aluminio, Arsénico,

Antimonio, Cromo, Hierro férrico (Fe^{+++}), plomo, cobre, Zinc, Mercurio, Uranio, etc. En algunos casos también, las concentraciones de estos elementos pueden ser mayores al rango mencionado, sobre todo en aguas mineralizadas o termales. (Cutipa N., 2014).

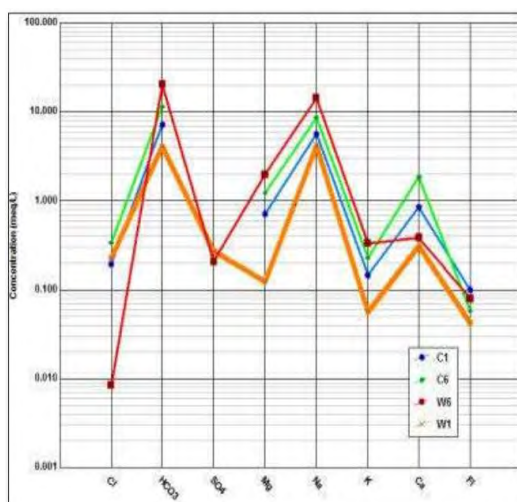
d. Representación gráfica de datos hidroquímicos

En esta representación de datos hidroquímicos se desarrollan y se emplean los gráficos clásicos Schoeller-Berkaloff (con su variante de Durov), Piper y Stiff. “Los dos primeros admiten más de una muestra y tienen la ventaja de identificar rápidamente posibles procesos tales como mezclas, intercambios, disoluciones y precipitaciones mientras que el tercero solamente una. (Bosch & Antonio, 2014).

Diagrama de Schoeller-Berkaloff

En el diagrama de Schoeller, se lleva a intervalos regulares sobre ejes divididos según una escala logarítmica, el contenido en mg/l de los principales iones contenidos en el agua. Paralela a las ordenadas, existe en ambos extremos otros ejes logarítmicos, que permiten de inmediato transformar los mg/l de cada elemento representado, en meq/l, también expresa su concentración en forma de compuestos en mg/l, tal como se indicaban antiguamente en los análisis químicos.

Figura 16 *Diagrama de Schoeller-Berkaloff*



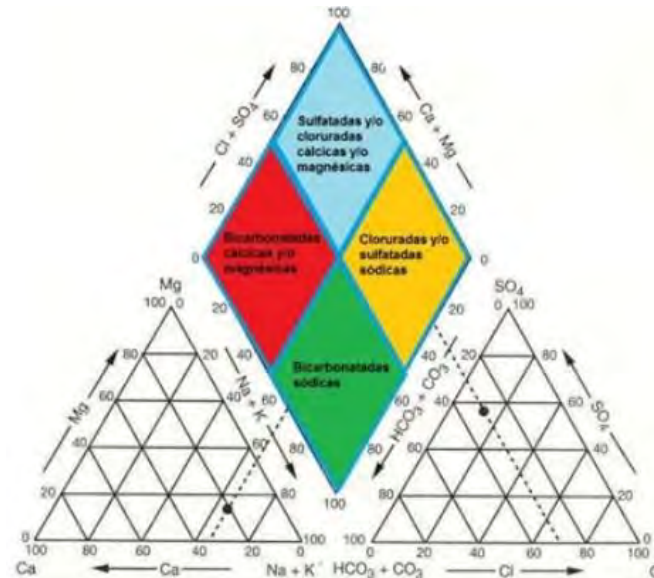
Nota. Tomado de Bosch & Antonio, 2014

Diagrama de Piper

El diagrama triangular de Piper se utiliza para representar de las proporciones de los tres componentes en la composición de una sustancia.

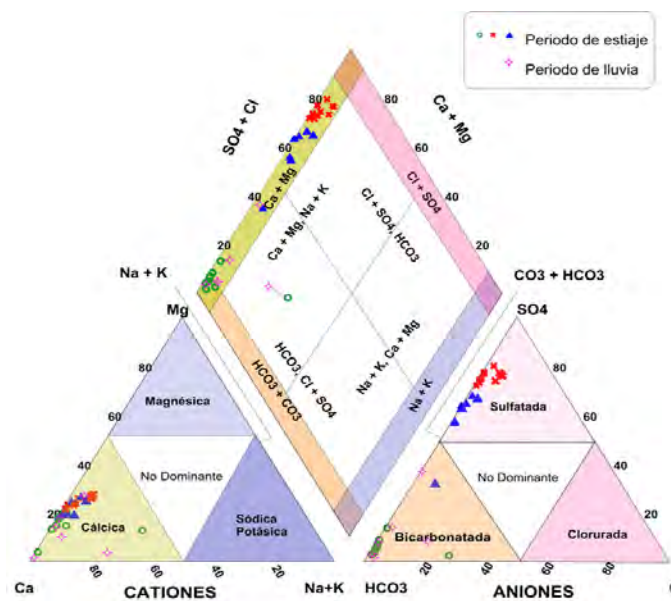
En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones.

Figura 17 Diagrama de Piper



Nota. Extraído de Principios de hidrogeología kárstica, por A. Bosch, 2014

Figura 18 Diagrama de Piper

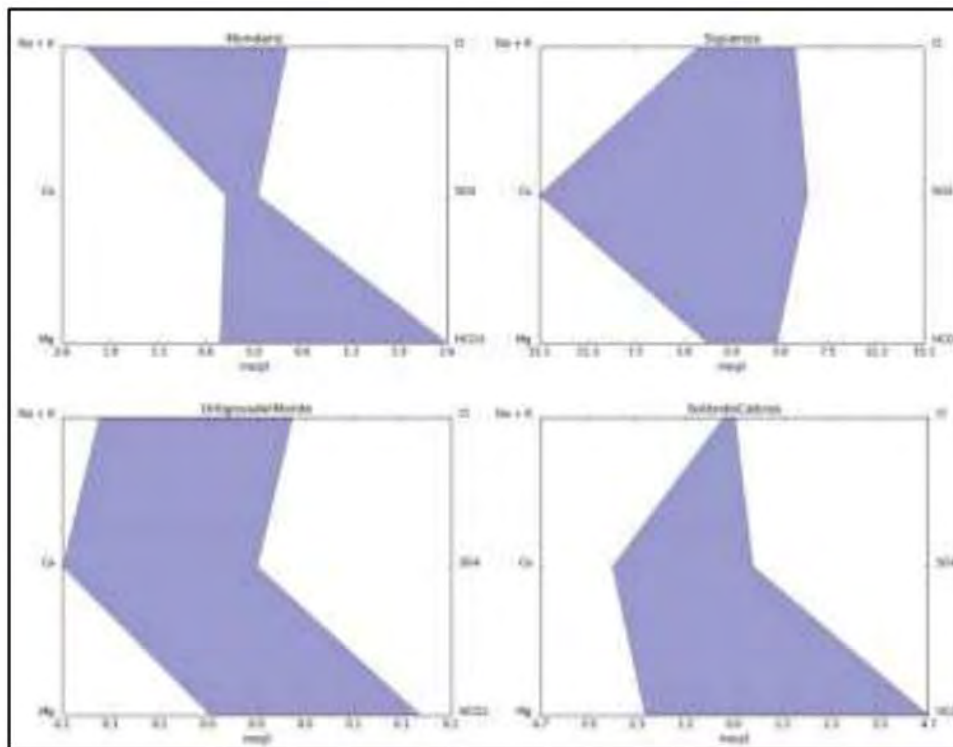


Nota. Extraído de Principios de hidrogeología kárstica, por A. Bosch, 2014

Diagrama de Stiff

El diagrama de Stiff es una representación gráfica para la interpretación de la ionización de la muestra de agua, este diagrama es usado para identificar fácilmente a la familia de una determinada fuente, establecer comparaciones y determinar las concentraciones de los componentes principales en miliequivalentes por litro (meq/l). El perfil de los cationes principales Na + K, Ca, Mg son representados a la izquierda y los aniones principales Cl, HCO₃ + CO₃ y SO₄ son representados a la derecha. Estos diagramas nos permiten visualizar las tendencias de calidad de agua sobre un mapa hidroquímico.

Figura 19 *Diagrama de Stiff*



Nota. Extraído de Principios de hidrogeología kárstica, por A. Bosch, 2014

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Hidrogeología

La hidrogeología es la rama de la geología que estudia la presencia, distribución, movimiento y características del agua subterránea dentro de las formaciones geológicas. Esta disciplina integra conocimientos de geología, hidrología, física y química para

comprender el comportamiento de los sistemas acuíferos y establecer criterios técnicos para su evaluación y aprovechamiento sostenible (Custodio & Llamas, 1996).

El estudio hidrogeológico permite conocer la relación existente entre el agua y el medio geológico, considerando aspectos como la litología, estructuras geológicas, propiedades hidráulicas de las rocas, condiciones de recarga y descarga, así como la calidad fisicoquímica del agua subterránea. Estos elementos son fundamentales para determinar la presencia, disponibilidad y comportamiento de los recursos hídricos subterráneos (Custodio & Llamas, 1996).

El agua subterránea constituye una parte importante del ciclo hidrológico, debido a que se origina principalmente por la infiltración del agua proveniente de las precipitaciones y cuerpos superficiales, la cual ingresa al subsuelo hasta alcanzar zonas donde puede almacenarse y circular dentro de materiales permeables (Custodio & Llamas, 1996).

Custodio & Llamas (1996), mencionan que dentro de un sistema hidrogeológico se reconocen principalmente zonas de recarga, donde el agua ingresa al acuífero; zonas de tránsito, donde ocurre el desplazamiento del flujo subterráneo; y zonas de descarga, donde el agua emerge naturalmente mediante manantiales o cuerpos superficiales, o es extraída mediante captaciones artificiales.

La caracterización hidrogeológica permite establecer el funcionamiento del sistema acuífero y constituye una herramienta fundamental para determinar condiciones favorables de aprovechamiento sostenible de aguas subterráneas (Freeze & Cherry, 1979).

2.3.2. Acuíferos y evaluación hidrogeológica

Un acuífero es una formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea en cantidades suficientes para ser aprovechada mediante captaciones. La capacidad de un acuífero para almacenar y transmitir agua depende principalmente de sus características geológicas, estructurales e hidráulicas (Custodio & Llamas, 1983).

Los acuíferos pueden clasificarse según sus condiciones hidráulicas en:

Acuíferos libres:

Son aquellos donde el límite superior del agua subterránea corresponde al nivel freático y se encuentra sometido a presión atmosférica. La recarga ocurre generalmente por infiltración directa desde la superficie (Custodio & Llamas, 1983).

Acuíferos confinados:

Son aquellos que se encuentran limitados por capas de baja permeabilidad, donde el agua está sometida a una presión superior a la atmosférica debido al confinamiento generado por los materiales suprayacentes (Custodio & Llamas, 1983).

Acuíferos semiconfinados:

Son sistemas donde existen capas parcialmente permeables que permiten cierto intercambio de agua entre diferentes unidades hidrogeológicas. La evaluación hidrogeológica de un acuífero comprende el análisis integrado de diferentes componentes:

Características geológicas: permiten identificar los materiales que conforman el acuífero, su capacidad de almacenamiento y las condiciones que favorecen la circulación del agua.

Características estructurales: relacionadas con fracturas, fallas y discontinuidades que pueden favorecer o limitar el flujo subterráneo.

Características geofísicas: permiten reconocer la distribución de materiales del subsuelo e identificar posibles zonas saturadas.

Características hidroquímicas: permiten conocer la calidad del agua y los procesos de interacción entre el agua y la roca.

Entre las propiedades hidrogeológicas más importantes se encuentran:

Porosidad: capacidad de una roca o sedimento para almacenar agua dentro de sus espacios vacíos.

Permeabilidad: capacidad del material geológico para permitir el movimiento del agua a través de sus poros o fracturas.

Conductividad hidráulica: representa la facilidad con la que el agua puede desplazarse dentro del acuífero.

Transmisividad: indica la capacidad del acuífero para transmitir agua a través de su espesor saturado.

El análisis conjunto de estas características permite determinar el potencial hidrogeológico de un acuífero y establecer condiciones para su aprovechamiento.

2.3.3. Prospección geofísica aplicada a la identificación de acuíferos

La prospección geofísica es una técnica de investigación indirecta del subsuelo que permite conocer sus características físicas mediante la medición de propiedades como resistividad eléctrica, conductividad, densidad o comportamiento magnético (Orellana, 1982).

En estudios hidrogeológicos, la prospección geofísica constituye una herramienta importante para identificar estructuras geológicas favorables para el almacenamiento de agua subterránea, determinar la profundidad de posibles acuíferos y delimitar zonas con presencia de materiales saturados (Pulido Bosch, 2014).

Uno de los métodos más utilizados es la prospección eléctrica mediante estudios de resistividad, debido a que permite diferenciar materiales del subsuelo según su capacidad para conducir corriente eléctrica (Orellana, 1982).

La resistividad eléctrica depende de factores como:

- Tipo de material geológico
- Grado de saturación
- Contenido de sales disueltas
- Presencia de fracturas
- Composición mineralógica

Los materiales saturados con agua generalmente presentan menores valores de resistividad en comparación con materiales secos, debido a la capacidad conductiva del agua contenida en los espacios porosos o fracturas (Orellana, 1982).

La interpretación de los resultados geofísicos permite establecer modelos del subsuelo y reconocer unidades con potencial acuífero, complementando la información obtenida mediante estudios geológicos e hidroquímicos (Pulido Bosch, 2014).

2.3.4. Hidroquímica de aguas subterráneas

La hidroquímica es la disciplina encargada del estudio de la composición química del agua y de los procesos que modifican sus características durante su circulación dentro del subsuelo (Custodio & Llamas, 1983).

La composición química de las aguas subterráneas está influenciada principalmente por la interacción agua-roca, el tiempo de permanencia en el acuífero, las condiciones de recarga y las características geológicas del medio (Custodio & Llamas, 1983).

Durante el recorrido del agua subterránea pueden ocurrir procesos como:

- disolución de minerales,
- intercambio iónico,
- precipitación de minerales,
- mezcla con otros tipos de agua.

Los principales parámetros utilizados para evaluar las características hidroquímicas son:

Parámetros físicos-químicos:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Temperatura.
- Sólidos disueltos totales.

Iones mayoritarios:

- Calcio (Ca^{2+}).
- Magnesio (Mg^{2+}).
- Sodio (Na^+).
- Potasio (K^+).
- Bicarbonato (HCO_3^-).
- Sulfato (SO_4^{2-}).
- Cloruro (Cl^-).

El análisis hidroquímico permite determinar la calidad del agua subterránea, identificar procesos geoquímicos naturales y establecer si sus características son compatibles con los usos previstos. En una evaluación hidrogeológica, la hidroquímica complementa la información geológica y geofísica, permitiendo comprender el comportamiento del acuífero y sus condiciones de aprovechamiento (Custodio & Llamas, 1983).

2.3.5. Hidroquímica de aguas subterráneas

La explotación sostenible de aguas subterráneas consiste en el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo manteniendo un equilibrio entre la extracción y la capacidad natural de renovación del acuífero (Custodio & Llamas, 1983).

Una explotación adecuada requiere conocer las características del sistema acuífero, evitando procesos negativos como el descenso excesivo del nivel piezométrico, reducción de caudales, deterioro de la calidad del agua o afectación de ecosistemas relacionados con aguas subterráneas (Custodio & Llamas, 1983). Para evaluar la viabilidad de explotación sostenible de un acuífero se consideran diversos criterios:

- Existencia de una unidad acuífera identificada
- Condiciones geológicas favorables para almacenamiento y circulación
- Presencia de zonas de recarga
- Características hidroquímicas adecuadas
- Potencial hidrogeológico para captación

La evaluación hidrogeológica previa constituye una herramienta fundamental para determinar si un acuífero presenta condiciones favorables para su aprovechamiento, permitiendo orientar futuras obras de captación y una gestión adecuada del recurso hídrico (Custodio & Llamas, 1983).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Métodos de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, dado que las variables de estudio no fueron objeto de manipulación, sino que se analizaron tal como se presentan en su contexto natural (Hernández Sampieri et al., 2014). En este sentido, el estudio se orienta a la determinación de las características hidrogeológicas de los acuíferos ubicados en el sector de Ullancani.

3.1.2. Nivel de investigación

De acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández Sampieri et al., 2014, el estudio es de carácter descriptivo. La investigación se centra en analizar y determinar de manera sistémica las características hidrogeológicas de los acuíferos del sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho.

3.1.3. Diseño de la investigación

Conforme al enfoque metodológico planteado por Hernández Sampieri et al. (2014), el diseño de investigación es descriptivo de enfoque cuantitativo, ya que implica el análisis de datos numéricos recopilados, con el propósito de describir el comportamiento de las variables.

3.1.4. Operacionalización de variables

Tabla 6 *Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Parámetros	Unidad de medida	Técnica	Método	Instrumento	Metodología
Evaluación hidrogeológica	Geomorfología	Pendiente Fisiografía	% Nominal			. Ficha de registro, . Mapeos	
	Geología	Litología Formas estructurales Calidad de la roca RQD	Unidades litológicas Fallamientos Diaclasas	Observación	Observación		Tipo investigación No experimental
	Hidrología	Precipitación Temperatura Humedad Caudal Balance hídrico	mm/mes °C % m3/s	Datos SENAMHI Flotador	Datos SENAMHI Aforos		Nivel Descriptivo Diseño de la investigación: descriptivo de enfoque cuantitativo
	Hidrogeología	Permeabilidad Porosidad Hidroquímica	m/d				
	Prospección geofísica	Resistividad eléctrica de los materiales	Ohm/m	SEV	Eléctrico	Resistivímetro	

3.2. Métodos de trabajo

a. Etapa de pre-campo: recopilación de antecedentes a nivel local, regional, nacional e internacional, revisión de los boletines informativos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y registros digitales y elaboración de mapas base del área de estudio.

b. Etapa de campo: reconocimiento de la zona de estudio, reconocimiento geológico y cartografiado geológico local y estructural del medio físico, recopilación de información hidrogeológica superficial como permeabilidad y aforos de caudales, sondeos Eléctricos Verticales (SEV)., aforo y toma de muestras de aguas de los manantes en la zona de estudio.

c. Laboratorio: Análisis de muestras de agua de la zona de estudio:

d. Etapa post campo: Digitalización, procesamiento de datos e interpretación de estos para generar el informe final.

3.2.1. Equipos y herramientas

a. Equipos de campo: Smartphone, cronometro, cámara, brújula, multiparámetro, resistivímetro.

b. Equipos de gabinete: Computadoras, celular, impresora.

c. Herramientas de campo: Tubos, permeámetro, martillo de geólogo, baldes.

d. Herramientas de gabinete: Sistema de información geográfica (SIG), Dibujo asistido por computador (CAD), Software ZondIP 1D, SASPlanet, Google Earth Pro Leapfrog, Excel y Microsoft Office.

3.2.2. Materiales

a. Materiales de campo: Tablero, colores, lapiceros, papel milimetrado, bolsas de muestreo, ácido clorhídrico 5%, lupas, rayador, protector, otros.

b. Materiales de gabinete: Revisión bibliográfica física y digital, materiales de escritorio en general.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Geomorfología

4.1.1. Cimas de montaña

Su extensión es bastante considerable; dichas unidades se deben a procesos erosivos de intemperismo físico constante, con una cobertura de suelo delgada, lo que favorece su mayor meteorización. La cobertura de suelo es del tipo eluvial, sobre un basamento rocoso subyacente de diversa litología y origen. Su presencia resalta sobre la geomorfología del área de estudio. Lo que implica que el agua de lluvia permanezca menos tiempo en superficie, infiltre rápidamente y alcance con facilidad las fracturas de la roca, aumente la escorrentía superficial y aumente la recarga.

4.1.1.1. Cimas de montaña allanada

Presentan una configuración más ondulada y en donde gran parte de la litología rocosa aflorante es cubierto por suelo eluvial y cobertura orgánica y ésta a su vez por vegetación característica. Vertientes de montaña.

Figura 20 *Cimas allanadas de montaña*



Nota. A la izquierda se observa la divisoria de aguas en la formación Arcurquina con dirección NE. A la derecha se observa la divisoria de aguas en la formación Hualhuani con dirección SW.

4.1.1.2. Vertiente de montaña

Debido a la configuración actual del relieve comprendido por nuestro estudio, las laderas de montaña representan más del 50% del total de la superficie, lo que además lo convierte en la unidad geomorfológica con mayor importancia, ya que constituyen una condicionante para la ocurrencia de eventos de geodinámica externa.

Estas unidades constituyen los flancos terminales o declives de las cimas de montaña, las colinas y todo relieve positivo de considerable elevación de la topografía cordillerana, además de ser las unidades dominantes en las vertientes de los valles y quebradas. Su origen es eminentemente tectónico-estructural, pues todos forman parte de los grandes complejos montañosos. Litológicamente se componen de afloramientos de distinta naturaleza y de distintos períodos geológicos, cubiertos muchas veces por capas de depósitos cuaternarios de naturaleza coluvio-aluvial y en otros sectores dominados por afloramientos rocosos con escasa a nula presencia de cobertura vegetal.

Las pendientes que presentan van desde ligeramente inclinadas a rocosas fuertemente empinadas. Este hecho limita bastante las actividades humanas que se dan en las laderas, especialmente en aquellas donde las pendientes son empinadas, fuertemente empinadas y las pendientes con dominio estrictamente rocoso. Es también por las pendientes empinadas y las grandes alturas de las colinas y montañas, que se pueden apreciar numerosos procesos erosivos intensos de disección, causantes además de la existencia de gran cantidad de quebradas que se registran dentro de nuestro Proyecto, por las que fluyen todo el material erosivo, los que son transportados por acción gravitatoria e hidrometeorológica.

Para nuestro estudio, las unidades de vertientes se subdividieron de acuerdo a la pendiente que presentan y al predominio, ya sea de material rocoso o suelo que existe en la superficie, tal como a continuación se enumeran:

4.1.1.3. Vertiente de Montaña Allanada (VmAlla)

Son estructuras fisiográficas moderadamente empinadas de altitudes que superan los 300 m de la base del río a la cima.

Figura 21 *Vertiente de montaña allanada en la Formación Huallhuani*



4.1.1.4. Vertiente de Montaña Empinada (VmEm)

En la zona se observan estas unidades, con topografía ligeramente accidentada con pendientes de 20-50% asociadas a vertientes montañosas, se encuentran en donde afecto la excavación o geodinámica de los glaciares y movimientos tectónicos.

Figura 22 *Vertiente de montaña empinada en la formación Huallhuani*



4.1.1.5. Vertiente de Montaña Disectada Empinada a Escarpada (VmDe)

Estas unidades se observan en los flancos de las cimas, conformados por formaciones rocosas de la formación Huallhuani que presenta pendientes fuertes.

Figura 23 *Vertiente de montaña empinada en la formación Huallhuani*



4.1.2. Altiplanicies

4.1.2.1. Altiplanicies Allanadas (AltplAlla)

Estas geoformas se observan en el área de estudio y también se desarrolló áreas hidromórficas en los sectores planos o depresionados a consecuencia de la concentración de la escorrentía subterránea de acuíferos cercanos.

Figura 24 Altiplanicie allanada en depósitos morrénicos



4.1.2.2. Altiplanicies Ondulados (AltplOnd)

Estas unidades presentan pendientes predominantes de 4 -15 %, que se ubican en la parte alta, que prevalecen por de bancos o capas de rocas duras de estructuras horizontales, que han subsistido como relieves estructurales protegiendo capas de rocas subyacentes.

Figura 25 Altiplanicie ondulada



4.1.2.3. Altiplanicies Disectadas (AltplDisect)

Con superficies de 15-25 % diseccionadas, se encuentran en las partes altas de la zona de estudio cubiertos por vegetación de la zona (ichus).

Figura 26 Altiplanicie disectada en depósitos morrénicos

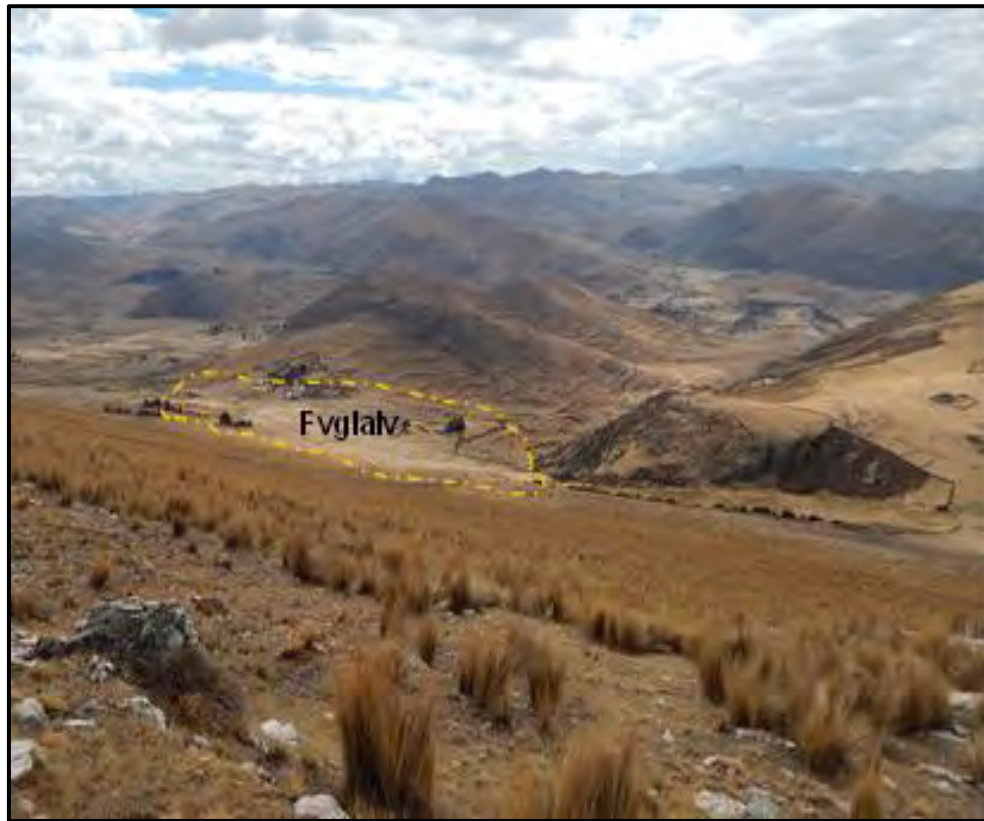


4.1.3. Valles o Planicies de Sedimentación

4.1.3.1. Fondos de Valle Glaciar y aluvial (Fvglalv)

Se presenta en las quebradas de la zona de estudio, genera la formación de “oconales” o “bofedales” debido a sus formas de valle del tipo morrénico, donde el coeficiente de evaporación es relativamente bajo y presencia de suelos arcillosos.

Figura 27 Fondo de valle glaciar y aluvial en depósitos morrénicos



4.1.4. Terrazas

4.1.4.1. Terrazas Altas Disectadas (Tads)

Su distribución litológica es variable ya que puede estar compuesto por depósitos aluviales, y algunas formaciones cuaternarias que han correspondido a episodios de levantamiento del Cuaternario Pleistocénico.

4.1.4.2. Terrazas Medias Disectadas (Tmds)

Representan relieves planos con pendientes de 4 – 15 %, formadas por depósitos aluviales disectadas por diversos afluentes de riachuelos.

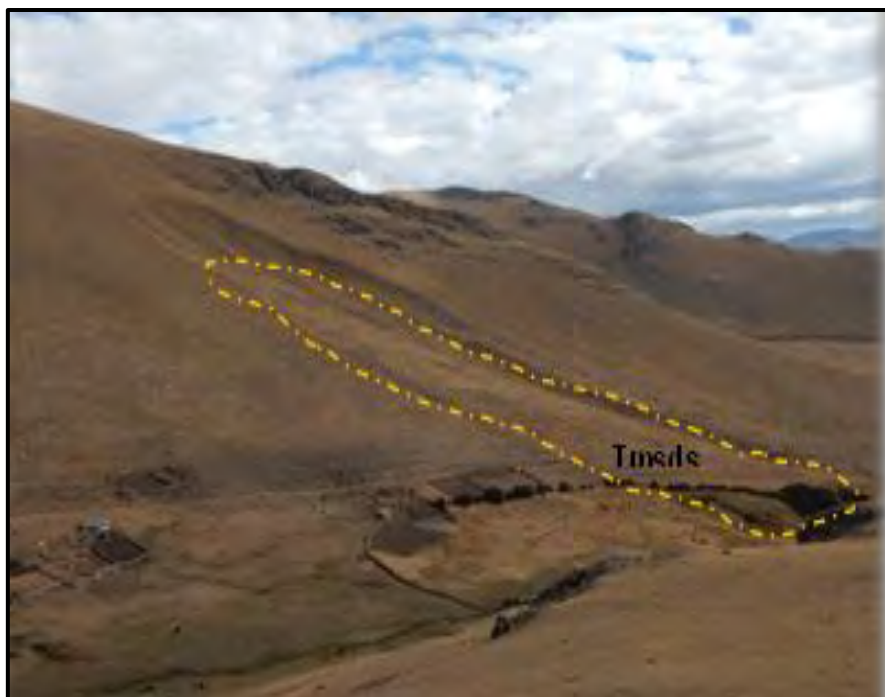
Figura 28 *Terraza media disectada en depósitos aluviales*



4.1.4.3. Terrazas Medias sin Disección (Tmsds)

Estas terrazas son el resultado de diversos eventos de desplazamientos en del río Challhuahuacho y sus principales afluentes, dejando a ambos lados geoformas planas producto de la acumulación de sedimentos, las cuales no están todavía disectadas por la red hidrográfica adyacente.

Figura 29 *Terraza media sin disección en depósitos morrénicos*



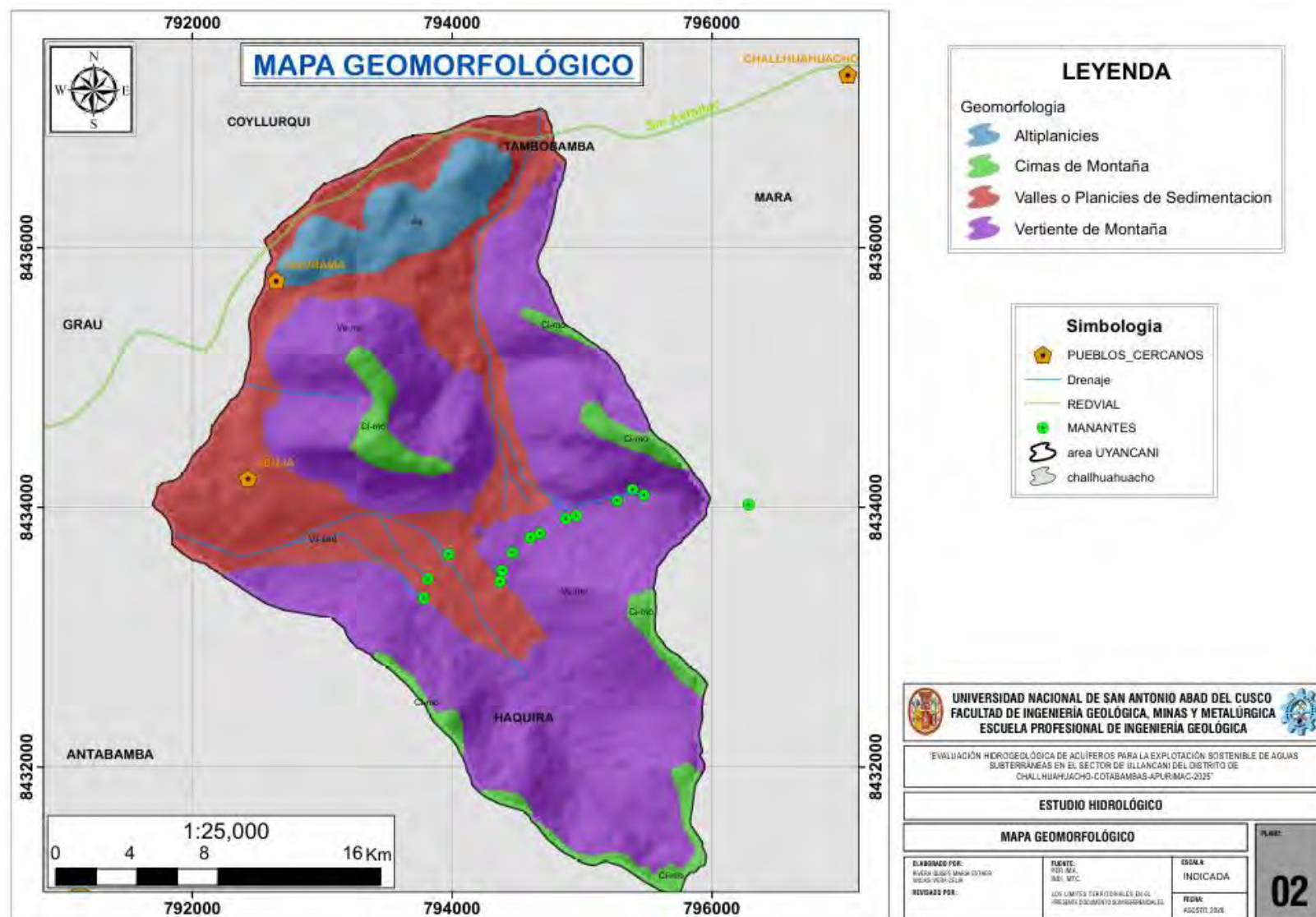
4.1.4.4. Terrazas Bajas (Tb)

Son las más próximas a los cursos de los ríos principales, formando cerca a los cauces pequeños barrancos. Alcanzan alturas de hasta 5 m sobre el nivel del río, siendo sus materiales predominantes arenas y limos.

Figura 30 *Terrazas bajas en el río Challhuahuacho en depósitos aluviales*



Figura 31 Mapa geomorfológico



4.2. Litoestratigrafía

4.2.1. Determinación litológica del área

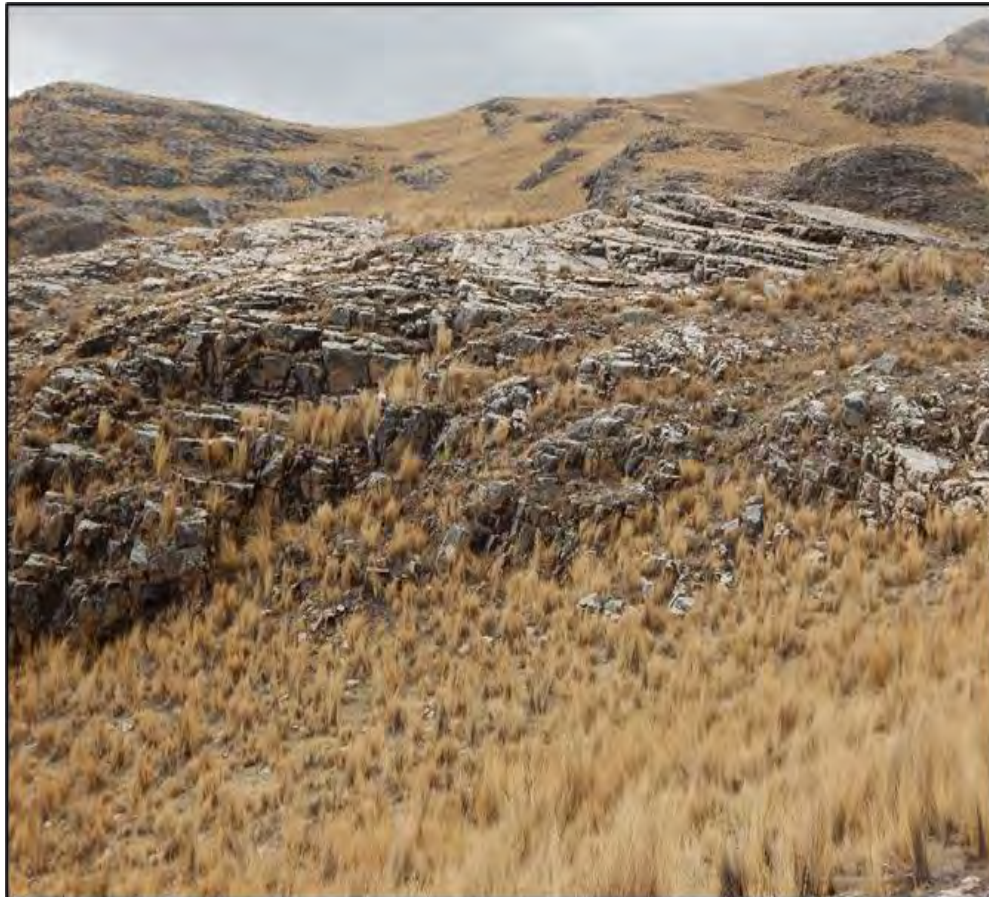
En el prospecto Litológico se toma en referencia regional de la columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomas 29-r, en la mayoría de la extensión presenta una fuerte ocurrencia de cobertura cuaternaria que está cubriendo a los depósitos morrénicos y coluviales, eluviales.

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias de areniscas cuarzosas de la Formación Huallhuani, pliegues de calizas bien fracturadas de la formación Arcurquina, areniscas y limo areniscas de la Formación Murco, Unidades volcano sedimentarias del volcánico Vilcarani, Depósitos cuaternarios Morrénicos y Cuaternarios aluviales. La ubicación del Prospecto queda al sur Oeste de la ciudad de Challhuahuacho, teniendo algunas similitudes de estratigrafía y litologías.

4.2.1.1. Afloramiento de areniscas de la Formación Hualhuani (Cretácico Inferior) Ki-yu/hu.

Dentro de los afloramientos se observa la presencia las areniscas pertenecientes a la Formación Huallhuani, donde litológicamente en el nivel superior se observan areniscas cuarzosas con una matriz madura en estratos métricos a submétricos de color blanco y rojizo intemperizado, presenta una intercalación de limoareniscas y areniscas blanquecinas cuarzosas de grosor submétrico. El tamaño de grano de las areniscas blancas cuarzosas es de grano fino a medio. Secuencialmente se encuentra por debajo de las areniscas de la formación Murco.

Figura 32 *Presencia del afloramiento de arenisca en la vertiente de montaña*



4.2.1.2. Afloramiento de areniscas de la Formación Murco (Cretácico Inferior)

Ki-mu

Está compuesta de arenas rojizas de grano fino con laminaciones oblicuas de bajo ángulo, horizontales y flaser bedding, así como limo arenas y lutitas rojas y verdes. Hacia la parte superior, hay intercalaciones de areniscas y conglomerados con limo arcillitas y limo areniscas rojas y violáceas, acompañadas de capas delgadas de yeso y calizas, se encuentra en menor representatividad en el área de estudio en contacto con las calizas Arcurquina.

4.2.1.3. Afloramiento de calizas – Formación Arcurquina - (Cretácico Inf-Sup)

Kis-ar

Afloran en la parte central de la zona de estudio en contacto con volcánicos y limoareniscas, está constituido de calizas esforzadas por compresión y por tal bien fracturadas, litológicamente, consta de tres secuencias estratificadas: La secuencia

inferior presenta estratos de caliza con grosores de hasta 2 metros; la secuencia media incluye niveles de caliza en estratos delgados junto con algunos niveles esporádicos de dolomita; y la secuencia superior muestra estratos de caliza de hasta 3 metros de grosor, alternando con niveles de caliza submétricos.

Figura 33 *Afloramientos de calizas fracturadas y karstificadas*



4.2.1.4. Grupo Barroso - Complejo volcánico Vilcarani (Pleistoceno) NQpl-ba-vi/tb

Se encuentra en contacto con la formación Arcurquina y depósitos aluviales, afloran secuencias tobáceas intercaladas de areniscas volcanoclásticas, en la zona de estudio se encuentran cubiertos por depósitos eluviales y cobertura vegetal.

4.2.1.5. Depósitos del pleistoceno o cuaternarios

4.2.1.5.1. Depósitos Morrénicos. Qh-mo.

Los depósitos morrénicos en el área de intervención están ligados a una formación de climasecuencias y cronosecuencias que fueron expuestos a un intemperismo mecánico como la erosión glaciár. En la zona de estudio se presenta como una acumulación caótica de rocas muy fragmentadas y llenas de aristas con rocas reacomodadas con presencia de limos y arcillas, Algunas acumulaciones de los depósitos morrénicos que son en extensión superficial a lo largo de las quebradas

que cubren a las formaciones de areniscas y calizas en el cual existen bofedales y manantes.

4.2.1.5.2. Depósitos Eluviales Qh-el.

Materiales que se forman a partir de la alteración y descomposición de la roca. Estos consisten en fragmentos de roca y bloques que van desde angulosos a subangulosos, dispuestos de manera caótica sin una selección o estratificación aparente, con una consolidación que varía de regular a pobre. Estos materiales se originan a través de mecanismos de flujos secos y de lodos. En el área de estudio se observa como material de cobertura a veces sin matriz solo acumulación de rocas fragmentadas y alteradas de hasta 1 metro de espesor.

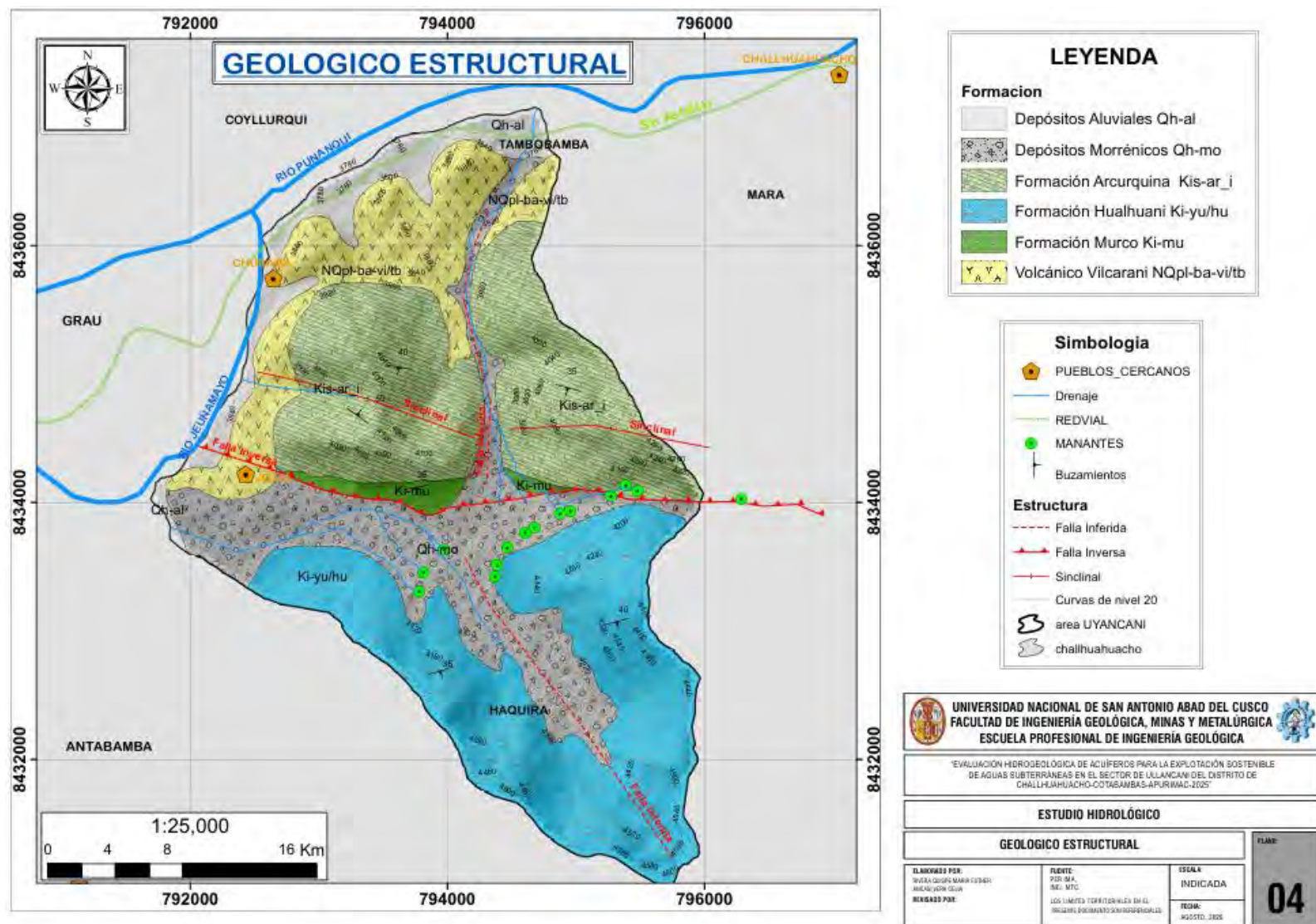
4.2.1.5.3. Depósitos Aluviales Qh-al.

Conformado por suelos finos, limo arcillosos y arenosos entremezclado con fragmentos de rocas polimícticas que cubre la parte inferior o norte de la zona de estudio, son susceptible a la erosión fluvial y se encuentran en contacto con unidades volcanosedimentarias Vilcarani.

Figura 34 Depósitos eluviales y morrénicos en el sector de Ullancani



Figura 35 Mapa geológico



4.3. Geología estructural

Atendiendo al grado de intensidad de deformación que presentan las unidades litológicas como consecuencia de los eventos tectónicos ocurridos, en la región estudiada es posible diferenciar dos zonas estructurales con características propias en cada caso y son las siguientes:

- Zona del Batolito de Apurímac y Abancay.
- Zona afectada por la Orogénesis Andina.

4.3.1.1. Análisis estructural

En la zona de estudio se identificaron las fracturas para poder describir su comportamiento direccional, distribuidos en ventanas estructurales, clasificación del macizo rocoso a través del RMR de Bienawski y su relación con el comportamiento del agua subterránea.

Se analizó 05 ventanas estructurales, los cuales cuatro en la formación Hualhuani y uno en la formación Arcurquina.

a. Ventana estructural 01

La ventana estructural E-01 corresponde a un afloramiento de roca fracturada donde se identificaron tres familias principales de discontinuidades (J1, J2 y J3), registrándose un total de 26 discontinuidades dentro de una longitud de evaluación de 10 m, con una frecuencia de fracturamiento de 2.6 discontinuidades/m.

Las familias presentan orientaciones preferenciales NW- SE. El espaciamiento varía entre 0.13 m y 1.10 m, clasificándose como moderadamente espaciado a ampliamente espaciado según la distribución de discontinuidades. La familia J3 presenta una persistencia aproximada de 0.80 m, mientras que la familia J1 alcanza valores de hasta 30 m, evidenciando estructuras de elevada continuidad.

Las discontinuidades presentan aperturas comprendidas entre 2.5 mm y 10 mm, con superficies de rugosidad ligera a moderada. El relleno corresponde principalmente a sílice y limos asociados a procesos de alteración moderada del macizo rocoso.

Los bloques generados por la intersección de las familias presentan volúmenes aproximados entre 0.10 m³ y 0.50 m³. El macizo rocoso presenta un RQD estimado de 75 %, correspondiente a una calidad buena, mientras que la clasificación geomecánica mediante el sistema RMR de Bieniawski presenta un valor promedio de 59.3, correspondiente a una calidad regular (Clase III).

Desde el punto de vista hidrogeológico, las discontinuidades abiertas y persistentes favorecen la generación de porosidad secundaria, constituyendo vías potenciales para la infiltración y circulación del agua subterránea. Sin embargo, la capacidad de conducción dependerá de la conectividad hidráulica entre las familias de fracturas, la apertura de las discontinuidades y el tipo de material de relleno presente.

Figura 36 *Ventana estructural 01*



Tabla 6 Índice de calidad de la roca RQD E-01

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Determinación del RQD, debido a que la evaluación se realizó a partir del registro de discontinuidades del macizo rocoso, el RQD se estimó mediante el método indirecto propuesto por Palmström, empleando el índice volumétrico de discontinuidades J_v , según la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Para la estación E-01 se obtuvo un índice volumétrico de discontinuidades $J_v = 12$ discontinuidades/m³. Por tanto:

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 12 \Rightarrow RQD = 75.4 \% \text{ (Buena)}$$

Tabla 7 Puntuación RQD según Bienasky

RQD (%)	Puntaje RMR del parámetro RQD
90–100	20
75–90	17
50–75	13
25–50	8
<25	3

Tabla 8 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-01

Estación	(J_v)	RQD calculado	Calidad RQD	Puntaje RMR
E-01	12	75.4 %	Buena	17

Tabla 9 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-02

Sistema	RMR	Clase	Calidad
S1	61	II	Buena
S2	54	III	Regular
S3	63	II	Buena

El valor representativo promedio es:

$$RMP_{Prom} = \frac{61+54+63}{3}$$

$$RMP_{Prom} = \frac{178}{3}$$

$RMP_{Prom} = 59.3$, Clase III, Calidad Regular

b. Ventana estructural 02

La ventana estructural E-02 corresponde a un afloramiento de roca fracturada donde se identificaron tres familias principales de discontinuidades (J1, J2 y J3), registrándose un total de 36 discontinuidades dentro de una longitud de evaluación de 10 m, con una frecuencia de fracturamiento de 3.6 discontinuidades/m.

Las discontinuidades presentan orientaciones preferenciales NE-SW y NW-SE, evidenciando un sistema estructural conformado por tres familias principales. El espaciamiento de las discontinuidades varía entre 0.14 m y 0.20 m, mientras que la familia J3 presenta un espaciamiento aproximado de 0.40 m. La persistencia de las familias supera los 3 m, mientras que la familia J1 presenta valores aproximados de 1.20 m, mostrando diferentes grados de continuidad estructural.

Las discontinuidades presentan aperturas comprendidas entre 1 mm y 2 mm, con superficies de rugosidad ligera a moderada. La familia J3 presenta relleno de sílice, mientras que las familias J1 y J2 presentan evidencia de alteración moderada en las paredes de las discontinuidades.

El macizo rocoso presenta bloques generados por la intersección de las familias de discontinuidades, cuya geometría está condicionada por la orientación y espaciamiento de las estructuras presentes. El índice de calidad de roca RQD estimado es de 68.7 %, correspondiente a una calidad regular. La clasificación geomecánica mediante el sistema RMR de Bieniawski presenta un valor promedio de 57, correspondiente a una calidad regular (Clase III).

Desde el punto de vista hidrogeológico, el grado de fracturamiento observado favorece la generación de porosidad secundaria, permitiendo la infiltración y circulación del agua subterránea a través de las discontinuidades. La presencia de familias con elevada persistencia puede incrementar la conectividad hidráulica del macizo; sin embargo, la presencia de rellenos minerales como sílice puede modificar localmente la capacidad de conducción del flujo.

Figura 37 *Ventana estructural 02*



Tabla 10 *Índice de calidad de la roca RQD E-02*

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Determinación del RQD, debido a que la evaluación se realizó a partir del registro de discontinuidades del macizo rocoso, el RQD se estimó mediante el método indirecto

propuesto por Palmström, empleando el índice volumétrico de discontinuidades J_v , según la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Para la estación E-02 se obtuvo un índice volumétrico de discontinuidades $J_v = 14$ discontinuidades/m³. Por tanto

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 14 \quad \Rightarrow \quad RQD = 68.8 \% \text{ (Buena)}$$

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 14 \quad RQD = 68.8\% \text{ (Regular)}$$

Tabla 11 Puntajes RQD en el sistema RMR de Bieniawski E-02

RQD (%)	Puntaje RMR del parámetro RQD
90–100	20
75–90	17
50–75	13
25–50	8
<25	3

Tabla 12 RQD para la estación E-01

Estación	(J_v)	RQD calculado	Calidad RQD	Puntaje RMR
E-02	14	68.8 %	Regular	13

Tabla 13 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-02

Sistema	RMR	Clase	Calidad
S1	54	III	Regular
S2	57	III	Regular
S3	60	III	Regular

El valor representativo promedio es:

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{54+57+60}{3}$$

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{171}{3}$$

$$RMP_{\text{Prom}} = 57, \text{ Clase III, Calidad Regular}$$

c. Ventana estructural 03

La ventana estructural E-03 corresponde a un afloramiento de roca altamente fracturada donde se identificaron tres familias principales de discontinuidades (J1, J2 y J3), registrándose un total de 38 discontinuidades dentro de una longitud de evaluación de 10 m, con una frecuencia de fracturamiento de 3.8 discontinuidades/m.

Las familias presentan una orientación preferencial NW-SE, con espaciamientos comprendidos entre 2.6 cm y 30 cm, correspondientes a discontinuidades muy cerradas a cerradas, evidenciando un alto grado de fracturamiento del macizo rocoso. La familia J3 presenta una persistencia aproximada de 4 m, mientras que la familia J1 alcanza valores de 3 m, indicando estructuras con continuidad considerable dentro del macizo.

Las discontinuidades presentan aperturas entre 1 mm y 4 mm, con superficies de rugosidad moderada a rugosa. Asimismo, presentan relleno de sílice y raíces, asociados a procesos de alteración moderada del macizo rocoso. Los bloques generados por la intersección de las familias presentan volúmenes aproximados entre 0.10 m³ y 0.30 m³, evidenciando una fragmentación significativa.

El índice de calidad de roca RQD estimado es de 22.6 %, correspondiente a una calidad muy mala, indicando un macizo rocoso intensamente fracturado. La clasificación geomecánica mediante el sistema RMR de Bieniawski presenta un valor promedio de 39.7, correspondiente a una calidad mala (Clase IV).

Desde el punto de vista hidrogeológico, el elevado grado de fracturamiento de esta ventana favorece la generación de permeabilidad secundaria, permitiendo potencialmente la infiltración y circulación del agua subterránea. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento dependerá principalmente de la continuidad y

conectividad hidráulica entre las familias de discontinuidades, así como de la presencia de materiales de relleno que pueden limitar localmente el flujo.

Figura 38 *Ventana estructural 03*



Tabla 14 *Índice de calidad de la roca RQD E-03*

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy mala
22 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Determinación del RQD, debido a que la evaluación se realizó a partir del registro de discontinuidades del macizo rocoso, el RQD se estimó mediante el método indirecto

propuesto por Palmström, empleando el índice volumétrico de discontinuidades J_v , según la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Para la estación E-02 se obtuvo un índice volumétrico de discontinuidades $J_v = 28$ discontinuidades/m³. Por tanto

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 28 \Rightarrow RQD = 22.6 \% \text{ (Muy Mala)}$$

Tabla 15 Puntajes *RQD* en el sistema *RMR* de Bieniawski E-03

RQD (%)	Puntaje RMR del parámetro RQD
90–100	20
75–90	17
50–75	13
25–50	8
<25	3

Tabla 16 Determinación y puntuación del *RQD* para la estación E-03

Estación	(J_v)	RQD calculado	Calidad RQD	Puntaje RMR
E-03	28	22.6 %	Muy Mala	3

Tabla 17 Clasificación geomecánica de Bieniawski *RMR* E-03

Sistema	RMR	Clase	Calidad
S1	42	III	Regular
S2	36	IV	Mala
S3	41	III	Regular

El valor representativo promedio es:

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{42+36+41}{3}$$

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{119}{3}$$

$$RMP_{\text{Prom}} = 39.7, \text{ Clase IV, Calidad Mala}$$

d. Ventana estructural 04

La ventana estructural E-04 corresponde a un afloramiento de roca fracturada donde se identificaron dos familias principales de discontinuidades (J_1 y J_2),

registrándose un total de 41 discontinuidades dentro de una longitud de evaluación de 10 m, con una frecuencia de fracturamiento de 4.1 discontinuidades/m.

Las discontinuidades presentan una orientación preferencial NW-SE, con espaciamientos comprendidos entre 0.18 m y 0.40 m, correspondientes a discontinuidades moderadamente espaciadas. La familia J2 presenta una persistencia aproximada de 0.43 m, mientras que la familia J1 presenta una persistencia de 0.29 m, indicando estructuras de continuidad limitada dentro del afloramiento.

Las discontinuidades presentan aperturas comprendidas entre 3 mm y 6 mm, con superficies de rugosidad ligera a moderada. El relleno está constituido principalmente por limos y raíces, asociados a procesos de alteración moderada del macizo rocoso. Estas condiciones pueden influir en la conductividad hidráulica debido a la presencia de materiales que pueden reducir parcialmente la conexión entre fracturas.

Los bloques generados por la intersección de las familias presentan volúmenes aproximados entre 0.50 m³ y 1.00 m³, evidenciando bloques de mayor tamaño respecto a otras ventanas evaluadas. El índice de calidad de roca RQD estimado es de 52.3 %, correspondiente a una calidad regular.

La clasificación geomecánica mediante el sistema RMR de Bieniawski presenta un valor promedio de 57.5, correspondiente a una calidad regular (Clase III).

Desde el punto de vista hidrogeológico, la circulación del agua subterránea estará condicionada principalmente por la continuidad, apertura y conectividad hidráulica de las fracturas. La presencia de rellenos limosos y materiales de alteración puede disminuir localmente la permeabilidad secundaria del macizo rocoso.

Figura 39 *Ventana estructural 04*



Tabla 18

Índice de calidad de la roca RQD E-04

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy mala
20 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 19 \quad RQD = 52.3 \% \text{ (Regular)}$$

Determinación del RQD, debido a que la evaluación se realizó a partir del registro de discontinuidades del macizo rocoso, el RQD se estimó mediante el método indirecto propuesto por Palmström, empleando el índice volumétrico de discontinuidades J_v , según la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Para la estación E-02 se obtuvo un índice volumétrico de discontinuidades $J_v = 19$ discontinuidades/ m^3 . Por tanto

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 19 \quad \Rightarrow \quad RQD = 52.3 \% \text{ (Regular)}$$

Tabla 19 Puntajes RQD E-04

RQD (%)	Puntaje RMR del parámetro RQD
90–100	20
75–90	17
50–75	13
25–50	8
<25	3

Tabla 20 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-04

Estación	(Jv)	RQD calculado	Calidad RQD	Puntaje RMR
E-04	19	52.3 %	Regular	13

Tabla 21 Clasificación geomecánica de Bienasky RMR E-04

Sistema	RMR	Clase	Calidad
S1	61	II	Bueno
S2	54	III	Regular

El valor representativo promedio es:

$$RMP_{Prom} = \frac{61+54}{2}$$

$$RMP_{Prom} = \frac{115}{2}$$

$RMP_{Prom} = 57.5$, Clase III, Calidad Regular

e. Ventana estructural 05

La ventana estructural E-05 corresponde a un afloramiento de roca fracturada donde se identificaron tres familias principales de discontinuidades (J1, J2 y J3), registrándose un total de 52 discontinuidades dentro de una longitud de evaluación de 10 m, con una frecuencia de fracturamiento de 5.2 discontinuidades/m.

Las discontinuidades presentan orientaciones preferenciales NW-SE y NE-SW, con espaciamentos comprendidos entre 0.30 m y 0.45 m, correspondientes a discontinuidades moderadamente espaciadas. La familia J2 presenta una persistencia aproximada de 0.70 m, mientras que la familia J1 presenta una persistencia de 0.30 m, indicando estructuras de continuidad limitada.

Las discontinuidades presentan aperturas comprendidas entre 1 mm y 2 cm, con superficies de rugosidad alta a muy rugosa. Asimismo, presentan relleno compuesto principalmente por limos y raíces, asociados a procesos de alteración moderada del macizo rocoso. Estas características pueden modificar las condiciones hidráulicas debido a que los materiales de relleno pueden reducir parcialmente la conexión entre fracturas.

Los bloques generados por la intersección de las familias presentan volúmenes aproximados entre 0.30 m³ y 0.80 m³, evidenciando bloques de tamaño moderado. El índice de calidad de roca RQD estimado es de 49 %, correspondiente a una calidad mala.

La clasificación geomecánica mediante el sistema RMR de Bieniawski presenta un valor promedio de 47.3, correspondiente a una calidad regular (Clase III).

Desde el punto de vista hidrogeológico, las aperturas presentes en las discontinuidades pueden constituir vías potenciales para el flujo del agua subterránea; sin embargo, la elevada rugosidad y la presencia de rellenos limosos y raíces pueden disminuir la permeabilidad secundaria, limitando parcialmente la circulación y capacidad de almacenamiento del medio fracturado.

Figura 40 Ventana estructural 05



Tabla 22 Índice de calidad de la roca RQD E-05

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Determinación del RQD, debido a que la evaluación se realizó a partir del registro de discontinuidades del macizo rocoso, el RQD se estimó mediante el método indirecto propuesto por Palmström, empleando el índice volumétrico de discontinuidades J_v , según la expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Para la estación E-02 se obtuvo un índice volumétrico de discontinuidades $J_v = 20$ discontinuidades/ m^3 . Por tanto

$$RQD = 115 - 3.3 \cdot 20 \rightarrow RQD = 49 \% \text{ (Mala)}$$

Tabla 23 Puntajes RQD en el sistema RMR de Bieniawski E-05

RQD (%)	Puntaje RMR del parámetro RQD
90–100	20
75–90	17
50–75	13
25–50	8
<25	3

Tabla 24 Determinación y puntuación del RQD para la estación E-05

Estación	(Jv)	RQD calculado	Calidad RQD	Puntaje RMR
E-05	20	49 %	Mala	8

Tabla 25 Clasificación geomecánica de Bieniawski RMR E-03

Sistema	RMR	Clase	Calidad
S1	46	III	Regular
S2	46	III	Regular
S3	50	III	Regular

El valor representativo promedio es:

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{46+46+50}{3}$$

$$RMP_{\text{Prom}} = \frac{142}{3}$$

$RMP_{\text{Prom}} = 47.3$, Clase III, Calidad Regular

La caracterización estructural realizada en las cinco ventanas evidencia que el macizo rocoso presenta un comportamiento heterogéneo, condicionado principalmente por el número de familias de discontinuidades, grado de fracturamiento, continuidad de las estructuras y características de las superficies de contacto. Las ventanas E-01, E-02 y E-03 presentan tres familias principales de discontinuidades, mientras que E-04 y E-05 presentan dos familias predominantes.

Los valores de frecuencia de fracturamiento varían entre 2.6 y 5.2 discontinuidades/m, identificándose a la ventana E-05 como el sector con mayor intensidad de fracturamiento. La

ventana E-03 presenta la condición geomecánica más desfavorable debido a su bajo valor de RQD (22.6 %) y clasificación RMR IV (mala), indicando un macizo altamente fracturado.

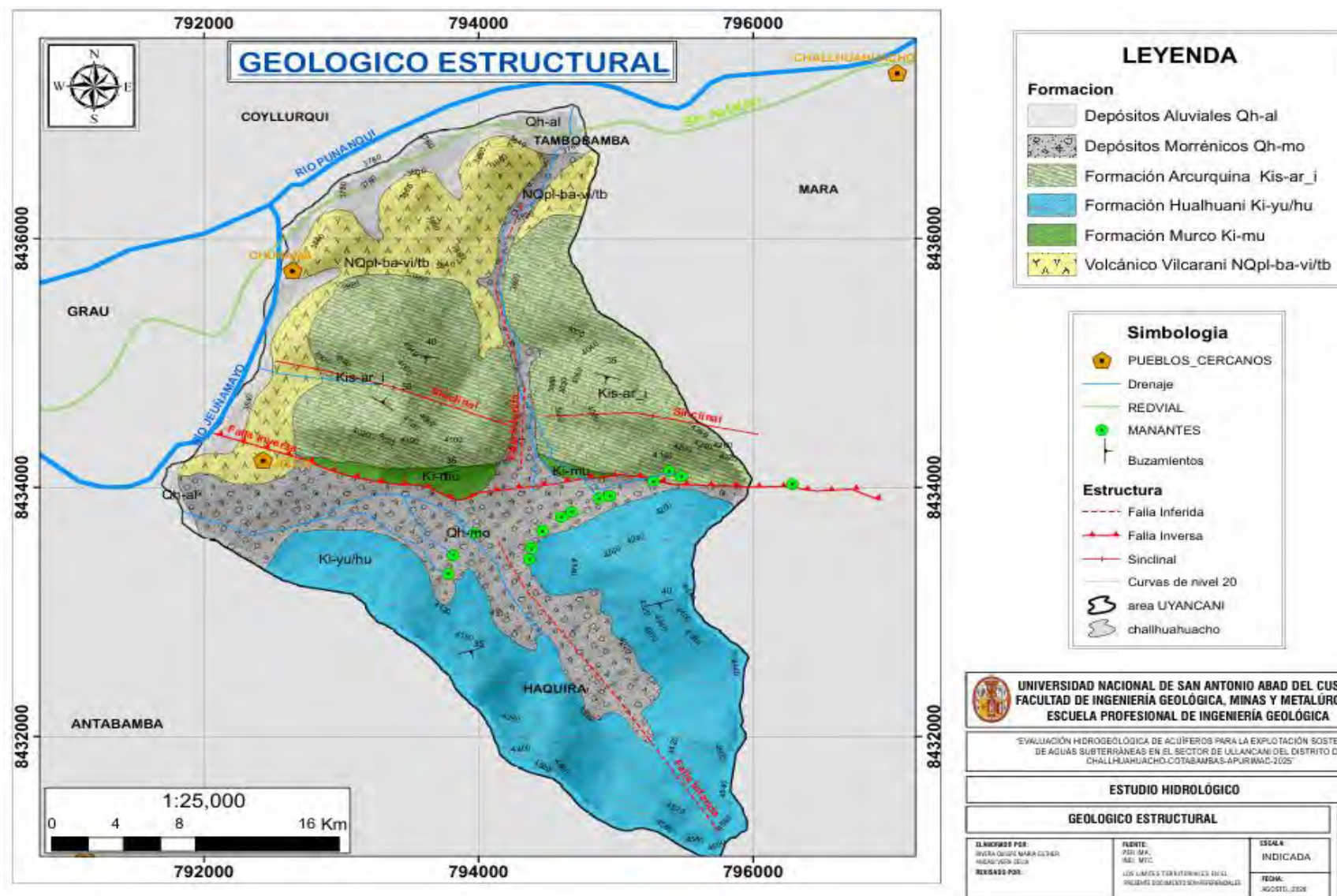
Desde el punto de vista hidrogeológico, las discontinuidades constituyen estructuras de porosidad secundaria que pueden favorecer la infiltración y circulación del agua subterránea. Sin embargo, la capacidad efectiva de conducción depende de la conectividad hidráulica, apertura, persistencia y presencia de materiales de relleno, especialmente limos y productos de alteración que pueden disminuir localmente la permeabilidad.

El análisis estructural realizado evidencia que las unidades litológicas evaluadas presentan condiciones hidrogeológicas controladas principalmente por la presencia de discontinuidades, fracturas y zonas de mayor grado de deformación. Estas estructuras generan una porosidad secundaria, representada por los espacios abiertos asociados a las fracturas, favoreciendo la infiltración y el almacenamiento del agua subterránea dentro del macizo rocoso.

Asimismo, las características de las discontinuidades, como la apertura, persistencia, rugosidad y grado de conectividad condicionan la permeabilidad secundaria del acuífero, permitiendo la circulación del flujo subterráneo a través de vías preferenciales. Las ventanas estructurales con mayores aperturas y continuidad de fracturas presentan mejores condiciones para la conducción del agua, mientras que la presencia de rellenos arcillosos, limosos o materiales de alteración puede reducir localmente la permeabilidad.

En términos hidrogeológicos, los resultados indican que el fracturamiento del macizo rocoso constituye un factor favorable para la recarga, almacenamiento y circulación del agua subterránea, identificándose sectores con condiciones potencialmente favorables para el funcionamiento del acuífero. Sin embargo, la capacidad efectiva de almacenamiento y explotación dependerá de la continuidad hidráulica de las fracturas y su relación con otros parámetros hidrogeológicos evaluados en la investigación.

Figura 41 Mapa geológico estructural



Resumen de Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso

Clasificación RMR — Bieniawski (1989)

A continuación, se presenta el resumen de las cinco (05) estaciones geomecánicas levantadas en campo. En cada estación se identificaron tres (03) sistemas de discontinuidades principales (S1, S2, S3), salvo en la estación E-04 donde se registraron dos (02) sistemas. Para cada sistema se muestra la valoración de los seis parámetros del índice RMR (resistencia de la roca intacta, RQD, espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades — persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración —, y presencia de agua subterránea), su puntaje individual, el RMR básico resultante y la clase de macizo rocoso correspondiente.

ESTACIÓN E-01			
Fecha	22/5/2025	Tipo de roca	Arenisca (100%)
Coordenadas	Este 795599.90 / Norte 8431396.90	Altura (msnm)	4520
Cohesión	296.67 kPa	Ángulo de fricción interna	34.67°
Parámetro RMR	S1	S2	S3
Buzamiento (Dip) / Dirección	3° / 160°	86° / 151°	26° / 95°
Espaciamiento de campo (m)	1.10	0.80	0.13
Resistencia (MPa)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)
Puntaje	4	4	4
RQD (%)	75-90 (buena)	75-90 (buena)	75-90 (buena)
Puntaje	17	17	17
Espaciamiento discont.	0.6 - 2 (Separadas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.06 - 0.2 (Juntas)
Puntaje	15	10	8
Persistencia	>20 m de longitud	1-3 m de longitud	<1 m de longitud
Puntaje	0	4	6
Abertura (separación)	1-5 mm apert.	1-5 mm apert.	> 5 mm apert.
Puntaje	1	1	10
Rugosidad	Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa
Puntaje	4	2	2
Relleno	Suave <5 mm	Duro <5 mm	Suave >5 mm
Puntaje	2	5	0
Alteración	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
Puntaje	3	3	3
Agua subterránea	Seco	Seco	Seco
Puntaje	15	15	15
RMR Básico	61	54	63
RMR Ajustado	61	54	63
Clase de Macizo Rocoso	II: BUENA	III: REGULAR	II: BUENA

ESTACIÓN E-02

Fecha	22/5/2025	Tipo de roca	Arenisca (100%)
Coordenadas	Este 795597.60 / Norte 8431482.21	Altura (msnm)	4433
Cohesión	285 kPa	Ángulo de fricción interna	33.50°
Parámetro RMR	S1	S2	S3
Buzamiento (Dip) / Dirección	73° / 6°	75° / 251°	76° / 288°
Espaciamiento de campo (m)	0.20	0.14	0.09
Resistencia (MPa)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)
Puntaje	4	4	4
RQD (%)	50-75 (Media)	50-75 (Media)	50-75 (Media)
Puntaje	13	13	13
Espaciamiento descont.	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.6 - 2 (Separadas)	0.6 - 2 (Separadas)
Puntaje	10	15	15
Persistencia	1-3 m de longitud	<1 m de longitud	<1 m de longitud
Puntaje	4	6	6
Abertura (separación)	1-5 mm apert.	1-5 mm apert.	0.1-1.0 mm apert.
Puntaje	1	1	4
Rugosidad	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa
Puntaje	2	2	2
Relleno	Suave <5 mm	Duro <5 mm	Duro <5 mm
Puntaje	2	5	5
Alteración	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
Puntaje	3	3	3
Agua subterránea	Seco	Seco	Seco
Puntaje	15	15	15
RMR Básico	54	57	60
RMR Ajustado	54	57	60
Clase de Macizo Rocoso	III: REGULAR	III: REGULAR	III: REGULAR

ESTACIÓN E-03

Fecha	22/5/2025	Tipo de roca	Arenisca (100%)
Coordenadas	Este 794590.16 / Norte 8433638.80	Altura (msnm)	4131
Cohesión	198.33 kPa	Ángulo de fricción interna	24.83°
Parámetro RMR	S1	S2	S3
Buzamiento (Dip) / Dirección	73° / 287°	44° / 180°	50° / 155°
Espaciamiento de campo (m)	0.26	0.30	0.30
Resistencia (MPa)	5,0-25 (Blanda)	5,0-25 (Blanda)	5,0-25 (Blanda)
Puntaje	2	2	2
RQD (%)	<25 (Muy mala)	<25 (Muy mala)	<25 (Muy mala)
Puntaje	3	3	3
Espaciamiento descont.	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)
Puntaje	10	10	10
Persistencia	1-3 m de longitud	3-10 m de longitud	1-3 m de longitud
Puntaje	4	2	4
Abertura (separación)	1-5 mm apert.	1-5 mm apert.	0.1-1.0 mm apert.
Puntaje	1	1	4
Rugosidad	Lig. Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa
Puntaje	2	4	2
Relleno	Suave <5 mm	Suave <5 mm	Limpia
Puntaje	2	2	6
Alteración	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
Puntaje	3	3	3
Agua subterránea	Seco	Seco	Seco
Puntaje	15	15	15
RMR Básico	42	36	41
RMR Ajustado	42	36	41
Clase de Macizo Rocoso	III: REGULAR	IV: MALA	III: REGULAR

ESTACIÓN E-04

Fecha	22/5/2025	Tipo de roca	Arenisca (100%)
Coordenadas	Este 795470 / Norte 8433561	Altura (msnm)	4281
Cohesión	287.50 kPa	Ángulo de fricción interna	33.75°
Parámetro RMR	S1	S2	
Buzamiento (Dip) / Dirección	54° / 351°	41° / 151°	
Espaciamiento de campo (m)	0.26	0.30	
Resistencia (MPa)	50-100 (Dura)	50-100 (Dura)	
Puntaje	7	7	
RQD (%)	50-75 (Media)	50-75 (Media)	
Puntaje	13	13	
Espaciamiento descont.	0.06 - 0.2 (Juntas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	
Puntaje	8	10	
Persistencia	<1 m de longitud	<1 m de longitud	
Puntaje	6	6	
Abertura (separación)	1-5 mm apert.	> 5 mm apert.	
Puntaje	1	0	
Rugosidad	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	
Puntaje	2	2	
Relleno	Limpia	Suave <5 mm	
Puntaje	6	2	
Alteración	Mod. Alterada	Mod. Alterada	
Puntaje	3	3	
Agua subterránea	Seco	Seco	
Puntaje	15	15	
RMR Básico	61	54	
RMR Ajustado	61	54	
Clase de Macizo Rocoso	II: BUENA	III: REGULAR	

ESTACIÓN E-05

Fecha	22/5/2025	Tipo de roca	Caliza (100%)
Coordenadas	Este 797416 / Norte 8434308	Altura (msnm)	4174
Cohesión	236.67 kPa	Ángulo de fricción interna	28.67°
Parámetro RMR	S1	S2	S3
Buzamiento (Dip) / Dirección	66° / 10°	18° / 3°	90° / 92°
Espaciamiento de campo (m)	0.45	0.30	0.31
Resistencia (MPa)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)	25-50 (Moder Dura)
Puntaje	4	4	4
RQD (%)	25-50 (Mala)	25-50 (Mala)	25-50 (Mala)
Puntaje	8	8	8
Espaciamiento discount.	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)	0.2 - 0.6 (Mod. Juntas)
Puntaje	10	10	10
Persistencia	>20 m de longitud	<1 m de longitud	<1 m de longitud
Puntaje	0	6	6
Abertura (separación)	> 5 mm apert.	> 5 mm apert.	0.1-1.0 mm apert.
Puntaje	0	0	4
Rugosidad	Muy rugosa	Muy rugosa	Rugosa
Puntaje	6	6	4
Relleno	Suave >5 mm	Suave >5 mm	Suave >5 mm
Puntaje	0	0	0
Alteración	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada
Puntaje	3	3	3
Agua subterránea	Seco	Seco	Seco
Puntaje	15	15	15
RMR Básico	46	46	50
RMR Ajustado	46	46	50
Clase de Macizo Rocoso	III: REGULAR	III: REGULAR	III: REGULAR

4.4. Hidrología

4.4.1. Parámetros geomorfológicos e hidrológicos

De la zona de estudio se delimito el área como indican los mapas, asimismo en base a esta delimitación se obtuvo los parámetros geomorfológicos e hidrológicos que sirvió para analizar en base a los registros hidrometeorológicos.

Tabla 26 Área y perímetro del área de estudio

Perímetro:	17.41	Km
Área:	14.26	Km²

Figura 42 Curva hipsométrica en la cuenca de Ullancani

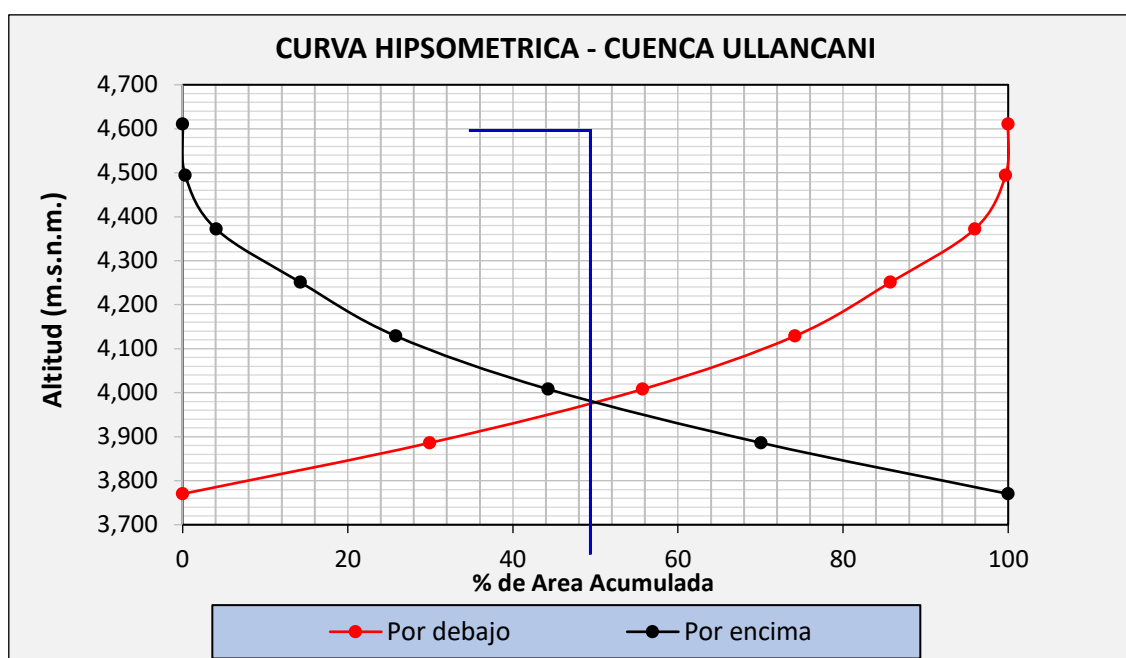


Tabla 27 Parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la zona de estudio

Parámetros				Variable	Unidad	Microcuenca del área Uyancani
Área de la cuenca				A	Km²	14.26
Perímetro				P	Km	17.41
Parámetros de forma	FACTOR DE CUENCA	FACTOR DE FORMA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		1	1.30
			Longitud (/ al curso más largo)		Km	11.76
			Ancho medio		Km	1.21
			Radio de Circularidad		1	0.59
			Factor de Forma		1	0.33
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor		Km	6.61	

Parámetros de relieve	Longitud total de los ríos de diferentes grados	Lado Menor	Km	2.16
		Orden 1	Km	5.51
		Orden 2	Km	6.25
		Orden 3	Km	-
		Orden 4	Km	-
		Orden 5	Km	-
	CENTRO DE GRAVEDAD	Latitud	L _s	g° m' s" 14°10'11.60"
		Longitud	L _w	g° m' s" 72°16'14.77"
	Longitud del curso principal al C.G.		L _{CG}	Km 5.88
	Curva Hipsométrica		-	
	Polígono de Frecuencia		-	
	Altitud Máxima de la Cuenca		m.s.n.m.	4611.0
	Altitud Mínima de la Cuenca		m.s.n.m.	3770.0
	Desnivel total de la Cuenca		Km	0.8
	Altitud de Frecuencia Media		m.s.n.m.	4019.2
	Altitud Media de la Cuenca		m.s.n.m.	4019.2
	Altura Máxima del cauce		m.s.n.m.	4611.0
	Altura más frecuente		m.s.n.m.	3886-4008
parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Pendiente de la cuenca		mm/mm	0.049
	Pendiente de la cuenca (sistema del rectángulo equivalente)		%	12.7
	Tipo de Corriente		-	Intermitente
	Densidad de Drenaje		Km/Km 2	1.11
	Pendiente media del río Principal		mm/mm	0.05
	Altura máxima del Cauce		m.s.n.m.	4611.00
	Altura Mínima del Cauce		m.s.n.m.	3770.00
	VENTURA ERAS		Hr	-
	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	KIRPICH	Hr	0.80
		ELEGIDO	Hr	0.80
	Grado de Ramificación		Gr	- 2°

4.4.2. Información hidrometeorológica

Para datos hidrometeorológicos se utilizó data descargada de Prediction Of Worldwide Energy Resources que proporciona conjuntos de datos solares y meteorológicos de investigaciones de la NASA para respaldar la energía renovable, la eficiencia energética y las necesidades agrícolas. Para obtener data de la zona se ubicó la coordenada correspondiente al centroide del área de estudio, obteniéndose data para la zona específica como se tratará de una estación meteorológica.

4.4.2.1. Precipitación

Para el análisis de precipitación se trató datos desde el periodo 1985-2025 obteniéndose precipitaciones medias mensuales y anuales.

Figura 43 *Histograma de precipitación periodo 1985-2025*

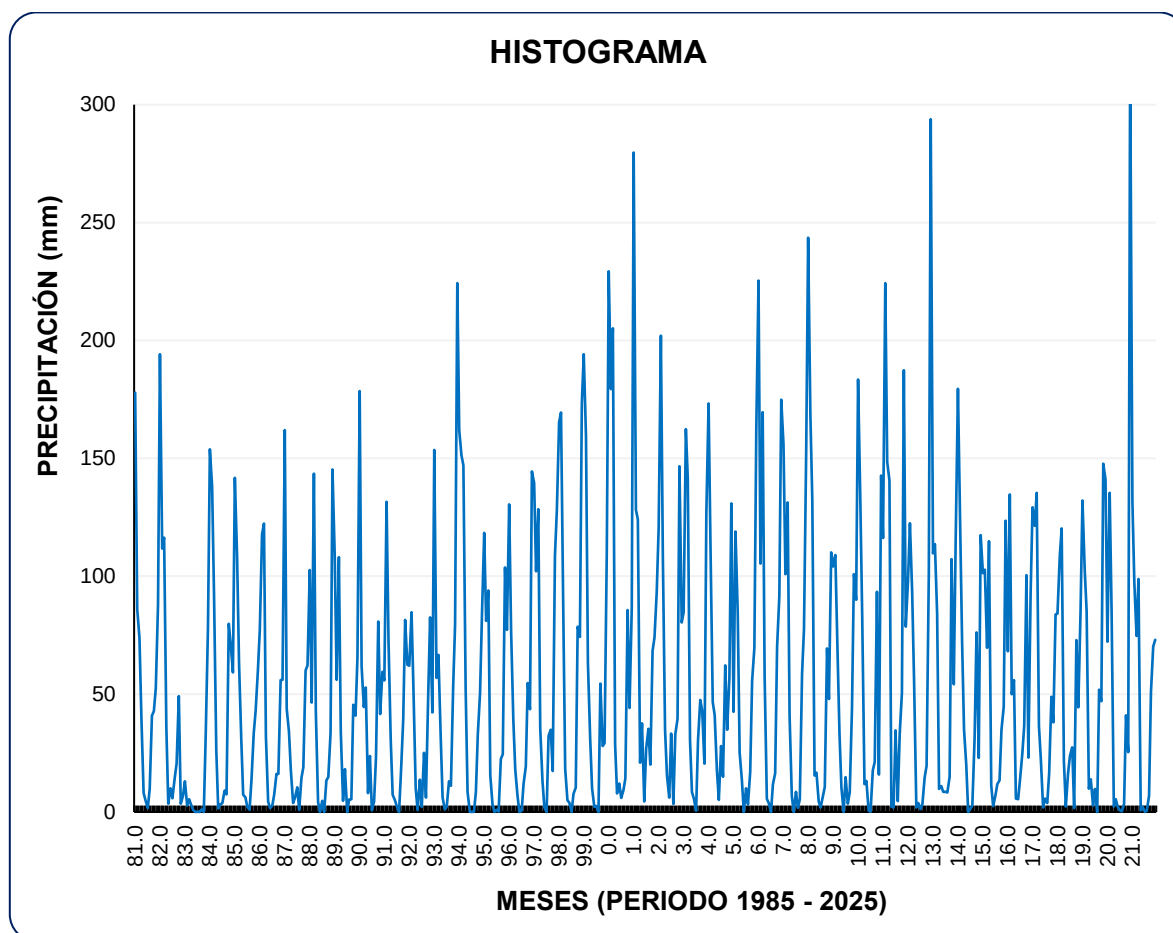
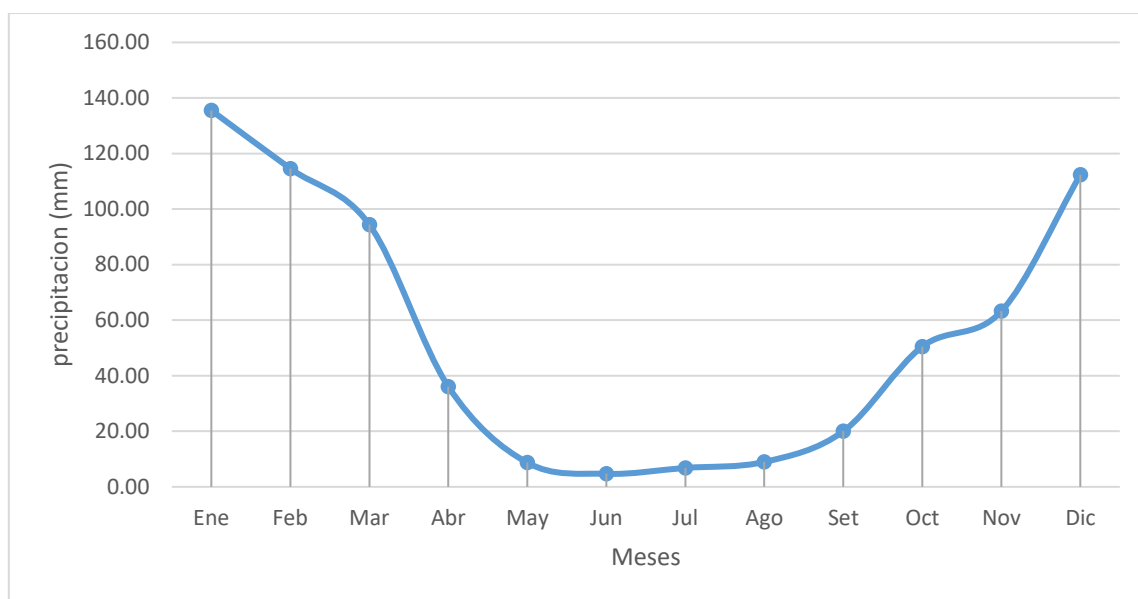


Figura 44 *Precipitación media mensual en el sector de Ullancani*



La precipitación media de la zona de estudio en un comportamiento mensual manifiesta claramente las épocas de estiaje y de lluvias.

Tabla 28 Registro de las precipitaciones 1985-2025

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1985	177.86	86.04	73.89	40.29	8.06	4.9	1.66	9.71	40.83	42.82	52.41	87.93	626.4
1986	194.13	111.74	116.38	35.79	3.55	9.97	5.89	14.2	20.5	49.16	3.45	6.87	571.63
1987	12.96	2.71	5.35	2.77	0.75	0.02	0.16	0	1.02	0.02	32.69	77.83	136.28
1988	153.83	138.12	91.75	26.36	1.5	3.19	3.75	9.02	7.41	79.84	71.2	59.17	645.14
1989	141.79	108.51	63.7	31.12	7.31	6.26	2.2	0.93	13.71	33.35	43.03	60.04	511.95
1990	77.38	117.8	122.33	32.24	4.43	1.61	2.69	7.49	16.21	16.11	55.88	56.1	510.27
1991	161.97	43.78	34.23	17.66	3.81	6.16	10.49	0.96	14.33	18.96	59.99	62.21	434.55
1992	102.68	46.49	143.48	42.64	4.14	0.02	4.77	0.01	13.41	14.78	33.47	145.34	551.23
1993	108.92	56.12	108.1	33.86	4.76	18.23	0.02	5.25	5.44	45.51	40.89	65.48	492.58
1994	178.5	61.89	44.49	52.81	7.96	23.76	0.63	4.5	23.4	80.81	41.54	59.44	579.73
1995	55.8	131.58	72.89	30.38	7.27	5	2.47	0	16.77	39.03	81.5	62.42	505.11
1996	62.04	84.75	51.85	10.07	0.77	13.76	2.1	25.15	6.06	49.15	82.55	42.2	430.45
1997	153.58	56.93	66.7	32.27	6.09	1.12	2.31	12.97	11.16	52.98	79.39	224.26	699.76
1998	161.78	151.19	146.98	52.35	8.56	0.18	0	0.15	8.44	32.84	50.34	83.46	696.27
1999	118.44	80.98	93.92	15.55	3.07	0	0.93	0.08	22.55	24.41	103.75	77.25	540.93
2000	130.48	77.03	38.94	18.01	6.96	0	0.48	12	19.27	54.73	43.55	144.41	545.86
2001	139.58	102.03	128.4	35.62	13.26	1.95	0.02	32.28	34.95	17.33	108.61	128.22	742.25
2002	165.39	169.39	85.53	18.34	4.99	3.89	0	7.7	10.36	78.55	74.26	173.36	791.76
2003	194.11	159.1	63.46	31.37	10.07	2.18	2.52	0.01	54.5	27.93	29.17	110.77	685.19
2004	229.27	179.3	205.13	28.62	7.89	12.08	6.01	9.21	14.28	85.71	44.05	86.49	908.04
2005	279.65	128.11	124.04	20.83	37.65	4.5	26.91	35.26	20.06	68.46	74.04	93.39	912.9
2006	120.34	202.03	109.66	34.8	15.44	6.14	33.23	3.37	32.97	39.56	146.62	80.4	824.56
2007	84.77	162.36	141.57	30.39	8.44	5.63	0.5	30.56	47.56	43.04	20.43	126.63	701.88
2008	173.28	112.18	46.51	41.07	17.64	5.09	27.91	14.88	62.18	34.88	57.03	130.93	723.58

2009	42.43	118.95	84.68	25.07	13.58	0	10.1	3.24	16.94	55.67	69.49	162.29	602.44
2010	225.43	105.34	169.58	58.01	5.5	3.85	0	11.8	16.45	70.01	91.55	174.82	932.34
2011	155.87	100.83	131.3	40.98	6.84	0	8.54	1.8	5.47	58.71	77.42	154.08	741.84
2012	243.62	168.37	132.38	15.4	16.74	4.53	1.93	6.61	10.59	69.34	47.87	110.13	827.51
2013	104.15	109.01	72.84	32.85	10.32	0	14.82	3.5	8.36	44.04	100.88	90.05	590.82
2014	183.43	132.36	82.08	11.78	13.22	0.49	0.13	17.65	21.16	93.38	15.9	142.64	714.22
2015	116.19	224.28	148.44	140.7	2.32	1.95	34.6	4.56	32.81	50.68	187.39	78.58	1022.5
2016	98.17	122.49	93.16	55.24	1.88	3.79	1.19	3.37	14.62	19.59	101.13	293.84	808.47
2017	109.76	113.62	83.94	9.81	11.01	8.52	8.57	8.31	14.97	107.22	54.15	116.06	645.94
2018	179.49	129.43	71.9	34.95	19.96	0	1.33	2.79	31.16	76.17	23	117.39	687.57
2019	101.24	102.76	69.64	114.82	11.27	2.45	6.95	11.8	13.38	34.86	44.58	123.48	637.23
2020	68.21	134.65	49.94	55.87	5.72	5.38	13.87	24.52	36.46	100.49	23.13	92.43	610.67
2021	129.29	121.4	135.36	36.45	22.27	1.86	5.68	3.79	16.58	48.93	37.97	83.83	643.41
2022	84.12	108.25	120.29	21.39	2.26	16.37	23.83	27.46	1.55	72.94	44.41	85.02	607.89
2023	132.16	102.8	85.31	9.92	13.78	2.76	9.76	0.04	51.87	46.99	147.68	141.08	744.15
2024	72.23	135.36	85.43	2.29	5.43	2.31	0.6	0.28	3.39	41.06	25.39	321.42	695.19
2025	131.93	97.43	74.62	98.87	0.65	2.31	0	0.49	6.93	50.85	70.13	73	607.21
Total	5556.25	4697.49	3870.17	1479.61	357.12	192.21	279.55	367.7	820.06	2070.89	2591.91	4604.74	26887.7
N° Datos	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Media	135.52	114.57	94.39	36.09	8.71	4.69	6.82	8.97	20.00	50.51	63.22	112.31	655.80
Desv. Estándar	56.67	43.29	40.75	27.65	7.10	5.39	9.44	9.83	14.92	24.79	38.04	61.58	158.55
Coef. Variación	41.82	37.78	43.17	76.62	81.52	114.91	138.49	109.60	74.60	49.08	60.17	54.83	24.18
Precipitación Max.	279.65	224.28	205.13	140.70	37.65	23.76	34.60	35.26	62.18	107.22	187.39	321.42	1022.50
Precipitación Min.	12.96	2.71	5.35	2.29	0.65	0.00	0.00	0.00	1.02	0.02	3.45	6.87	136.28

4.4.2.2. Temperatura

Las temperaturas se realizó el tratamiento de datos obtenidas satelitalmente durante el periodo 1985-2025, obteniéndose temperaturas máximas, mínimas y medias por mes.

Tabla 29 *Temperaturas mínimas 1985-2025*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1985	2.304	2.107	2.188	2.287	2.153	0.531	0.582	1.016	1.192	2.207	2.757	3.095	1.868
1986	1.679	1.876	2.176	2.153	1.622	0.812	0.651	1.241	1.645	1.881	2.580	3.388	1.808
1987	3.809	3.289	4.255	3.439	2.860	1.874	2.203	2.111	2.882	2.562	2.709	2.047	2.834
1988	1.755	1.700	1.991	2.458	2.009	1.149	0.012	0.515	1.380	1.967	2.098	2.463	1.623
1989	1.917	1.868	2.157	1.984	1.562	-0.946	0.157	1.638	2.005	2.124	1.726	2.212	1.535
1990	2.126	1.846	1.634	2.146	0.962	0.957	-0.979	1.147	1.630	1.982	2.573	2.510	1.539
1991	2.734	2.576	2.425	2.958	1.608	0.789	1.513	2.120	2.373	3.493	3.476	3.062	2.426
1992	2.643	3.334	2.835	2.991	2.239	1.219	0.107	2.117	2.672	3.032	2.889	2.515	2.377
1993	2.168	2.269	1.687	2.692	1.788	0.642	-0.347	0.889	2.378	2.557	2.420	2.803	1.823
1994	2.685	2.691	2.109	2.478	2.392	1.135	0.435	0.738	1.670	2.880	2.939	2.890	2.082
1995	3.198	2.754	2.536	2.878	2.551	1.441	0.147	0.735	1.656	2.421	2.749	2.540	2.128

1996	2.533	2.416	2.632	2.891	3.130	1.424	-0.323	0.526	1.820	2.456	2.299	3.135	2.076
1997	2.646	2.033	2.297	2.635	2.823	0.781	0.947	0.718	2.464	2.700	2.493	3.059	2.134
1998	2.683	2.497	1.735	2.134	1.901	0.187	-0.050	0.867	1.680	2.071	2.816	3.259	1.811
1999	3.035	2.854	2.624	2.903	2.069	1.520	1.968	2.843	2.425	3.299	2.691	2.885	2.593
2000	2.595	2.861	2.669	3.121	2.789	0.568	0.007	1.725	1.973	2.478	2.312	2.807	2.157
2001	2.351	2.527	2.041	2.007	1.257	0.465	1.233	1.055	2.912	3.750	2.608	3.568	2.146
2002	3.396	4.064	3.649	4.047	2.898	1.627	1.538	2.425	2.904	3.321	3.173	2.974	2.993
2003	2.200	2.304	2.614	2.413	1.837	0.791	-0.259	0.395	2.029	2.366	2.658	2.915	1.850
2004	1.995	1.759	2.018	2.091	2.471	1.066	-0.288	1.450	2.384	2.368	2.344	2.313	1.830
2005	2.382	2.361	2.374	2.306	1.610	0.557	0.888	-0.126	2.163	2.861	2.504	2.948	1.899
2006	3.222	3.270	2.266	2.477	2.342	1.106	0.050	1.153	1.888	2.122	3.380	2.763	2.160
2007	3.469	3.151	2.660	2.714	1.786	1.684	-0.135	1.198	1.417	2.786	2.776	3.280	2.226
2008	3.344	2.881	2.996	2.794	2.297	0.086	0.744	0.373	2.021	2.495	3.298	2.640	2.161
2009	3.115	3.367	3.171	3.286	2.452	1.519	0.270	1.181	2.146	2.883	2.639	2.552	2.373
2010	2.133	2.840	2.931	2.437	0.623	1.375	-0.087	1.803	1.980	2.642	2.849	2.970	2.033
2011	3.382	2.220	2.146	3.022	2.394	1.201	0.272	0.720	2.174	2.587	3.510	2.733	2.194
2012	2.610	1.988	2.088	1.832	0.998	0.032	0.616	2.507	2.180	2.752	2.692	2.809	1.928
2013	2.544	2.390	2.823	2.674	2.136	1.105	0.717	1.622	2.646	3.090	2.909	3.127	2.314
2014	2.798	3.675	2.728	3.276	2.482	2.200	0.518	1.321	2.528	2.513	2.551	2.596	2.420
2015	1.899	2.047	2.136	2.709	1.365	0.063	-0.074	1.161	1.829	2.637	3.244	2.714	1.807
2016	2.212	2.116	2.227	2.000	2.154	0.485	0.043	0.661	2.380	2.856	3.204	2.344	1.887
2017	2.848	2.407	2.810	2.398	2.484	1.170	0.630	0.940	2.104	2.696	2.641	3.050	2.181
2018	2.328	2.464	2.237	2.852	1.230	1.546	1.187	0.677	2.392	2.580	3.438	2.993	2.153
2019	2.139	2.872	2.269	2.807	2.059	1.731	0.495	1.790	2.890	2.928	3.152	2.835	2.323
2020	3.273	3.437	3.684	3.436	2.145	1.300	0.755	1.538	2.163	2.195	2.115	2.675	2.389
2021	2.889	2.701	2.891	2.967	2.768	1.484	1.107	1.908	3.164	2.773	2.868	3.694	2.600
2022	2.626	2.620	2.659	3.211	2.274	0.429	0.417	1.469	2.306	2.856	3.304	2.884	2.251
2023	2.960	3.125	3.179	3.199	2.698	1.932	1.583	1.277	3.185	2.662	3.047	2.946	2.643
2024	3.372	3.421	3.348	3.120	1.340	1.944	1.888	1.978	3.202	2.279	3.185	1.925	2.576
2025	2.317	2.078	2.147	2.617	1.898	1.576	0.492	1.339	3.124	2.983	3.369	3.107	2.251
Total	2.642	2.611	2.538	2.703	2.060	1.038	0.528	1.287	2.243	2.636	2.804	2.830	2.156
N° Datos	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Media	2.64	2.61	2.54	2.70	2.06	1.04	0.53	1.29	2.24	2.64	2.80	2.83	2.16
Desv. Estándar	0.52	0.57	0.56	0.48	0.59	0.64	0.70	0.65	0.52	0.41	0.41	0.37	0.33
Coef. Variación	19.79	21.94	22.02	17.73	28.45	61.64	133.19	50.17	23.19	15.73	14.76	13.15	15.31
T Max.	3.81	4.06	4.26	4.05	3.13	2.20	2.20	2.84	3.20	3.75	3.51	3.69	2.99
T Min.	1.68	1.70	1.63	1.83	0.62	-0.95	-0.98	-0.13	1.19	1.88	1.73	1.93	1.53

Tabla 30 *Temperaturas máximas 1985-2025*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1985	14.295	13.396	14.216	13.514	14.656	14.552	14.893	14.390	13.459	15.322	16.314	15.871	14.584
1986	14.415	13.860	14.037	13.385	14.163	12.734	14.185	13.918	15.196	15.663	17.151	17.798	14.717
1987	18.719	19.410	19.095	17.641	17.442	14.508	15.910	16.211	15.654	18.204	16.735	15.410	17.069
1988	13.613	12.099	13.116	13.437	13.878	12.821	13.774	13.870	15.530	14.330	15.123	14.444	13.841
1989	12.939	12.948	13.457	13.261	13.519	12.858	13.460	14.498	14.811	16.795	15.145	15.063	14.073

1990	15.208	13.335	12.979	13.272	13.588	14.209	13.390	14.455	14.248	16.153	16.665	16.040	14.470
1991	14.769	14.960	16.409	15.729	15.517	14.197	15.386	17.277	16.226	17.524	16.938	16.425	15.956
1992	15.083	16.323	14.861	13.496	13.865	14.617	15.242	17.154	16.667	16.609	16.294	14.928	15.425
1993	13.519	14.696	13.548	13.528	13.882	13.684	13.761	14.504	16.408	15.727	17.047	16.890	14.762
1994	13.932	14.481	15.154	14.479	14.857	12.822	13.758	14.635	15.348	15.616	16.545	15.927	14.799
1995	16.309	15.134	14.828	14.840	15.586	15.199	14.604	15.885	15.280	16.217	14.967	16.887	15.485
1996	15.390	16.590	15.859	16.080	16.987	13.914	13.949	13.814	15.779	15.199	16.575	16.302	15.530
1997	14.271	14.531	14.845	14.563	15.495	14.995	14.028	14.890	16.152	15.340	15.615	14.992	14.976
1998	13.964	13.269	12.825	12.443	13.214	12.407	13.983	14.938	15.048	15.575	15.873	15.398	14.086
1999	14.891	15.207	14.784	15.040	15.756	14.995	15.802	18.172	16.060	16.669	15.821	15.265	15.712
2000	14.820	14.084	15.396	15.049	15.027	14.548	15.231	14.814	15.965	15.707	15.941	14.177	15.065
2001	13.729	13.607	13.004	13.162	12.812	14.319	15.006	12.920	16.259	16.772	16.029	16.180	14.485
2002	14.345	14.957	15.204	14.858	15.863	14.622	15.658	15.940	17.829	16.808	16.364	14.727	15.600
2003	14.345	13.122	12.827	12.815	12.945	13.591	13.349	15.320	15.183	14.685	16.480	15.902	14.219
2004	12.875	12.724	12.439	12.605	12.654	11.929	11.997	13.810	15.588	13.977	17.270	15.245	13.589
2005	13.158	13.091	12.606	12.826	12.360	12.327	12.447	13.090	14.388	15.149	15.608	15.223	13.523
2006	15.454	13.726	13.753	13.380	12.815	13.428	11.571	13.409	14.131	15.774	15.578	14.944	13.998
2007	14.618	14.370	13.715	13.241	12.993	14.279	13.574	14.385	14.861	16.885	16.885	14.874	14.555
2008	14.438	13.881	14.543	13.954	14.139	12.891	12.918	13.867	15.141	15.487	15.701	15.138	14.343
2009	15.868	15.895	14.844	15.162	15.885	14.973	14.889	16.092	15.719	15.576	15.546	15.087	15.459
2010	13.475	14.005	13.355	12.678	13.046	12.983	13.812	13.986	15.891	15.774	14.768	15.125	14.075
2011	13.791	13.983	13.057	13.422	13.223	14.140	13.000	15.762	14.860	16.541	16.415	14.832	14.419
2012	13.237	13.106	13.225	12.873	12.558	12.919	13.875	15.940	15.457	16.012	16.727	15.976	14.330
2013	14.717	14.009	14.501	14.689	14.204	14.461	13.834	15.436	16.673	17.815	16.119	14.620	15.094
2014	14.269	14.533	14.850	14.354	14.636	14.922	15.265	16.742	16.821	15.156	16.128	14.375	15.172
2015	14.191	13.044	12.823	12.445	12.247	11.968	11.640	14.161	15.264	15.738	16.724	13.547	13.649
2016	13.936	13.106	13.496	12.112	13.399	13.323	14.339	15.551	16.001	16.670	16.181	13.452	14.302
2017	12.887	13.215	13.584	13.878	13.546	12.670	13.313	14.335	15.940	15.799	16.220	14.875	14.191
2018	14.279	13.323	13.759	13.232	13.301	14.528	13.785	14.704	14.065	16.036	17.523	15.872	14.541
2019	13.855	13.927	14.149	13.438	12.931	14.092	14.267	15.260	15.963	16.939	17.690	15.834	14.865
2020	16.566	15.267	15.835	15.540	14.911	14.465	15.387	15.184	16.204	14.515	16.213	14.862	15.411
2021	14.633	14.467	14.218	13.724	13.338	14.140	15.105	15.419	16.165	17.069	15.944	15.837	15.009
2022	14.830	15.034	14.145	14.084	15.197	13.268	13.994	13.648	15.818	15.783	16.704	16.249	14.894
2023	15.230	13.877	14.315	14.379	15.024	15.247	14.744	16.401	16.637	15.815	14.245	14.889	15.076
2024	14.375	14.209	14.312	15.015	14.944	15.172	15.976	16.626	16.565	16.846	18.561	14.092	15.557
2025	12.863	13.674	12.882	13.258	12.770	13.396	14.307	15.558	16.207	17.570	16.522	16.084	14.596
Total, gener al	14.441	14.206	14.167	13.924	14.126	13.832	14.132	15.048	15.645	16.045	16.266	15.358	14.768
N° Datos	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Media	14.44	14.21	14.17	13.92	14.13	13.83	14.13	15.05	15.65	16.04	16.27	15.36	14.77
Desv. Están dar	1.12	1.28	1.25	1.14	1.28	0.95	1.10	1.20	0.86	0.94	0.82	0.89	0.72
Coef. Varia ción	7.74	9.00	8.85	8.20	9.06	6.88	7.79	7.95	5.51	5.83	5.04	5.80	4.87
T Max.	18.72	19.41	19.09	17.64	17.44	15.25	15.98	18.17	17.83	18.20	18.56	17.80	17.07

T	12.86	12.10	12.44	12.11	12.25	11.93	11.57	12.92	13.46	13.98	14.24	13.45	13.52
Min.													

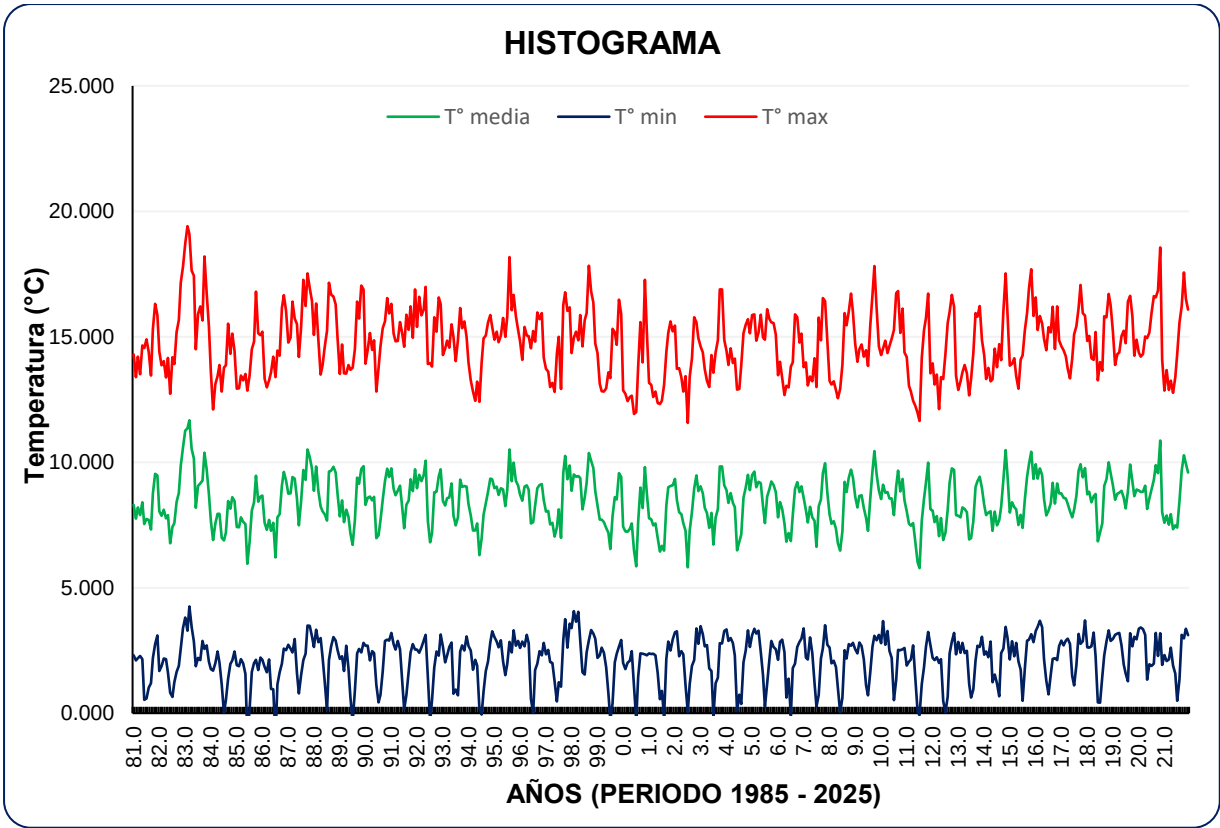
Tabla 31 *Temperaturas medias 1985-2025*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1985	8.299	7.751	8.202	7.901	8.405	7.542	7.738	7.703	7.326	8.765	9.536	9.483	8.226
1986	8.047	7.868	8.107	7.769	7.893	6.773	7.418	7.580	8.421	8.772	9.865	10.593	8.263
1987	11.264	11.349	11.675	10.540	10.151	8.191	9.056	9.161	9.268	10.383	9.722	8.729	9.952
1988	7.684	6.899	7.554	7.948	7.943	6.985	6.893	7.192	8.455	8.149	8.611	8.454	7.732
1989	7.428	7.408	7.807	7.623	7.540	5.956	6.809	8.068	8.408	9.460	8.436	8.638	7.804
1990	8.667	7.590	7.306	7.709	7.275	7.583	6.205	7.801	7.939	9.068	9.619	9.275	8.004
1991	8.751	8.768	9.417	9.344	8.562	7.493	8.450	9.699	9.299	10.508	10.207	9.743	9.191
1992	8.863	9.828	8.848	8.244	8.052	7.918	7.675	9.635	9.670	9.820	9.591	8.721	8.901
1993	7.844	8.483	7.618	8.110	7.835	7.163	6.707	7.696	9.393	9.142	9.734	9.846	8.293
1994	8.308	8.586	8.631	8.479	8.625	6.979	7.097	7.686	8.509	9.248	9.742	9.409	8.440
1995	9.753	8.944	8.682	8.859	9.069	8.320	7.375	8.310	8.468	9.319	8.858	9.713	8.807
1996	8.961	9.503	9.245	9.486	10.058	7.669	6.813	7.170	8.800	8.828	9.437	9.719	8.803
1997	8.458	8.282	8.571	8.599	9.159	7.888	7.488	7.804	9.308	9.020	9.054	9.025	8.555
1998	8.324	7.883	7.280	7.289	7.558	6.297	6.967	7.902	8.364	8.823	9.345	9.329	7.948
1999	8.963	9.030	8.704	8.972	8.912	8.257	8.885	10.508	9.243	9.984	9.256	9.075	9.152
2000	8.708	8.473	9.033	9.085	8.908	7.558	7.619	8.269	8.969	9.093	9.127	8.492	8.611
2001	8.040	8.067	7.523	7.584	7.035	7.392	8.119	6.988	9.585	10.261	9.319	9.874	8.316
2002	8.870	9.510	9.427	9.453	9.381	8.125	8.598	9.182	10.367	10.065	9.769	8.851	9.297
2003	8.272	7.713	7.720	7.614	7.391	7.191	6.545	7.857	8.606	8.525	9.569	9.409	8.035
2004	7.435	7.242	7.229	7.348	7.562	6.498	5.854	7.630	8.986	8.172	9.807	8.779	7.710
2005	7.770	7.726	7.490	7.566	6.985	6.442	6.668	6.482	8.275	9.005	9.056	9.085	7.711
2006	9.338	8.498	8.010	7.929	7.578	7.267	5.810	7.281	8.010	8.948	9.479	8.854	8.079
2007	9.043	8.761	8.187	7.978	7.390	7.982	6.719	7.791	8.139	9.835	9.831	9.077	8.390
2008	8.891	8.381	8.770	8.374	8.218	6.489	6.831	7.120	8.581	8.991	9.500	8.889	8.252
2009	9.491	9.631	9.008	9.224	9.168	8.246	7.580	8.636	8.933	9.230	9.092	8.820	8.916
2010	7.804	8.422	8.143	7.557	6.834	7.179	6.862	7.895	8.936	9.208	8.809	9.048	8.054
2011	8.586	8.101	7.602	8.222	7.808	7.671	6.636	8.241	8.517	9.564	9.963	8.783	8.306
2012	7.924	7.547	7.656	7.353	6.778	6.476	7.246	9.224	8.819	9.382	9.709	9.393	8.129
2013	8.630	8.199	8.662	8.682	8.170	7.783	7.276	8.529	9.660	10.453	9.514	8.874	8.704
2014	8.534	9.104	8.789	8.815	8.559	8.561	7.892	9.031	9.675	8.835	9.339	8.486	8.796
2015	8.045	7.545	7.479	7.577	6.806	6.016	5.783	7.661	8.547	9.187	9.984	8.130	7.728
2016	8.074	7.611	7.862	7.056	7.776	6.904	7.191	8.106	9.191	9.763	9.692	7.898	8.095
2017	7.867	7.811	8.197	8.138	8.015	6.920	6.971	7.638	9.022	9.248	9.431	8.962	8.186
2018	8.303	7.893	7.998	8.042	7.265	8.037	7.486	7.691	8.229	9.308	10.480	9.433	8.347
2019	7.997	8.399	8.209	8.122	7.495	7.911	7.381	8.525	9.426	9.934	10.421	9.335	8.594
2020	9.919	9.352	9.759	9.488	8.528	7.882	8.071	8.361	9.183	8.355	9.164	8.769	8.900
2021	8.761	8.584	8.555	8.346	8.053	7.812	8.106	8.664	9.665	9.921	9.406	9.765	8.805
2022	8.728	8.827	8.402	8.648	8.735	6.848	7.205	7.558	9.062	9.320	10.004	9.566	8.573
2023	9.095	8.501	8.747	8.789	8.861	8.589	8.163	8.839	9.911	9.239	8.646	8.918	8.860
2024	8.873	8.815	8.830	9.067	8.142	8.558	8.932	9.302	9.884	9.563	10.873	8.009	9.066

2025	7.590	7.876	7.515	7.938	7.334	7.486	7.399	8.449	9.666	10.277	9.945	9.595	8.423
Total	8.542	8.408	8.352	8.314	8.093	7.435	7.330	8.167	8.944	9.341	9.535	9.094	8.462
N° Datos	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Media	8.54	8.41	8.35	8.31	8.09	7.43	7.33	8.17	8.94	9.34	9.54	9.09	8.46
Desv. Estándar	0.74	0.83	0.84	0.76	0.84	0.71	0.81	0.83	0.64	0.60	0.51	0.55	0.49
Coef. Variación	8.68	9.92	10.11	9.09	10.42	9.54	11.02	10.18	7.11	6.43	5.31	6.03	5.84
T Max.	11.26	11.35	11.67	10.54	10.15	8.59	9.06	10.51	10.37	10.51	10.87	10.59	9.95
T Min.	7.43	6.90	7.23	7.06	6.78	5.96	5.78	6.48	7.33	8.15	8.44	7.90	7.71

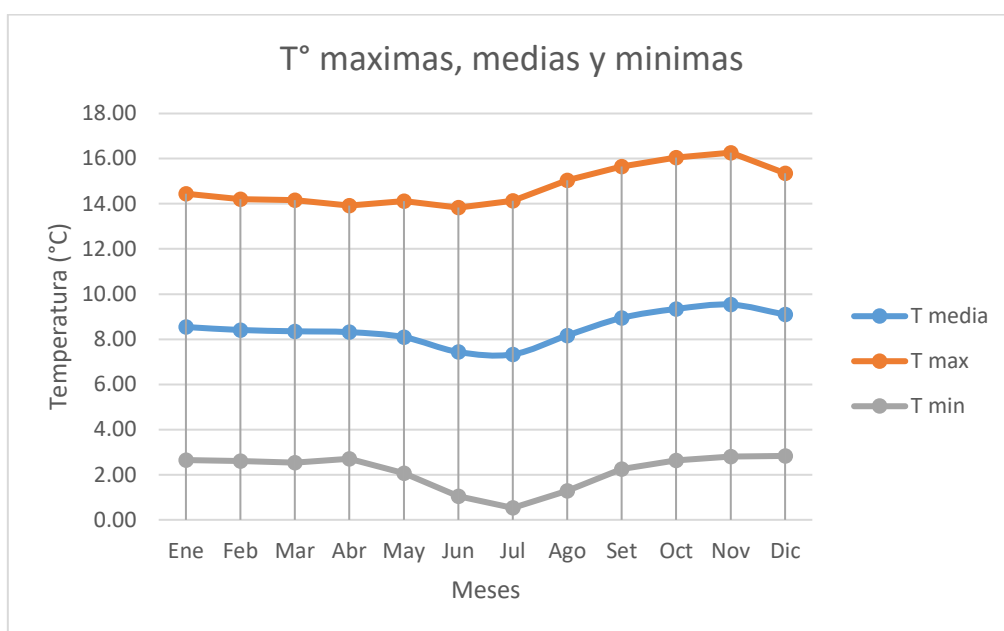
De los datos obtenidos para el área de estudio, se obtiene un análisis de las variaciones de temperaturas máximas, mínimas y medias del cual según el histograma las temperaturas máximas se encuentran en un rango de 15°C a 17°C, con temperaturas mínimas de >5°C y temperaturas medias de 6°C a 12°C.

Figura 45 *Histogramas de temperaturas periodo 1985-2025*



Asimismo, también se tiene el comportamiento mensual de temperaturas donde los meses de junio a agosto presentan los registros más bajos como se observa en el siguiente gráfico.

Figura 46 Variación mensual de temperaturas



4.4.2.3. Humedad Relativa

Para la zona en mención al igual que los parámetros de precipitación y temperatura se tiene el análisis de la variación temporal para el periodo de 1985 – 2025 de la humedad relativa que es la relación entre la presión parcial del vapor del agua y la presión de vapor de equilibrio de agua, como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 32 Humedad relativa Uyancani 1985-2025

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1985	77.863	80.692	79.715	77.318	71.536	66.427	67.045	68.006	69.985	67.803	68.794	71.947	72.209
1986	77.817	80.978	81.574	80.478	72.545	73.763	66.365	69.024	66.085	67.464	66.196	63.172	72.054
1987	62.361	62.187	64.095	64.530	62.746	67.881	64.887	64.330	64.605	58.376	62.379	68.693	63.927
1988	77.391	82.719	81.899	80.989	73.313	74.229	64.554	66.174	63.079	70.739	69.583	71.907	73.007
1989	80.045	81.096	80.701	80.625	75.101	69.538	68.616	66.833	66.420	60.771	67.216	69.737	72.166
1990	73.530	79.792	82.035	79.397	69.816	69.583	67.129	66.551	68.325	63.411	63.611	69.282	70.975
1991	76.846	76.451	70.852	71.536	66.819	67.908	65.919	59.346	63.981	61.541	66.619	68.960	68.002
1992	76.459	73.292	78.583	81.607	74.207	67.200	64.174	63.117	63.913	62.443	64.817	70.224	69.992
1993	79.573	76.926	80.337	78.876	72.417	69.451	65.612	64.167	62.858	66.736	59.093	65.289	70.083
1994	78.075	75.460	74.347	75.817	71.736	74.219	68.654	64.962	65.129	68.929	68.544	68.799	71.191
1995	70.223	76.214	78.430	75.015	68.923	61.863	61.893	59.920	64.175	64.343	66.908	63.383	67.544
1996	71.667	69.600	72.372	69.297	66.569	70.939	64.537	65.553	63.925	64.723	63.105	64.784	67.248
1997	73.980	76.132	77.274	76.004	70.334	64.618	68.725	63.936	64.538	67.416	70.184	78.500	70.951
1998	81.071	83.187	84.059	84.116	79.589	72.275	66.821	63.904	67.517	65.958	68.018	70.265	73.832
1999	76.662	75.696	79.137	74.364	66.764	66.049	66.893	60.515	64.540	63.613	66.743	69.291	69.149
2000	75.443	80.215	76.283	74.305	70.115	65.927	63.027	66.306	62.091	66.990	63.399	75.129	69.918

2001	79.432	81.550	80.529	79.312	76.034	64.367	67.855	72.556	68.046	66.851	69.904	74.869	73.409
2002	82.536	82.701	82.821	82.738	72.547	71.114	66.660	66.202	60.690	65.795	63.925	76.014	72.766
2003	78.805	83.884	84.829	81.655	78.643	70.434	69.034	62.568	66.850	68.396	63.880	69.889	73.179
2004	81.609	84.201	85.629	83.143	82.536	80.956	72.903	72.434	67.635	71.819	60.070	69.762	76.048
2005	81.375	83.628	84.866	81.152	79.798	74.713	76.609	69.359	71.686	70.439	71.815	73.083	76.504
2006	72.920	83.063	83.409	81.616	80.285	75.013	74.079	69.613	70.804	68.462	72.950	77.422	75.751
2007	77.835	81.436	82.786	81.917	78.761	73.008	68.708	68.804	67.666	63.460	64.712	75.537	73.676
2008	79.785	81.653	79.570	78.163	75.665	69.442	73.788	67.595	69.103	68.823	69.397	74.948	73.979
2009	73.181	75.021	79.362	75.355	68.461	66.394	65.288	61.691	65.504	68.258	66.878	73.052	69.843
2010	81.667	82.900	84.597	83.796	77.039	77.589	67.722	69.245	64.561	67.257	72.935	76.986	75.473
2011	82.853	80.566	84.284	81.399	80.199	71.765	70.782	63.902	67.001	64.688	65.778	73.103	73.831
2012	82.723	82.793	82.178	81.474	78.562	73.970	70.276	66.996	65.332	67.671	66.234	68.462	73.864
2013	77.089	80.283	80.008	76.627	72.932	67.546	68.736	64.748	62.233	61.841	70.221	76.819	71.545
2014	80.435	82.047	81.405	78.757	74.491	70.952	62.717	61.689	63.442	67.998	66.814	76.093	72.181
2015	78.242	83.100	84.894	84.609	80.627	79.070	77.547	70.700	68.325	68.681	69.962	80.080	77.122
2016	77.932	81.886	82.367	84.309	77.361	72.866	66.153	63.014	65.699	64.588	67.376	81.738	73.743
2017	81.577	83.037	83.322	79.143	77.932	75.451	71.172	63.905	63.315	68.671	69.556	73.663	74.182
2018	78.654	82.621	80.903	81.181	77.111	71.894	70.280	64.704	70.979	67.196	63.327	71.728	73.322
2019	78.097	80.399	80.597	80.821	79.580	73.312	65.458	65.725	66.729	64.856	65.279	70.654	72.574
2020	71.597	80.300	77.921	76.032	71.486	70.468	65.031	65.290	65.913	71.899	62.960	73.549	71.010
2021	78.296	80.191	82.607	81.805	79.681	72.939	67.554	65.411	67.223	61.458	67.308	69.347	72.763
2022	74.195	77.375	82.143	77.391	70.462	72.321	68.282	71.152	64.473	69.827	67.532	67.113	71.826
2023	78.013	81.835	81.917	77.952	73.308	69.088	69.327	61.908	66.554	66.304	76.756	79.145	73.451
2024	78.830	82.550	81.636	75.965	66.192	70.123	64.062	63.263	64.013	62.455	58.958	78.518	70.517
2025	84.334	81.060	83.849	81.620	79.889	76.306	67.974	66.095	66.238	64.835	66.952	70.401	74.087
Total	77.586	79.775	80.491	78.834	74.198	71.048	67.874	65.639	65.882	66.190	66.748	72.228	72.168
N° Datos	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Media	77.579	79.751	80.510	78.872	74.264	71.164	67.895	65.580	65.780	66.149	66.697	72.235	72.167
Desv. Estándar	4.171	4.359	4.242	4.225	4.951	4.059	3.547	3.255	2.465	3.149	3.746	4.571	2.686
Coef. Variación	5.376	5.466	5.269	5.356	6.667	5.703	5.224	4.964	3.747	4.761	5.616	6.329	3.722
Hum relat. Max.	84.334	84.201	85.629	84.609	82.536	80.956	77.547	72.556	71.686	71.899	76.756	81.738	77.122
Hum relat. Min.	62.361	62.187	64.095	64.530	62.746	61.863	61.893	59.346	60.690	58.376	58.958	63.172	63.927

4.4.2.4. Evapotranspiración potencial (ETP)

Se realizó el análisis mediante 3 métodos Thornthwaite, Hargreaves y Serruto, obteniéndose de la siguiente manera:

Método Thornthwaite

Evapotranspiración Potencial mensual (mm/mes)

$$ETP = 16 * \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Evapotranspiración Potencial mensual corregida (mm/mes)

$$ETPc = 16 * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} * \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Constante, depende del índice de calor de cada lugar (a)

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial mensual (mm), por mes de 30 días y 12 horas de duración.

ETPc: Evapotranspiración potencial mensual corregida (mm).

t: Temperatura media mensual (°C)

I: Índice térmico anual

i: Índice térmico mensual

a: Exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

N: número máximo de horas sol (insolación) para el mes considerado, según la latitud.

d: número de días del mes

f: Factor de corrección en función del número de días x mes

Tabla 33 *Evapotranspiración Método Thornthwaite - estación Queuña 2025*

Estación	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, anual
Estación Queuña	(mm/mes)	52.15	45.40	48.43	45.19	44.13	38.84	39.96	45.29	49.19	54.98	55.53	55.70	574.80
Estación Queuña	(mm/día)	1.68	1.62	1.56	1.51	1.42	1.29	1.29	1.46	1.64	1.77	1.85	1.80	18.90

Método Hargreaves

Evapotranspiración Potencial mensual (mm/mes)

$$ETP = 0.0075 * RSM * T(^{\circ}F) * FA$$

Radiación Extraterrestre equivalente evapotranspiración mensual (mm/mes)

$$RMM = Re * mes$$

Radiación equivalente mensual (RSM)

$$RSM = 0.075 * RMM * \sqrt{S}$$

Factor de corrección por altura (FA)

$$FA = 1.0 + 0.04 * \left(\frac{ALT}{2000}\right)$$

Factor de corrección altitudinal (FA)

$$FA = 1.0 + 0.04 (ALT/2000)$$

Temperatura en Fahrenheit (°F)

$$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5} (^{\circ}C) + 32$$

Porcentaje de Horas de Sol mensual (S)

$$S = 100 * \left(\frac{SH}{DL * mes} \right)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial mensual (mm), por mes de 30 días

t: Temperatura media mensual (°C)

A: Altura del punto de interés (msnm)

SH: Horas de sol promedio máxima (Est. Meteorológica)

Re: Radiación extraterrestre (Ra) expresada (mm/día)

t: Temperatura media mensual (°F) Fahrenheit

FA: Factor de corrección de altura

DL: Horas de sol promedio máxima de insolación

Tabla 34 *Evapotranspiración Hargreaves Estación Queuña*

ESTACION	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL, ANUAL
ESTACION QUEUÑA	(mm/mes)	85.4	78.4	83.8	85.7	87.5	77.8	83.6	93.2	97.0	101.3	99.7	89.6	1062.94
ESTACION QUEUÑA	(mm/día)	2.75	2.80	2.70	2.86	2.82	2.59	2.70	3.01	3.23	3.27	3.32	2.89	34.95

Método Serruto

Evapotranspiración Potencial mensual (mm/día)

$$ETP = 0.003 * (RS)^{2.5} + 0.16 * T^{0.88}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial mensual (mm/día)
T (°C): Temperatura media mensual (°C)
RS: Radiación solar extraterrestre, expresada en equivalentes de evaporación (mm/día)

Tabla 35 *Evapotranspiración Serruto Estación Queuña*

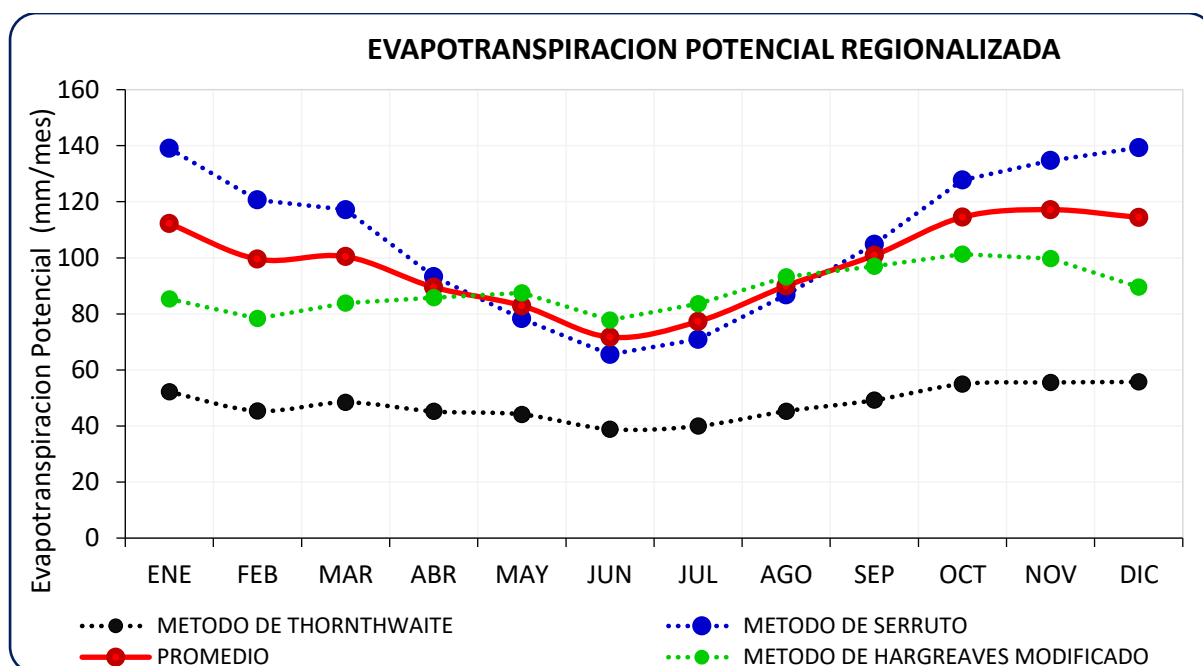
ESTACION	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL, ANUAL
ESTACION QUEUÑA	(mm/mes)	139.0	120.7	117.1	93.3	78.3	65.5	70.9	86.8	104.9	127.7	134.7	139.3	1278.22
ESTACION QUEUÑA	(mm/día)	4.48	4.31	3.78	3.11	2.52	2.18	2.29	2.80	3.50	4.12	4.49	4.49	42.08

Resumen de la evapotranspiración potencial

Tabla 36 *Resumen de la evapotranspiración en el sector de Ullancani, 2025*

ESTACION	METODO	EVAPOTRANSPIRACION PROMEDIO (mm/mes)												TOTAL, ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
ESTACION QUEUÑA	METODO DE THORNTHWAITE	52.15	45.40	48.43	45.19	44.13	38.84	39.96	45.29	49.19	54.98	55.53	55.70	574.80
ESTACION QUEUÑA	METODO DE HARGREAVES MODIFICADO	85.36	78.38	83.80	85.74	87.53	77.83	83.60	93.20	96.97	101.31	99.67	89.55	1062.94
ESTACION QUEUÑA	METODO DE SERRUTO	139.01	120.67	117.15	93.28	78.27	65.55	70.94	86.80	104.85	127.72	134.70	139.29	1278.22
ESTACION	METODO	EVAPOTRANSPIRACION PROMEDIO (mm/mes)												TOTAL, ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
ESTACION QUEUÑA	PROMEDIO	112.19	99.52	100.47	89.51	82.90	71.69	77.27	90.00	100.91	114.51	117.19	114.42	1170.58

Figura 47 *Variación de la evapotranspiración (ETP) mediante los 3 métodos*



Del grafico obtenido se observa la comparación entre los métodos obtenidos de los cuales el método de Thornthwaite presenta valores alejados.

4.4.2.5. Generación de caudales mediante método de Lutz Scholtz

Para el análisis de caudales generados de la microcuenca se realizó en base al periodo 1985 – 2025 y de acuerdo al método determinístico estocastico de Lutz Scholtz (Plan Meris II), que es aplicado en la sierra peruana y poder determinar la disponibilidad hídrica en la zona de estudio a escala mensual y anual para un área de 14.26 km².

Tabla 37 Precipitación efectiva 1985-2025 y caudales aforados

MES	PRECIPITACIONES (1981 - 2021)					CAUDAL AFORADO
	P	PE1	PE2	PE3	PE	Q
	mm/mes					m ³ /s
Ene	135.52	23.3	50.4	76.6	74.72	0.0000
Feb	114.57	13.4	33.7	54.3	52.77	0.0000
Mar	94.39	7.3	21.2	35.2	34.16	0.0000
Abr	36.09	0.4	3.8	7.3	7.04	0.0300
May	8.71	0.0	1.0	2.1	2.02	0.0200
Jun	4.69	0.0	0.6	1.2	1.14	0.0130
Jul	6.82	0.0	0.8	1.7	1.62	0.0151
Ago	8.97	0.0	1.0	2.2	2.07	0.0147
Set	20.00	0.0	2.1	4.3	4.14	0.0050
Oct	50.51	1.2	6.0	10.9	10.54	0.0000

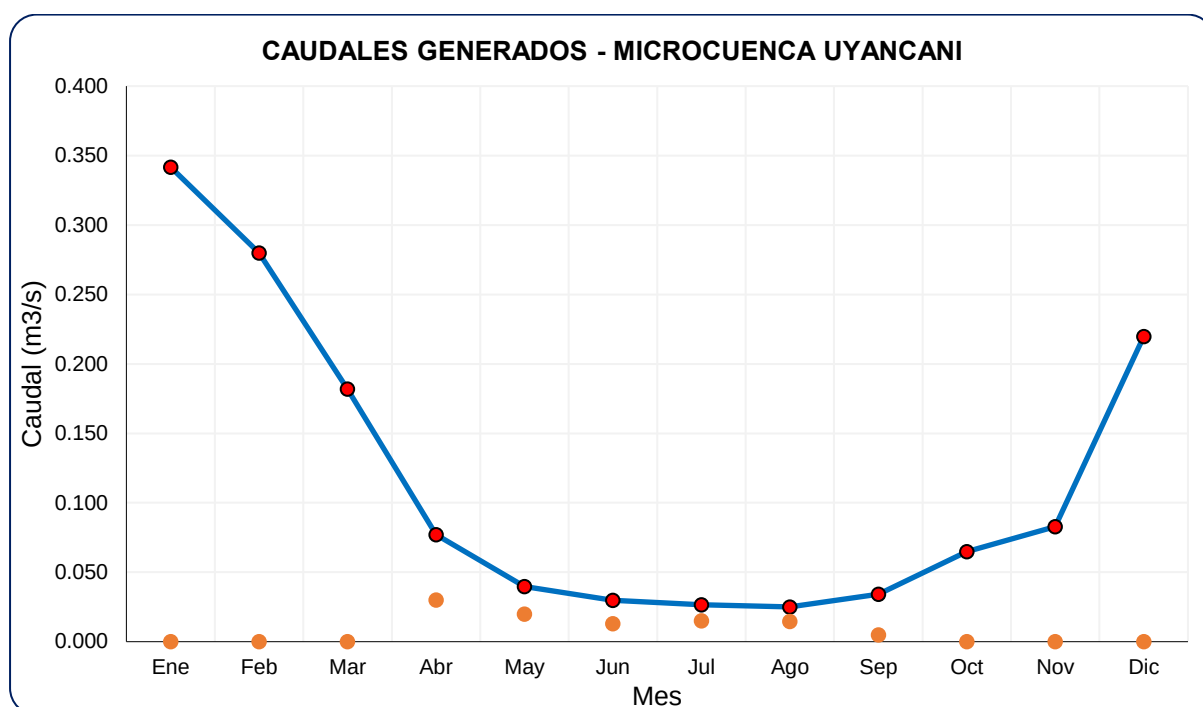
Nov	63.22	2.2	8.9	15.5	15.04	0.0000
Dic	112.31	12.6	32.1	51.9	50.49	0.0000
TOTAL	655.80	60.42	161.7	263.1	255.76	0.01

Posteriormente a partir de los cálculos de retención que en este caso presentan algunos acuíferos de la zona se obtiene la generación de caudales y la comparación frente a caudales aforados en algunos meses como se detalla en la tabla y la figura.

Tabla 38 *Caudales generados y aforados*

N°	Mes	N° Días	PE	Gastos Retención	Abastecim. De la Retención	Caudales Generados		Caudales Aforados
		días	mm/mes	G _i (mm/mes)	A _i (mm/mes)	mm/mes	m ³ /s	m ³ /s
1	Ene	31	74.72	0.00	10.55	64.17	0.342	0.0000
2	Feb	28	52.77	0.00	5.27	47.49	0.280	0.0000
3	Mar	31	34.16	0.00	0.00	34.16	0.182	0.0000
4	Abr	30	7.04	6.96	0.00	14.00	0.077	0.0300
5	May	31	2.02	5.46	0.00	7.48	0.040	0.0200
6	Jun	30	1.14	4.28	0.00	5.42	0.030	0.0130
7	Jul	31	1.62	3.36	0.00	4.97	0.026	0.0151
8	Ago	31	2.07	2.63	0.00	4.71	0.025	0.0147
9	Sep	30	4.14	2.06	0.00	6.21	0.034	0.0050
10	Oct	31	10.54	1.62	0.00	12.16	0.065	0.0000
11	Nov	30	15.04	0.00	0.00	15.04	0.083	0.0000
12	Dic	31	50.49	0.00	9.23	41.26	0.220	0.0000
	Año	365	255.76	26.37	25.05	257.08	0.117	0.01

Figura 48 Caudales generados y aforados en los meses de abril a septiembre

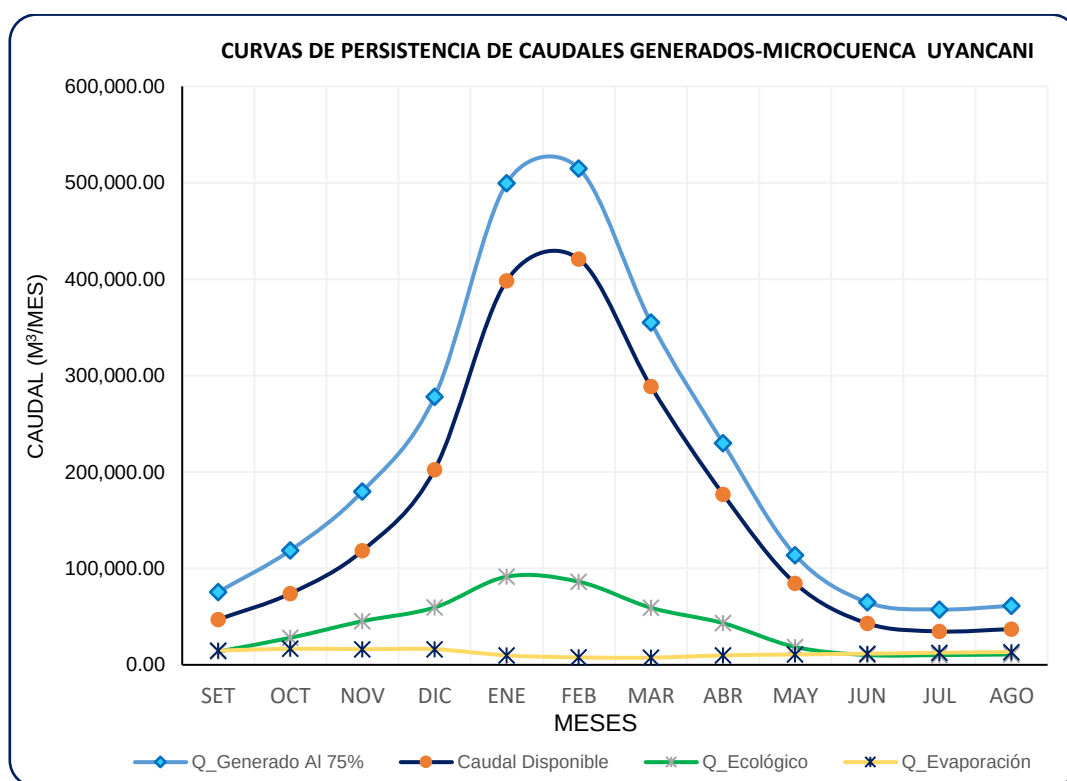


Finalmente se tiene la generación de caudales disponibles por mes como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 39 Caudales disponibles en el sector de Ullancani, 2025

DISPONIBILIDAD DE CAUDALES MEDIOS MESUALES GENERADOS MICROCUENCA UYANCANI						
DESCRIPCIÓN		MESES	Q75% (m3/mes)	QEcológico (m3/mes)	QEvap. (m3/mes)	QDISP. (m3/mes)
MICROC UENCA LAGUNA PARCC O	CAUDAL AL 75% DE PERSIST ENCIA	SET	75,617.84	13,817.54	14,707.76	47,092.54
		OCT	118,731.36	28,043.21	16,681.31	74,006.85
		NOV	179,899.97	45,301.25	16,197.78	118,400.94
		DIC	278,023.11	59,486.02	16,224.80	202,312.29
		ENE	499,585.32	91,439.14	9,789.02	398,357.16
		FEB	514,851.62	86,192.29	7,750.38	420,908.95
		MAR	355,252.77	59,199.28	7,468.67	288,584.81
		ABR	229,946.11	43,249.63	9,831.64	176,864.84
		MAY	113,840.07	18,543.72	10,771.83	84,524.53
		JUN	64,826.71	10,160.49	11,633.59	43,032.64
		JUL	57,431.19	10,115.99	12,594.92	34,720.29
		AGO	61,176.94	10,790.93	13,304.41	37,081.60
Q DISPONIBLE EN MESES DE ALMACENAMIENTO (M3/MES)			1,877,658.9	339,566.4	51,064.5	1,487,028.1
Q DISPONIBLE EN MESES DE ALMACENAMIENTO (MMC)			1.88	0.34	0.05	1.49

Figura 49 *Curvas de persistencia de caudales generados*



De esta manera se realizó la generación de caudales en base a datos meteorológicos y satelitales para la zona de Uyancani – Queuña, en base a esto poder generar comparaciones con los caudales aforados y la disponibilidad de recurso hídrico que tiene la zona de estudio.

4.5. Prospección geofísica

Con el objetivo de identificar la presencia de aguas subterráneas se realizará prospección geofísica a través de sus propiedades geoeléctricas. Se realizaron prospecciones indirectas mediante el método geofísico de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) por el método de Schlumberger con profundidades de 50 a 100 metros.

Figura 50 *Instalación y medición de la resistividad del suelo*



4.5.1. Ubicación de los puntos de sondeo eléctrico vertical

En el área de estudio se realizó 07 sondeos ubicados estratégicamente para obtener un modelo adecuado y conocer el comportamiento de los acuíferos de la zona como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 40 *Coordenadas geográficas del SEV y profundidad alcanzada*

SEV	ESTE	NORTE	COTA	PROF. (m)
SEV-001	795563	8434150	4134	115.05
SEV-002	795559	8434117	4130	60.03
SEV-003	795564	8434858	4125	66.15
SEV-004	795549	8434030	4132	76.29
SEV-005	793874	8433251	4011	66.11
SEV-006	793868	8433328	4007	95.82
SEV-007	794608	8432666	4131	82.02

Figura 51 *Instalación y medición en campo a través de SEV*



Figura 52 *Medición con el equipo geoelectrico de resistividad*



4.5.2. Análisis e interpretación de resultados

4.5.2.1. Sondaje eléctrico vertical SEV-001

El avance que se realizó en el presente SEV fue de NW-SE paralelo a la Quebrada Ullancani, con las coordenadas UTM NORTE: 8434150, ESTE: 795563; donde se inyectó corriente en dirección NW con 200 m de apertura.

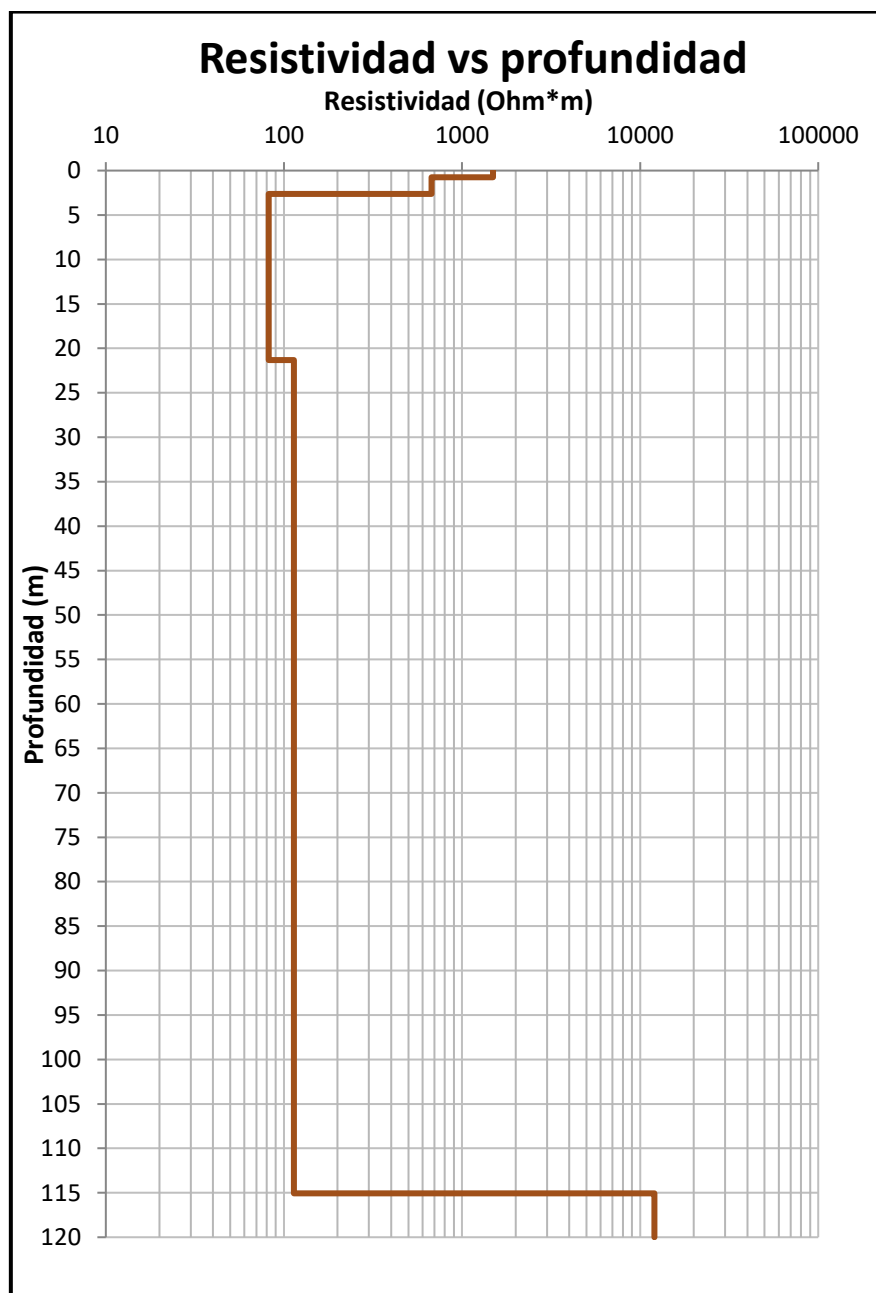
Tabla 41 Resultados SEV-001

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	1494.402	0.771	0.771
2	674.337	1.846	2.617
3	82.118	18.695	21.313
4	113.887	93.7	115.1
5	12028.6	--	---

En el perfil se identificó 04 estratos hasta 115.05 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 0.70m de potencia aproximadamente se logra distinguir fragmentos de arenisca cuarzosa de la formación Hualhuani y calizas, con matriz madura de grano grueso envueltas en un material arenoso, con $\rho=1494 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 0.70 – 2.617 m, corresponde a depósitos fluvioglaciares compuestas por gravas, arenas y limos con fragmentos subredondeados de calizas, con $\rho=674 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 2.617 m – 21.313m de potencia aproximadamente, corresponde a calizas blandas o fracturadas de la formación Arcurquina con un basamento de roca fracturada saturada con agua corriente, con $\rho=82.118 \Omega\text{m}$.
- El cuarto estrato capa de 21.313 m – 115.1 m se logra distinguir calizas fracturadas de la Formación Arcurquina, con $\rho=113.887 \Omega\text{m}$.
- A partir de lo=115 m la resistividad aumenta, siendo calizas masivas compactas de basamento con $\rho>12000 \Omega\text{m}$.

Figura 53 Resistividad y profundidad SEV-001



4.5.2.2. Sondaje eléctrico vertical SEV-002

El avance que se realizó en el presente SEV fue de NW-SE paralelo al SEV 001, con las coordenadas UTM NORTE: 8434117, ESTE: 795559; donde se inyectó corriente en dirección NW con 200 m de apertura.

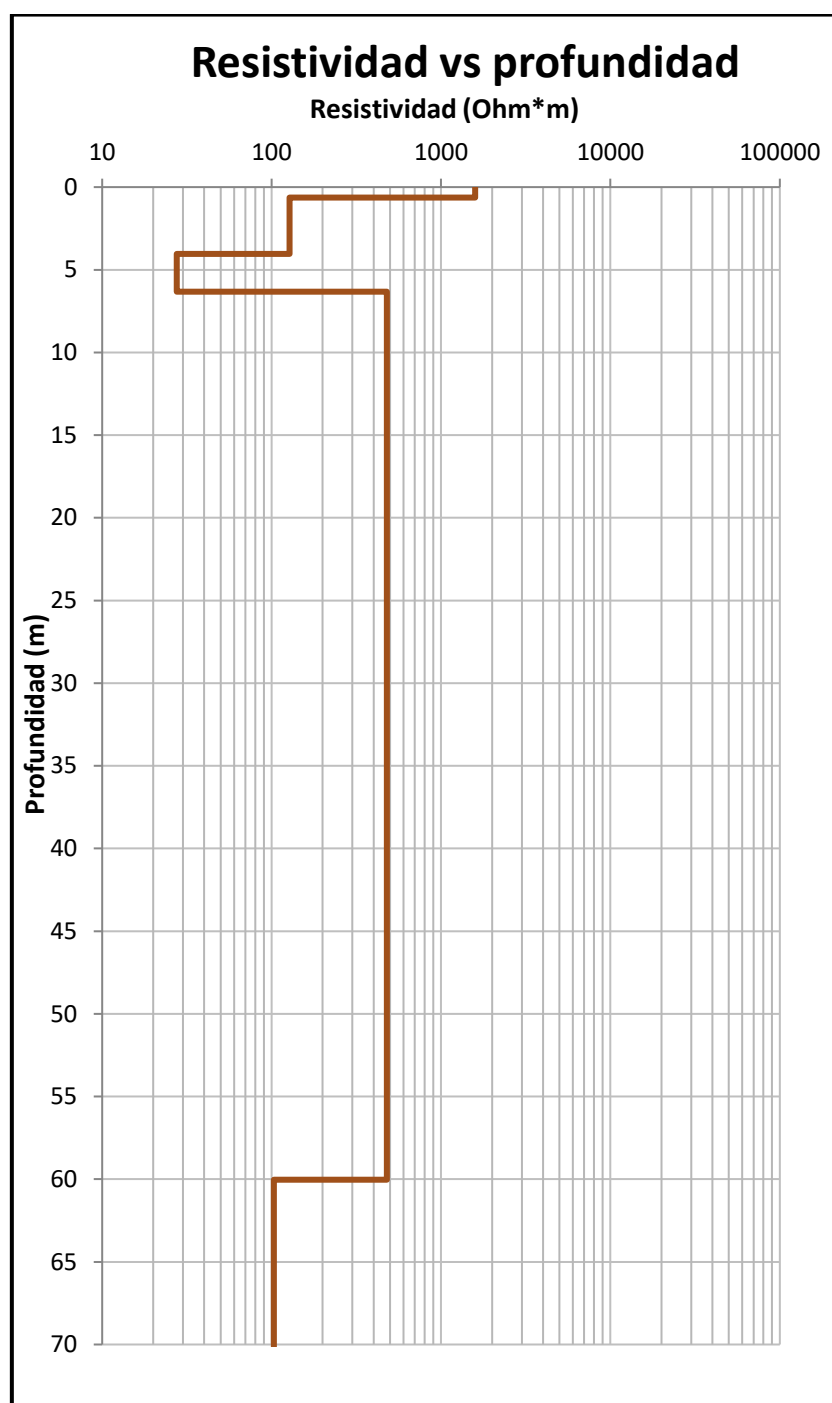
Tabla 42 *Resultados SEV – 002*

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	1590.401	0.64	0.64
2	127.84	3.391	4.031
3	27.542	2.294	6.324
4	478.63	53.7	60.0
5	103.1	---	---

En el perfil se identificó 04 estratos definidos hasta 60 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 0.64 m de potencia aproximadamente se logra distinguir fragmentos de arenisca cuarzosa de la formación Hualhuani y calizas, con matriz madura de grano grueso envueltas en un material arenoso, con $\rho=1590 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 0.64 – 4.031 m, corresponde a depósitos fluvioglaciares compuestas por gravas, arenas y limos con fragmentos subredondeados de calizas posiblemente húmedos, con $\rho=127 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 4.031 m – 6.324 m de potencia aproximadamente, corresponde a calizas blandas o fracturadas de la formación Arcurquina con un basamento de roca fracturada saturada con agua corriente, con $\rho=27.542 \Omega\text{m}$.
- El cuarto estrato capa de 6.324 m – 60 m se logra distinguir calizas fracturadas de la Formación Arcurquina, con $\rho=478 \Omega\text{m}$.
- A partir de los 60 m la resistividad disminuye, pudiendo ser una zona fracturada o saturada con $\rho>103 \Omega\text{m}$.

Figura 54 Resistividad y profundidad SEV-002



4.5.2.3. Sondaje eléctrico vertical SEV-003

El avance que se realizó en el presente SEV fue de SW-NE paralelo a la Quebrada Ullancani con las coordenadas UTM NORTE: 8434858, ESTE: 795564; donde se inyectó corriente en dirección SW con 200 m de apertura.

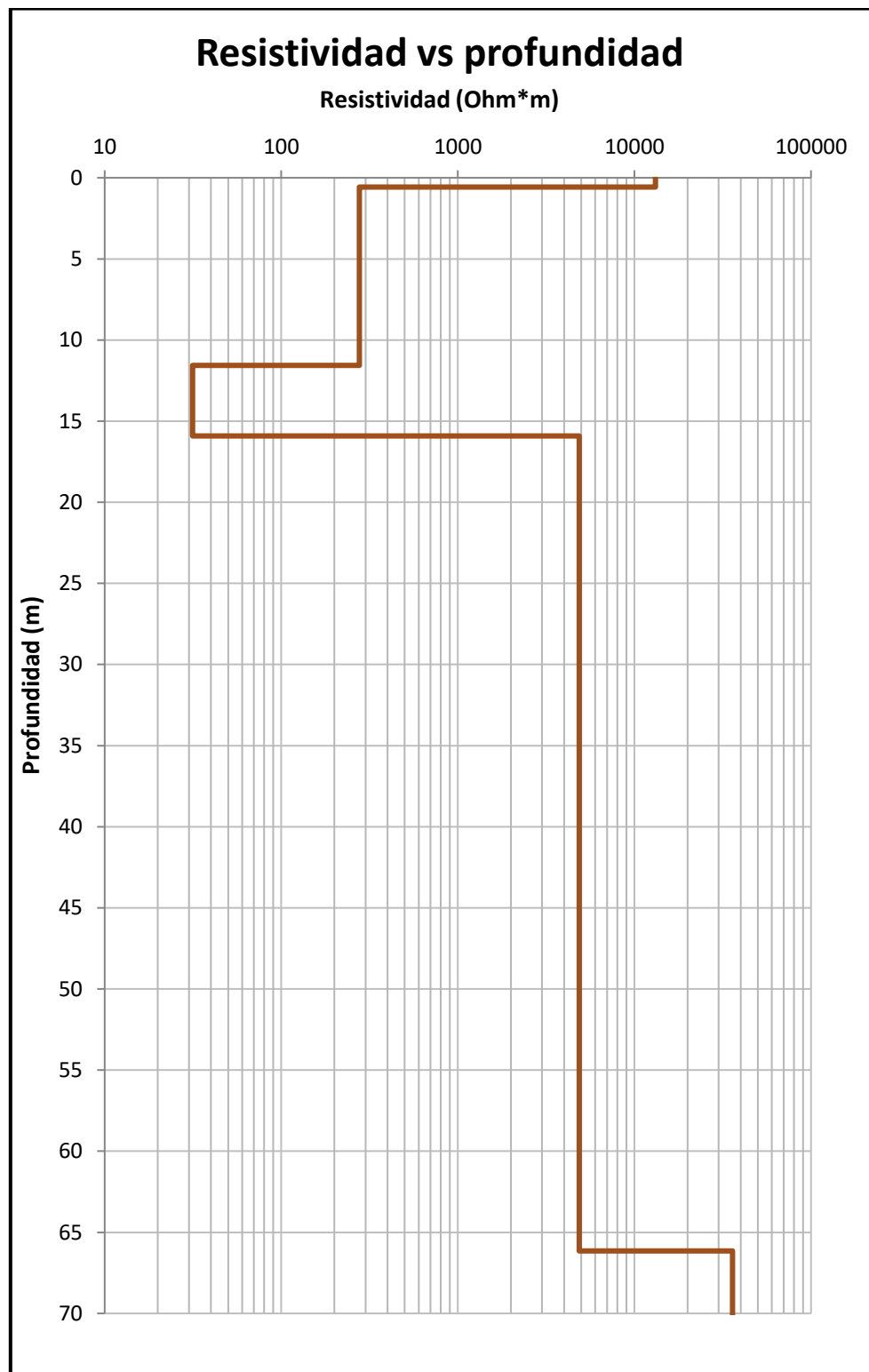
Tabla 43 Resultados SEV-003

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	13143.705	0.574	0.574
2	276.574	10.988	11.562
3	31.461	4.357	15.919
4	4872.847	50.2	66.1
5	35938.1	---	---

En el perfil se identificó 04 estratos definidos hasta 66.1 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 0.57m de potencia aproximadamente se logra distinguir fragmentos sueltos de arenisca cuarzosa de la formación Hualhuani y calizas, con matriz de grano grueso, con $\rho=13143 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 0.57 – 11.562 m, corresponde a rocas calizas fracturadas, con $\rho=674 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 11.562 m – 15.919 m de potencia aproximadamente, corresponde a calizas blandas o fracturadas de la formación Arcurquina con un basamento de roca fracturada saturada o presencia de agua, con $\rho=31.461 \Omega\text{m}$.
- El cuarto estrato capa de 15.919 m – 66.1 m se aprecia resistividades altas correspondientes a calizas compactas o fracturadas de la Formación Arcurquina, con $\rho=4872.84 \Omega\text{m}$.
- A partir de los 66 m la resistividad persiste con valores altos, siendo calizas masivas compactas de basamento con $\rho>35000 \Omega\text{m}$.

Figura 55 Resistividad y profundidad SEV-003



4.5.2.4. Sondaje eléctrico vertical SEV-004

El avance que se realizó en el presente SEV fue de NW-SE paralelo al Sev 003, con las coordenadas UTM NORTE: 8434030, ESTE: 795549; donde se inyectó corriente en dirección SW con 200 m de apertura.

Tabla 44 Resultados SEV-004

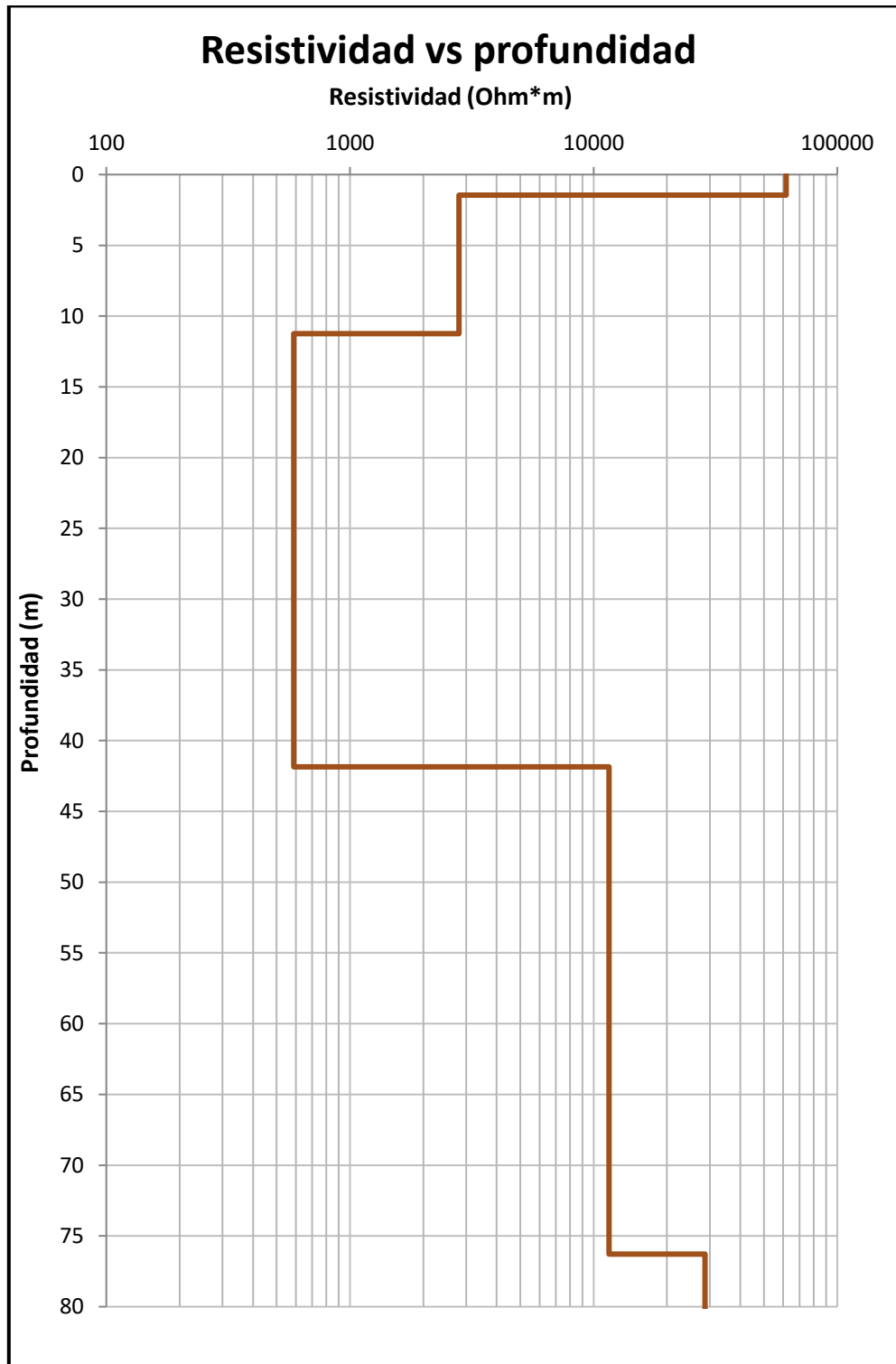
RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	61699.669	1.457	1.457
2	2802.933	9.791	11.248
3	587.802	30.611	41.86
4	11570.401	34.4	76.3
5	28642.7	---	---

En el perfil se identificó 04 estratos definidos hasta 76.3 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 1.457 m de potencia aproximadamente se logra distinguir fragmentos meteorizados secos y sueltos de arenisca cuarzosa de la formación Hualhuani y fragmentos de calizas, con $\rho=13143 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 1.457 – 11.248 m, corresponde a rocas calizas fracturadas, con $\rho=2802.93 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 11.248 m – 41.86 m de potencia aproximadamente, corresponde a calizas blandas o fracturadas de la formación Arcurquina con un basamento de roca fracturada saturada y posible presencia de humedad o agua subterránea, con $\rho=587.802 \Omega\text{m}$.
- El cuarto estrato capa de 41.86 m – 76.3 m se aprecia resistividades altas correspondientes a calizas compactas o fracturadas de la Formación Arcurquina, con $\rho=11570.4 \Omega\text{m}$.

- A partir de los 76.3 m la resistividad persiste con valores altos, siendo calizas masivas compactas de basamento con $\rho > 35000 \Omega\text{m}$.

Figura 56 Resistividad y profundidad SEV-004



4.5.2.5.Sondaje eléctrico vertical SEV-005

El avance que se realizó en el presente SEV fue de SW-NE paralelo a la quebrada Queuña, con las coordenadas UTM NORTE: 8433251, ESTE: 793874; donde se inyectó corriente en dirección SW con 200 m de apertura.

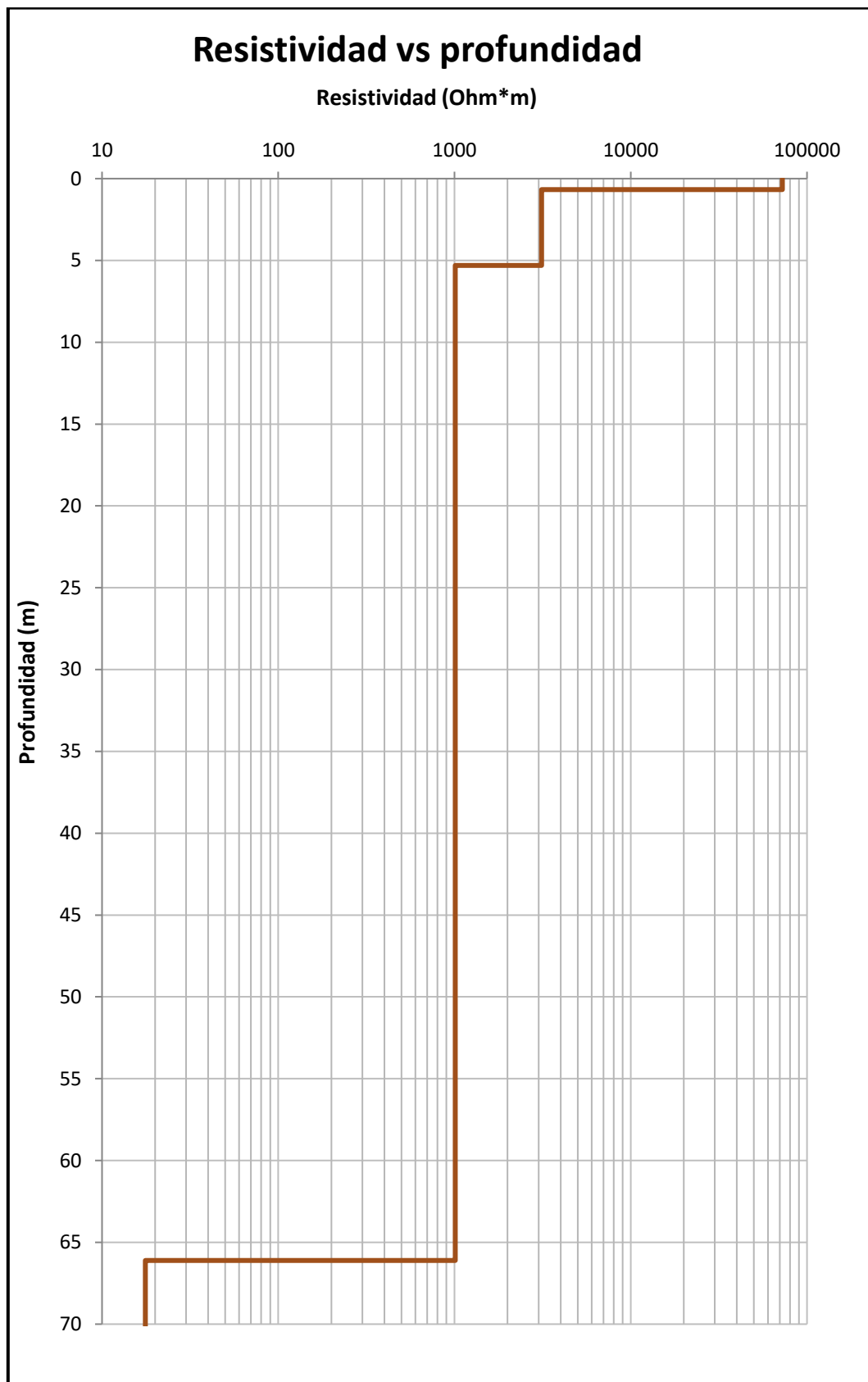
Tabla 45 Resultados SEV-005

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	72491.606	0.67	0.67
2	3115.134	4.627	5.297
3	1008.613	60.811	66.108
4	17.612		
5		---	---

En el perfil se identificó 03 estratos definidos hasta 66.108 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 0.67 m de potencia aproximadamente presenta fragmentos meteorizados secos y sueltos de arenisca cuarzosa de la formación Hualhuani con arenas sueltas, con $\rho=72491 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 0.67 – 5.297 m, corresponde a depósitos fluvioglaciares de fragmentos de rocas con gravas y arenas secas con $\rho=3115.134 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 5.297 m – 66.108 m de potencia aproximadamente, corresponde a areniscas fracturadas de la formación Hualhuani con un basamento de roca fracturada con $\rho=1008.613 \Omega\text{m}$.
- A partir de los 66.108 m la resistividad disminuye considerablemente, siendo una zona fracturada o fallada con presencia de circulación de agua subterránea con $\rho>17.612 \Omega\text{m}$.

Figura 57 Resistividad y profundidad SEV-005



4.5.2.6. Sondaje eléctrico vertical SEV-006

El avance que se realizó en el presente SEV fue de NW-SE paralelo al SEV-005 con las coordenadas UTM NORTE: 8433328, ESTE: 793868; donde se inyectó corriente en dirección SE con 200 m de apertura.

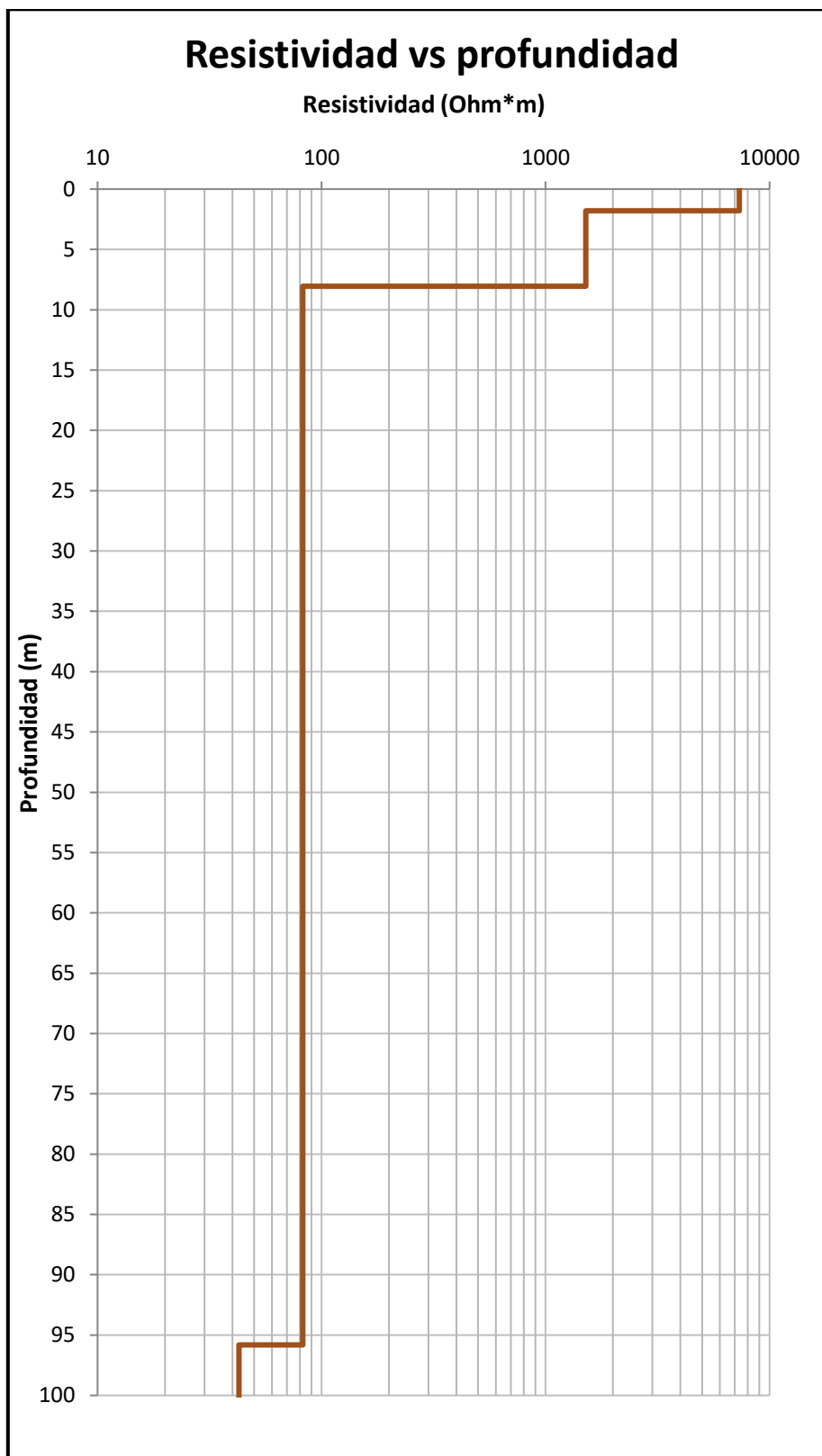
Tabla 46 Resultados SEV-006

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	7329.176	1.805	1.805
2	1512.838	6.255	8.06
3	82.452	87.755	95.815
4	42.784		
5		---	---

En el perfil se identificó 03 estratos definidos hasta 95.815 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 1.805 m de potencia aproximadamente presenta fragmentos meteorizados sueltos de areniscas cuarzosas de la formación Hualhuani con arenas sueltas, con $\rho=7329 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 1.805 – 8.06 m, corresponde a depósitos fluvioglaciares de fragmentos de rocas con gravas y arenas secas con $\rho=1512.838 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 8.06 m – 95.815 m de potencia aproximadamente, corresponde a areniscas fracturadas de la formación Hualhuani un basamento de roca fracturada con presencia de humedad con $\rho=82.452 \Omega\text{m}$.
- A partir de los 95.815 m la resistividad disminuye considerablemente, siendo una zona fracturada o fallada con presencia de humedad con $\rho>72.784 \Omega\text{m}$.

Figura 58 Resistividad y profundidad SEV-006



4.5.2.7. Sondaje eléctrico vertical SEV-007

El avance que se realizó en el presente SEV fue de SW-NE paralelo al SEV-007 con las coordenadas UTM NORTE: 8432666, ESTE: 794608; donde se inyectó corriente en dirección SW con 200 m de apertura.

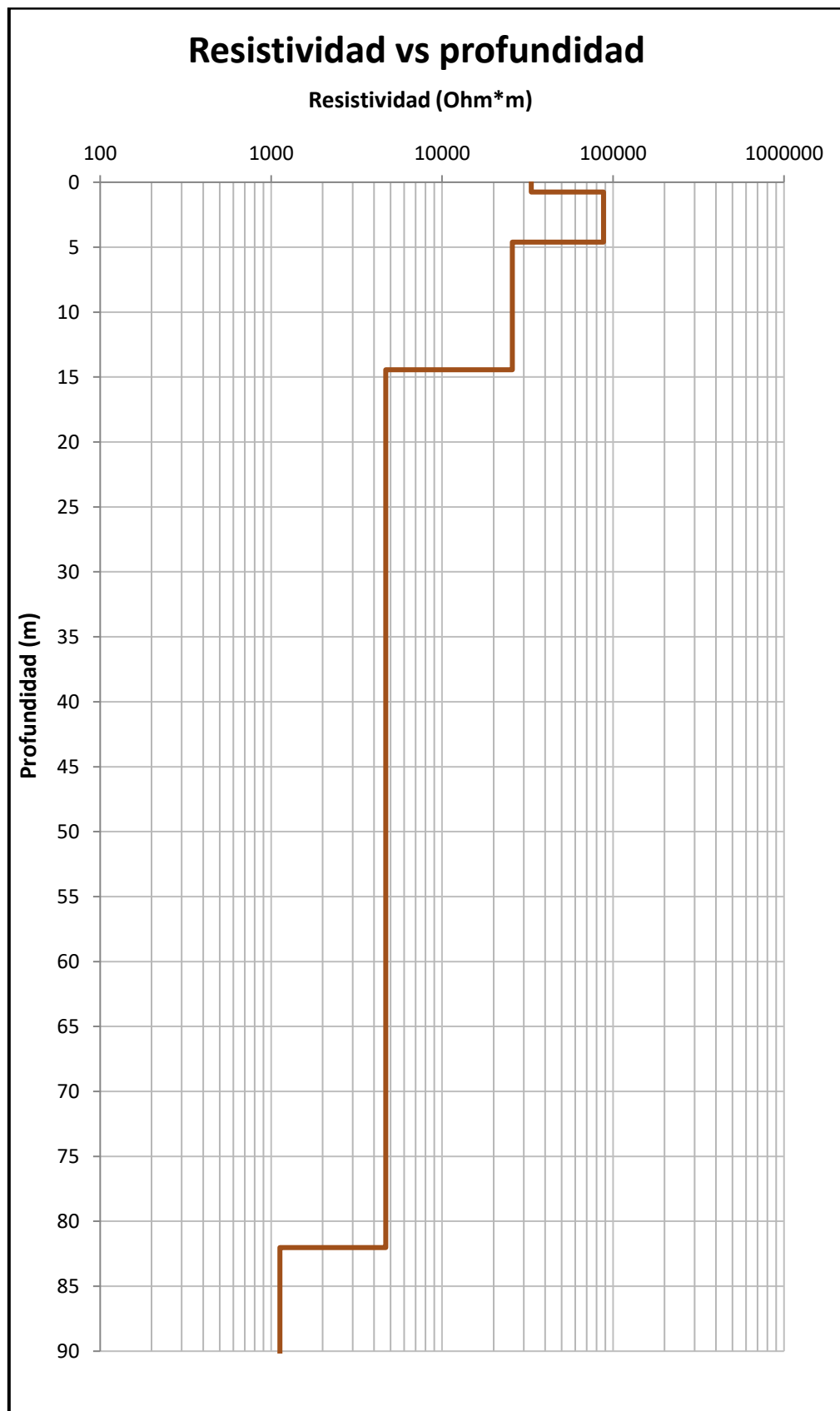
Tabla 47 Resultados SEV-007

RESULTADOS			
Nº	Resistividad ρ (ohm*m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	33217.544	0.76	0.76
2	87929.394	3.845	4.606
3	25795.599	9.832	14.438
4	4681.565	67.6	82.0
5	1125.3	---	---

En el perfil se identificó 04 estratos definidos hasta 82.0 metros aproximadamente desde la superficie, donde:

- La primera capa de cobertura de 0 m – 0.76 m de potencia aproximadamente presenta fragmentos meteorizados sueltos de areniscas cuarzosas de la formación Hualhuani con arenas sueltas, con $\rho=33217.54 \Omega\text{m}$.
- La segunda capa de m 0.76 – 4.606 m, corresponde a rocas compactas de la Formación Hualhuani con $\rho=87929.394 \Omega\text{m}$.
- El tercer estrato capa de 4.606 m – 14.438 m de potencia aproximadamente, corresponde a areniscas fracturadas de la formación Hualhuani un basamento de roca fracturada con presencia de humedad con $\rho=25795.5 \Omega\text{m}$.
- El cuarto estrato de 14.438 m – 82 m de potencia aproximadamente, corresponde a areniscas fracturadas de la formación Hualhuani con $\rho=4681.5 \Omega\text{m}$.
- A partir de los 82.0 m la resistividad disminuye considerablemente, siendo una zona de rocas fracturadas con $\rho>1125.3 \Omega\text{m}$.

Figura 59 Resistividad y profundidad SEV-007



4.5.3. Secciones 2D a partir del Sondaje Eléctrico Vertical

De acuerdo con la ubicación de los sondajes en el software ZondIP1D se realizó la comparativa en una variación vertical como se detalla a continuación:

a. Sección SEV 003 – SEV 001 – SEV 002 – SEV 004

Se unió los 4 primeros SEV partiendo del SEV 003 en dirección al SEV 004 en dirección N a S.

Figura 60 Ubicación en planta de los SEV que forman la sección 1



Figura 61 Procesamiento en el software ZondIP1D sección 1

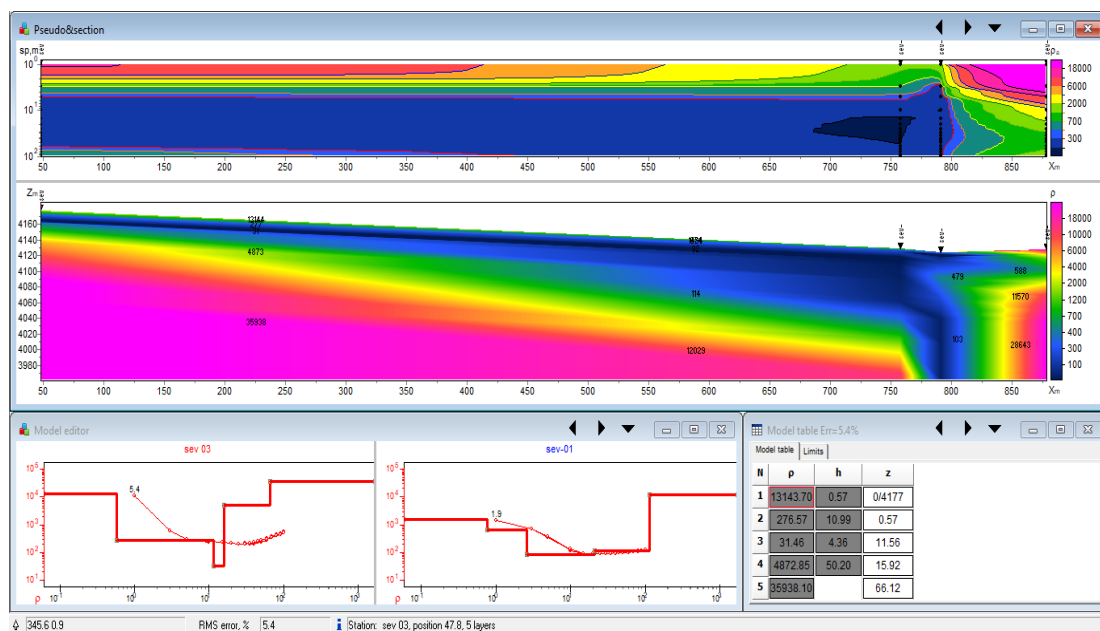
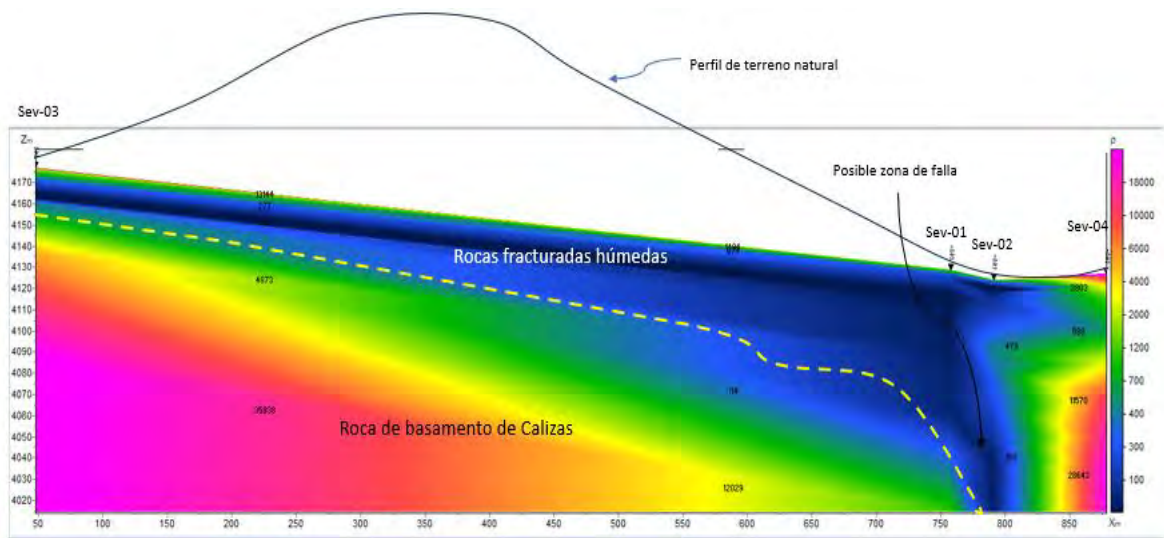


Figura 62 Interpretación de la sección 1



En la sección 01 se observa que las resistividades bajas están concentradas superficialmente hacia la quebrada de los manantes y bofedales entre los SEV 001 y SEV 002, en esta zona esas resistividades se prolongan a profundidad que posiblemente estaría asociado a una falla o zona de mayor fracturamiento por el que existan circulación de aguas subterráneas.

b. Sección SEV 006 – SEV 005 – SEV 007

Se generó a partir del SEV 006 hasta el SEV 007 en dirección NW a SE.

Figura 63 Ubicación en planta de los SEV que forman la sección 2

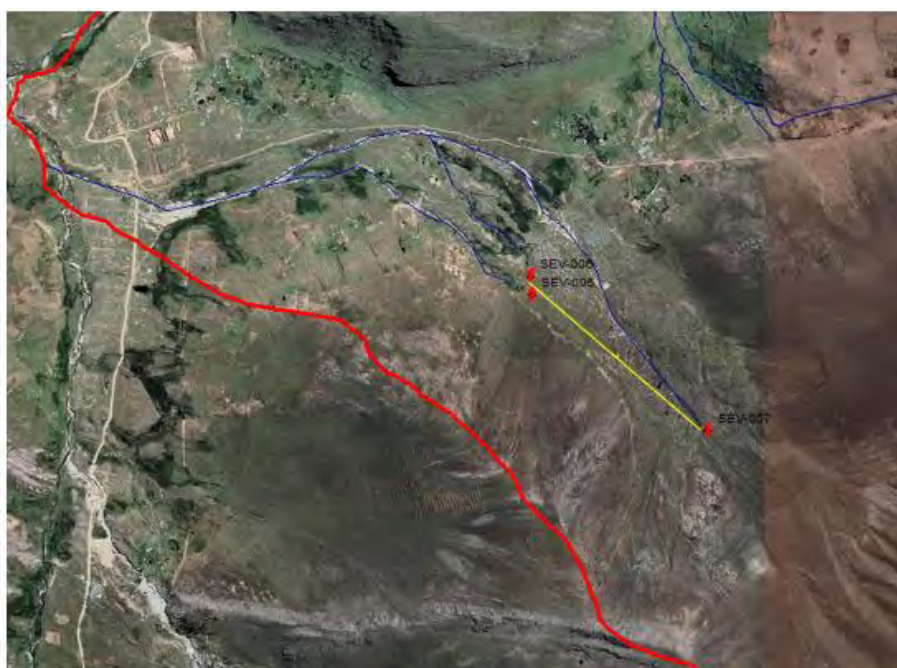


Figura 64 Procesamiento en el software ZondIP1D sección 2

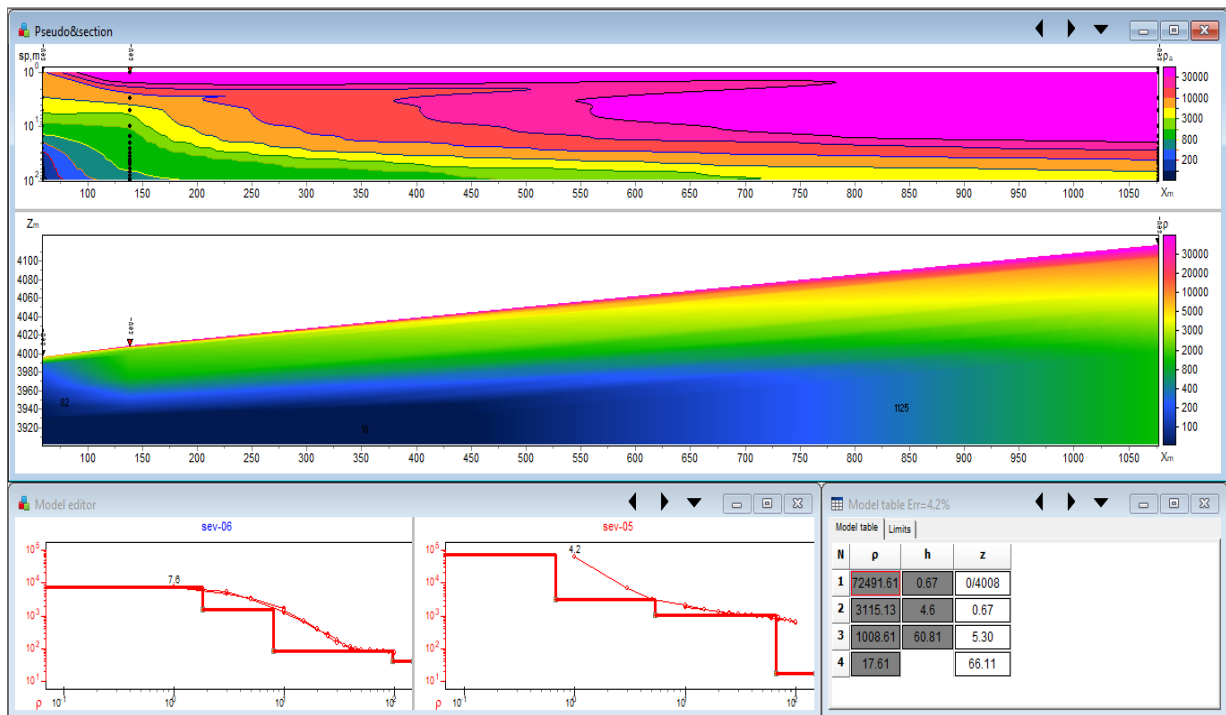
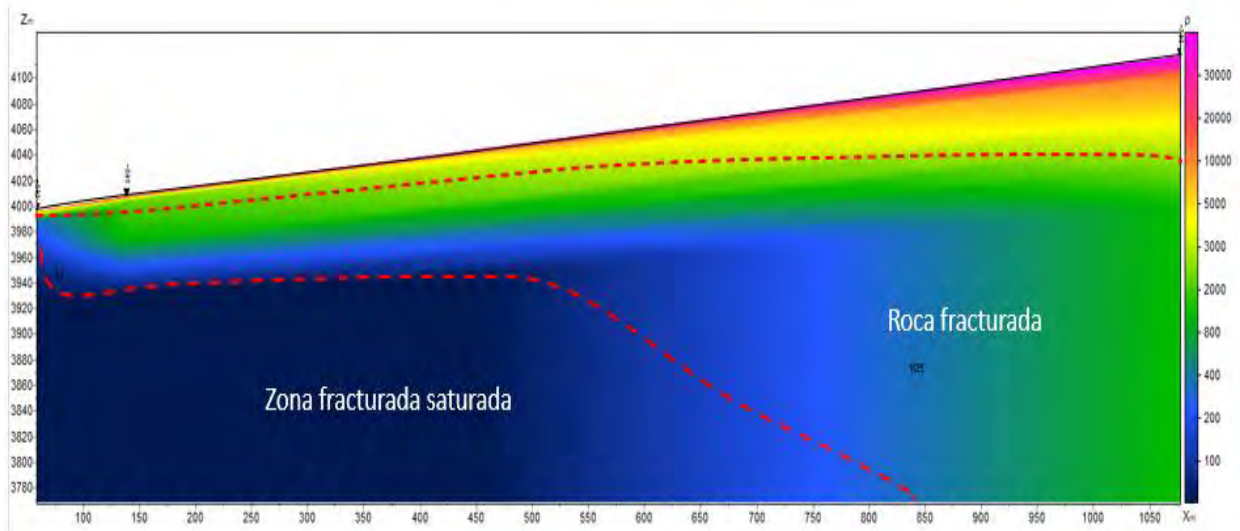
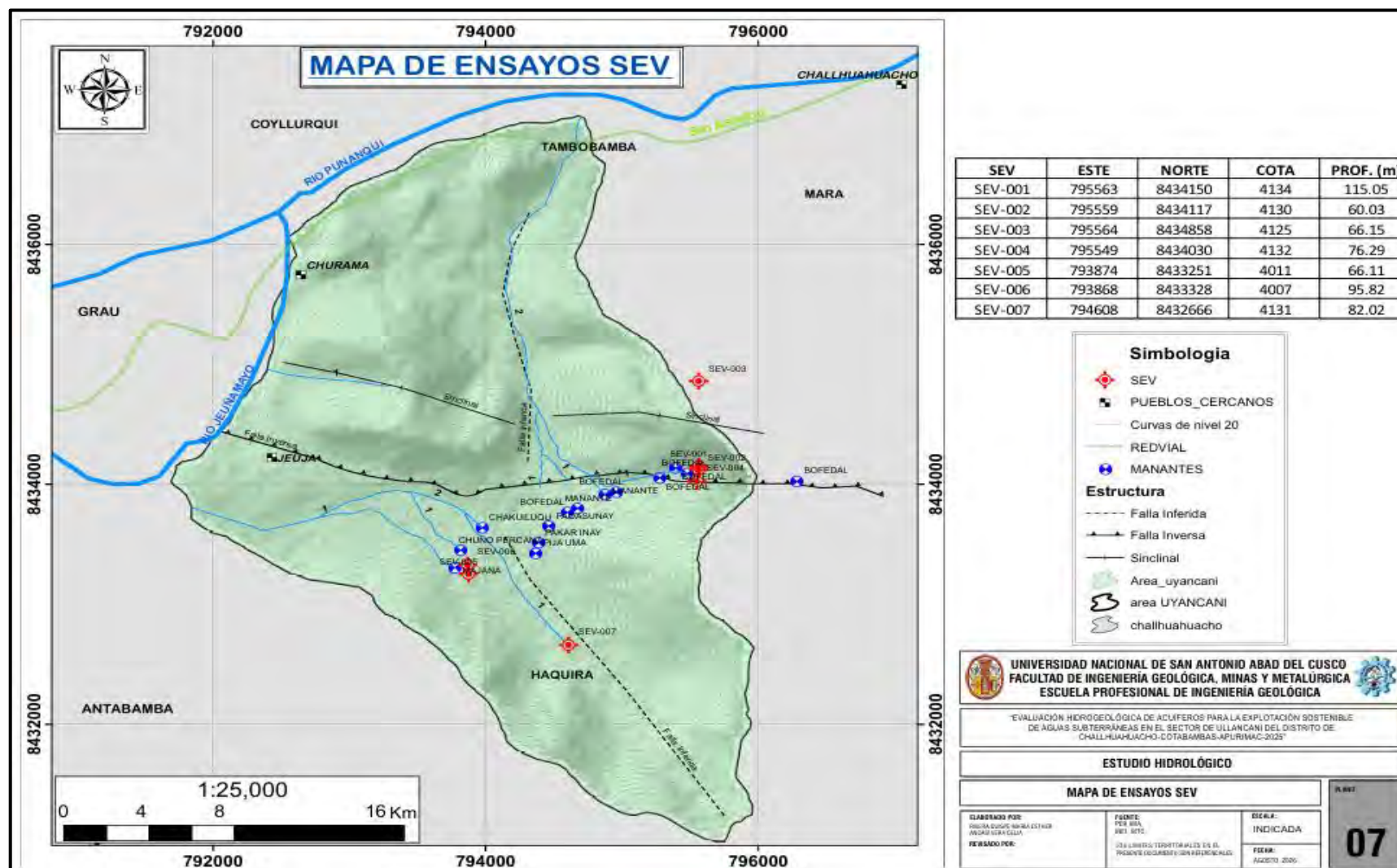


Figura 65 Interpretación de la sección 2



En la sección 2 se observa que las resistividades bajas se manifiestan a profundidad, estando a menor profundidad a la altura del SEV 005 y SEV 006 por donde se encuentran el manante de Majana, posiblemente este manante este asociado a aportes de circulaciones profundas ya que en el SEV 007 no manifiesta resistividades bajas, mostrando valores altos típicos de rocas masivas o con menor grado de fracturamiento.

Figura 66 *Mapa de ensayos SEV*



4.6. Hidrogeología

La caracterización hidrogeológica permitió determinar que el sistema acuífero del sector de Ullancani está conformado por unidades que almacenan y transmiten agua subterránea mediante la circulación a través de fracturas, conductos y medios porosos, cuya recarga está condicionada principalmente por la precipitación y los procesos de infiltración en las unidades geológicas presentes. El inventario de fuentes hídricas permitió identificar **09 manantes y 06 bofedales**, evidenciando la presencia de unidades hidrogeológicas con comportamiento predominantemente permanente; sin embargo, se identificó una disminución progresiva de la productividad de estas fuentes durante los últimos años, asociada a variaciones climáticas y cambios en las condiciones de recarga del sistema acuífero. Los manantes presentan una productividad variable entre media y muy baja, representando las principales zonas de descarga natural del sistema hidrogeológico local.

4.6.1. Inventario, identificación y caracterización de fuentes de agua subterránea

Durante esta etapa se realizó el inventario e identificación de las fuentes de agua subterránea presentes en la zona de estudio, incluyendo manantiales, captaciones y bofedales. La evaluación consideró la ubicación espacial de cada fuente, sus características hidráulicas, caudal, régimen de descarga y condiciones de productividad.

El inventario de puntos de agua permitió caracterizar el potencial hídrico de las principales unidades hidrogeológicas del sector de Ullancani, así como determinar la distribución espacial de las zonas de descarga natural del acuífero y su relación con el sistema hidrogeológico local.

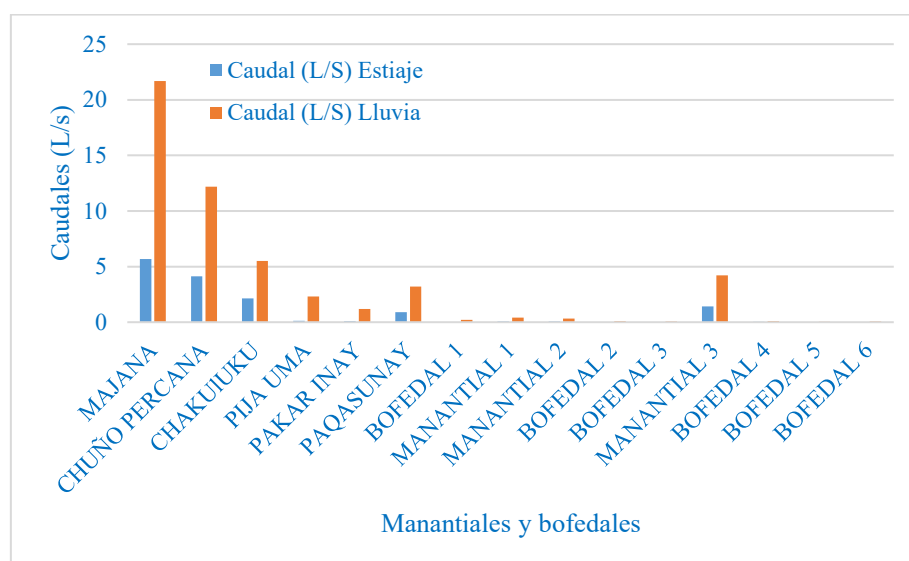
Asimismo, el aforo de los manantiales permitió cuantificar la disponibilidad hídrica de las fuentes identificadas y evaluar su comportamiento según las condiciones estacionales. Esta información permitió complementar la interpretación hidrogeológica del área,

contribuyendo a la identificación de zonas de recarga, circulación y descarga de las aguas subterráneas.

Tabla 48 *Inventario de manantiales y bofedales en el sector de Ullancani 2025*

N	Nombre	Este	Norte	Cota	Método	Caudal (L/S) Estiaje	Caudal (L/S) Lluvia	Uso	Régimen	Cov Veg	Productividad
1	MAJANA	793780	8433306	4003	Flotador	5.68	21.68	Consumo	Permanente	Chachacomo	Alta
2	CHUÑO PERCANA	793813	8433452	3985	Flotador	4.12	12.2	Consumo	Permanente	Chachacomo	Medio
3	CHAKUIUKU	793975	8433638	3992	Volumétrico	2.14	5.5	Consumo	Permanente	Chachacomo	Medio
4	PIJA UMA	794370	8433426	4046	Volumétrico	0.14	2.3	Consumo	Permanente	Pajonal	Bajo
5	PAKAR INAY	794386	8433514	4049	Volumétrico	0.11	1.2	Consumo	Permanente	Pajonal	Bajo
6	PAQASUNAY	794466	8433652	4047	Volumétrico	0.89	3.2	Consumo	Permanente	Pajonal	Bajo
7	BOFEDAL 1	794602	8433766	4041	-	0	0.2	SINUSO	SECO	PAJONAL	-
8	MANANTIAL 1	794677	8433802	4038	Volumétrico	0.06	0.4	Pastoreo	Permanente	Pajonal	Bajo
9	MANANTIAL 2	794876	8433916	4041	Volumétrico	0.06	0.32	Pastoreo	Permanente	Pajonal	Bajo
10	BOFEDAL 2	794957	8433936	4057	-	0	0.1	SINUSO	HUMEDO	PAJONAL	MUY BAJO
11	BOFEDAL 3	795272	8434054	4097	-	0	0.06	SINUSO	HUMEDO	PAJONAL	MUY BAJO
12	MANANTIAL 3	795369	8434076	4105	Volumétrico	1.42	4.2	Consumo	Permanente	Pajonal	Medio
13	BOFEDAL 4	795389	8434136	4104	-	0.03	0.09	PASTOREO	PERMANENTE	PAJONAL	MUYBAJO
14	BOFEDAL 5	795478	8434092	4113	-	0	0.05	PASTOREO	HUMEDO	PAJONAL	MUYBAJO
15	BOFEDAL 6	796285	8434026	4088	-	0	0.08	PASTOREO	HUMEDO	PAJONAL	MUY BAJO
Total, Q L/S						14.65	51.58				

Figura 67 Caudales aforados



Los resultados del aforo realizado durante la época de estiaje permitieron identificar que los manantiales Majana, Chuño Percana y Chakulluqu presentan los mayores caudales registrados, con valores comprendidos entre 2.14 L/s y 5.68 L/s, seguidos por los manantiales Paqasunay y manantial 3 con caudales entre 0.89 L/s y 1.42 L/s. Estos valores corresponden a la condición de menor disponibilidad hídrica del año; sin embargo, las fuentes evaluadas mantienen flujo continuo, por lo que se clasifican como manantes de régimen permanente, aunque presentan variaciones estacionales en su caudal.

Durante la época de lluvias, el incremento de la recarga del acuífero genera un aumento significativo de los caudales de descarga. En particular, el manante Majana alcanzó un caudal aproximado de 21.68 L/s, evidenciando una respuesta favorable del sistema acuífero frente a los eventos de precipitación. En época seca, los manantiales de menor productividad muestran una disminución significativa de sus caudales debido a su limitada capacidad de almacenamiento y regulación del acuífero. No obstante, al mantener flujo durante el periodo de estiaje, se consideran manantiales de régimen permanente con baja productividad, cuya descarga responde principalmente a la capacidad de regulación del sistema hidrogeológico y a la variación estacional de la recarga.

Figura 68 Registro y aforo de manantes



4.6.2. Pruebas de permeabilidad

Se realizaron pruebas de permeabilidad con la finalidad de determinar la capacidad de infiltración y circulación del agua a través de las unidades geológicas presentes en el subsuelo. Estas evaluaciones permitieron conocer el comportamiento hidráulico de los materiales, considerando que las rocas existentes en la zona presentan un grado de fracturamiento que favorece la infiltración del agua mediante las discontinuidades y el material de relleno presente en las fisuras.

Asimismo, las pruebas permitieron estimar la permeabilidad de los diferentes materiales evaluados y establecer su capacidad como medios favorables para la recarga y almacenamiento de agua subterránea. Los resultados obtenidos fueron clasificados de acuerdo con los rangos de permeabilidad expresados en m/día, permitiendo determinar el comportamiento hidrogeológico de cada unidad litológica identificada en el área de estudio.

Figura 69 Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)

Valores (m/día)	Permeabilidad										
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito		Limo arenoso Limo Arcilla Límosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia		

Nota. Extraído de Peña F., Charca M., Inspección hidrogeológica Subcuenca Santa Eulalia.

Tabla 49 Tabla de valores de permeabilidad por tipo de material

Litología	k (m/día)	Interpretación del relleno	Interpretación hidrogeológica
Arenisca cuarzosa	7.32	Moderadamente permeable	Material con permeabilidad moderada, donde la circulación del agua está controlada principalmente por la porosidad primaria de la roca y el grado de cementación entre sus granos.
Acuífero kárstico	3.384	Permeable con alta heterogeneidad espacial	Presenta permeabilidad moderada; el flujo subterráneo puede estar condicionado por el desarrollo de fracturas, cavidades y el grado de conexión entre estructuras kársticas.
Depósito morrénico	24.2 – 61.62	Permeabilidad del medio granular completo	Presenta valores altos de conductividad hidráulica asociados a materiales granulares con presencia de arenas y gravas, baja compactación y buena conectividad de espacios porales.
Arenisca fisurada	20.74	Muy permeable	La permeabilidad está influenciada por la presencia de fracturas abiertas y conectadas, las cuales favorecen la circulación preferencial del agua subterránea mediante permeabilidad secundaria.

Los resultados de las pruebas de permeabilidad muestran valores de conductividad hidráulica entre 3.384 y 61.620 m/día, indicando condiciones de permeabilidad de moderadas a muy permeables. Los mayores valores corresponden a los depósitos morrénicos y la arenisca fracturada, debido a la presencia de materiales granulares y fracturas que favorecen la circulación del agua subterránea. La arenisca cuarzosa presenta una permeabilidad menor, controlada principalmente por su porosidad primaria, mientras que el acuífero kárstico

presenta una permeabilidad moderada condicionada por el desarrollo y conectividad de sus fracturas y cavidades. En conjunto, las unidades evaluadas presentan condiciones favorables para la infiltración y recarga hídrica.

4.6.3. Clasificación de acuíferos, infiltración y recarga hídrica en la zona de estudio

El área de estudio está constituida por unidades geológicas del Cretácico y depósitos cuaternarios, las cuales presentan diferentes condiciones de permeabilidad determinadas mediante pruebas hidráulicas in situ. De acuerdo con los valores de conductividad hidráulica obtenidos, las unidades hidrogeológicas se clasificaron según su capacidad de almacenamiento, circulación e infiltración del agua subterránea, diferenciándose acuíferos fisurados, acuíferos porosos, acuitardos y acuífugos.

a. Acuífero en areniscas cuarzosas Hualhuani

Esta unidad corresponde a las areniscas cuarzosas pertenecientes a la Formación Huallhuani del Grupo Yura, ubicada principalmente en la zona alta del área de estudio.

De acuerdo con las pruebas de permeabilidad realizadas, presenta un valor de conductividad hidráulica de **7.32 m/día**, clasificándose como un material permeable. La circulación del agua subterránea está asociada principalmente a la porosidad primaria de la roca y a la presencia de discontinuidades que pueden favorecer localmente la infiltración.

Esta unidad presenta una capacidad de infiltración moderada por que está altamente fracturado en superficie con presencia de hasta 2 cm de apertura y más de 10 m de persistencia., pudiendo contribuir a la recarga del sistema hidrogeológico en sectores donde las condiciones de fracturamiento y exposición superficial sean favorables.

Figura 70 Areniscas cuarzosas fracturadas



b. Acuífero kárstico en calizas fracturadas

Esta unidad está conformada por calizas micríticas con procesos de fracturación y karstificación, donde la circulación del agua subterránea ocurre mediante fracturas, cavidades y conductos generados por procesos de disolución.

Los ensayos de permeabilidad realizados en esta unidad determinaron un valor de 3.384 m/día, clasificándose como permeable. La capacidad de infiltración y recarga está condicionada por el grado de desarrollo, apertura y conectividad de las estructuras kársticas.

La presencia de cavidades superficiales evidencia procesos de karstificación que pueden favorecer la circulación preferencial del agua hacia niveles inferiores del macizo rocoso.

Figura 71 *Calizas fracturadas y karstificadas*



c. Acuífero poroso Periglacial en depósitos morrénicos

Esta unidad corresponde a depósitos cuaternarios de origen periglacial, conformados por fragmentos angulosos de roca, gravas, arenas y limos semiconsolidados.

Los resultados de las pruebas hidráulicas presentan valores de conductividad entre 24.20 y 61.62 m/día, clasificándose como muy permeables. Estas características están relacionadas con la presencia de materiales granulares y espacios intergranulares conectados que permiten una adecuada infiltración y almacenamiento temporal del agua.

Además, la presencia de bofedales y cobertura vegetal natural favorece la retención de humedad, contribuyendo a la regulación hídrica y recarga progresiva de los acuíferos locales.

Figura 72 Depósitos morrénicos en quebradas cubierto por cobertura vegetal



d. Acuífero en areniscas fracturadas Hualhuani

Esta unidad corresponde a niveles de areniscas con presencia de fracturas que favorecen la circulación del agua subterránea mediante permeabilidad secundaria.

Según los ensayos realizados, presenta un valor de conductividad hidráulica de **20.74 m/día**, clasificándose como muy permeable. La mayor capacidad de conducción respecto a las areniscas cuarzosas está relacionada con la presencia de fracturas abiertas y conectadas, que actúan como vías preferenciales para el flujo subterráneo.

Esta unidad representa una zona favorable para la infiltración y circulación del agua, especialmente en sectores donde las fracturas presentan continuidad hidráulica.

e. Acuífugos volcanosedimentarios

Está conformado por la Formación Vilcarani, compuesta por areniscas volcanoclásticas, tobas y lapillis consolidados.

Debido al grado de consolidación de sus materiales y la baja capacidad de almacenamiento y transmisión del agua subterránea, esta unidad presenta condiciones desfavorables para el desarrollo de acuíferos, comportándose como un acuífugo.

f. Acuífugo en areniscas Murco

Esta unidad está constituida por secuencias de areniscas, limoareniscas, lutitas, areniscas cuarzosas y limoarcillitas de tonalidad rojiza.

La presencia de materiales finos y baja conectividad de espacios porales limita la circulación del agua subterránea, por lo que se considera una unidad con comportamiento acuífugo y baja importancia hidrogeológica.

g. Acuitardo aluvial

Esta unidad está conformada por depósitos aluviales ubicados en las márgenes del río Uyancani, compuestos principalmente por arenas finas, limos y arcillas.

Por sus características granulométricas, estos materiales pueden almacenar agua, pero presentan baja capacidad de transmisión hidráulica, generando una circulación lenta. Por ello, se clasifican como acuitardos aluviales.

4.6.4. Condiciones de los acuíferos

En el área de estudio, las condiciones hidrogeológicas están determinadas por las características litológicas, estructurales y geomorfológicas del terreno, las cuales controlan la capacidad de infiltración, almacenamiento y circulación del agua subterránea. Los materiales identificados presentan diferentes grados de permeabilidad, condicionando la presencia de acuíferos con potencial variable.

Las pruebas hidráulicas realizadas muestran valores de conductividad hidráulica que evidencian la presencia de materiales permeables a muy permeables, principalmente asociados a depósitos granulares y zonas fracturadas, favoreciendo la circulación del agua subterránea.

Sin embargo, la recarga de los acuíferos se encuentra condicionada por factores ambientales y antrópicos. La pérdida de cobertura vegetal debido a la deforestación, sobrepastoreo, incendios y prácticas agrícolas inadecuadas incrementa la escorrentía

superficial y reduce los procesos de infiltración natural, afectando la recuperación de niveles freáticos, bofedales, manantiales y caudales superficiales.

Asimismo, la limitada implementación de prácticas de conservación y manejo hídrico en la población local constituye un factor que contribuye a la reducción progresiva de la disponibilidad del recurso hídrico.

4.6.5. Productividad del acuífero

La zona de estudio corresponde a un sistema hidrogeológico local conformado por diferentes unidades acuíferas asociadas a las características litológicas descritas anteriormente, incluyendo depósitos morrénicos, areniscas fracturadas, areniscas cuarzosas y unidades kársticas. Estas unidades presentan diferentes condiciones de almacenamiento y circulación del agua subterránea, cuya descarga natural se manifiesta mediante la presencia de manantiales.

Para evaluar la productividad del sistema acuífero se consideraron los caudales aforados en los principales manantes durante los periodos de estiaje y época húmeda. El caudal total registrado fue de 14.65 L/s en época de estiaje y 51.58 L/s durante la época húmeda, evidenciando una variación estacional relacionada con los procesos de recarga hídrica.

Tabla 50 *Caudal de los manantes aforados*

Nombre	Este	Norte	Cota	Caudal época Estiaje (Lt/s)	Caudal época Lluvia (Lt/s)
MAJANA	793780	8433306	4003	5.68	21.68
CHUÑO	793813	8433452	3985	4.12	12.2
PERCANA	793975	8433638	3992	2.14	5.5
CHAKUILUQU	794370	8433426	4046	0.14	2.3
PIJA UMA	794386	8433514	4049	0.11	1.2
PAKAR INAY	794466	8433652	4047	0.89	3.2
PAQASUNAY	794602	8433766	4041	0	0.2
BOFEDAL 1	794677	8433802	4038	0.06	0.4
MANANTIAL 1	794876	8433916	4041	0.06	0.32
MANANTIAL 2	794957	8433936	4057	0	0.1
BOFEDAL 2	795272	8434054	4097	0	0.06
BOFEDAL 3	795369	8434076	410S	1.42	4.2
MANANTIAL 3					

BOFEDAL 4	795389	8434136	4104	0.03	0.09
BOFEDAL 5	795478	8434092	4113	0	0.05
BOFEDAL 6	796285	8434026	4088	0	0.08
TOTAL				14.65	51.58

Tabla 51 *Clasificación de los manantes según Meinzer, 1927*

GRUPO	CAUDAL) l/s)	PRODUCTIVIDAD
1	$Q > 2800$	extremadamente alto
2	$280 < Q < 2800$	muy alto
3	$28 < Q < 280$	alto
4	$6.67 < Q < 28$	regular
5	$0.67 < Q < 6.67$	medio
6	$0.07 < Q < 0.67$	bajo
7	$0.008 < Q < 0.07$	muy bajo
8	$Q < 0.008$	extremadamente bajo

Tabla 52 *Clasificación de los manantes en el sector de Ullancani*

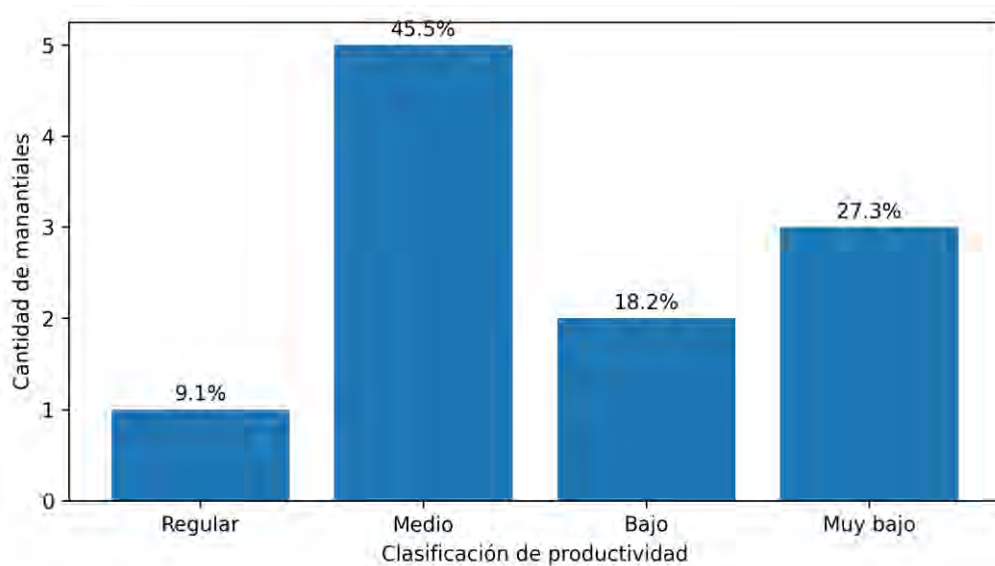
Clasificación	Caudal unitario (L/s)	Cantidad de manantes
Muy bajo	0.008 – 0.07	3
Bajo	0.07 – 0.67	2
Medio	0.67 – 6.67	5
Regular	6.67 – 28	1

De acuerdo con la clasificación propuesta por Meinzer (1927), el caudal total de estiaje corresponde al rango:

$$6.67 < Q < 28 \text{ L/s}$$

Clasificándose como un manantial de **productividad regular (Clase 4)**. Esto indica que el sistema acuífero presenta una capacidad moderada para suministrar agua durante condiciones secas, aunque con dependencia directa de las condiciones de recarga y almacenamiento subterráneo.

Figura 73 Clasificación de manantiales según su productividad (Meinzer, 1927)



De acuerdo con la clasificación de productividad de Meinzer (1927), los manantes evaluados presentan diferentes categorías de rendimiento hídrico. La mayor cantidad corresponde a manantes de productividad media (Clase 5), representando aproximadamente el 45.5 % del total evaluado, seguido por los manantes de productividad muy baja (27.3 %) y baja (18.2 %). Asimismo, se identificó un manantial con productividad regular (Clase 4), equivalente al 9.1 %. En conjunto, los resultados indican que el sistema presenta una oferta hídrica variable, con predominancia de manantes de bajo a medio rendimiento, aunque con una descarga total del sistema favorable durante el periodo de estiaje.

4.6.6. Balance hidrológico

El balance hidrológico consiste en analizar la relación entre los ingresos y las salidas de agua dentro del sistema hídrico para un periodo determinado. Para el área de estudio se consideraron los parámetros meteorológicos obtenidos del análisis hidrológico, tales como precipitación media anual, temperatura media anual y evapotranspiración real, además de los coeficientes de escorrentía y retención determinados para las unidades hidrogeológicas identificadas.

De acuerdo con la precipitación media anual de 655.80 mm/año y la evapotranspiración real estimada de 426.47 mm/año, se obtuvo un excedente hídrico de 229.33 mm/año, el cual representa la disponibilidad potencial de agua para procesos de escorrentía superficial e infiltración hacia el subsuelo.

Considerando las características hidrogeológicas del área y el coeficiente de retención obtenido (0.37), se determinó una infiltración potencial de 26.4 mm/año, equivalente aproximadamente al 11.5 % del excedente hídrico anual, mientras que el porcentaje restante corresponde principalmente a procesos de escorrentía superficial.

Tabla 53 *Precipitación y temperatura medias regionalizada*

Mes	Pp mensual	T° med.
		(°C)
Enero	135.52	8.54
Febrero	114.57	8.41
Marzo	94.39	8.35
Abril	36.09	8.31
Mayo	8.71	8.09
Junio	4.69	7.43
Julio	6.82	7.33
Agosto	8.97	8.17
Setiembre	20.00	8.94
Octubre	50.51	9.34
Noviembre	63.22	9.54
Diciembre	112.31	9.09
Total	655.80	8.46

Tabla 54 *Determinación del coeficiente de escorrentía*

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ESCORRENTIA - MÉTODO TURC		
Temperatura Media Anual (T)		8.46
Coeficiente de Temperatura (L)	$300+25*T+0.05*T^3$	541.88
Déficit de Escurrimiento (D)	$P_{MED}/(0.9+P_{MED}^2/L^2)^{0.5}$	426.47
Coeficiente de Escorrentía (C)	$(P_{MED}-D)/P_{MED}$	0.35
CALCULO DE COEFICIENTE DE ESCORRENTIA - MÉTODO MISION ALEMANA		

Precipitación Media Anual: (P _{MED})		655.80
Evaporación Total Anual: (ETP)		1170.58
Coeficiente de Escorrentía (C)	$3160000000000 * P_{MED}^{-0.571} * ETP^{-3.686}$	0.38
Coeficiente de Escorrentía Asumido (C)		0.4

Tabla 55 Resumen de datos hidrológicos en el sector de Ullancani

Pp anual (mm)	T° med. (°C)	ETR (mm)	Ex. Hídrico (mm)	Coef. Escorr.	Retención (mm)	Coef. Retención
655.80	8.46	426.47	229.33	0.40	26.4	0.37

Para la comparación hidrogeológica, los valores fueron transformados a unidades de caudal (m³/s) considerando el área de estudio de 1.5 km², obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 56 Resumen de datos hidrológicos e hidrogeológicos en m³/s

Precipitación (m ³ /s)	Evapotranspiración (m ³ /s)	Ex. Hídrico (m ³ /s)	Retención (m ³ /s)	Escorrentía (m ³ /s)	Caudal aforado (m ³ /s)
0.297	0.193	0.104	0.012	0.092	0.01465

El balance hidrológico general se expresa mediante la ecuación propuesta por Fisher:

$$\Delta R = P - G - E$$

Donde:

- P: aportes de agua por precipitación.
- E: evapotranspiración real.
- G: pérdidas o salidas del sistema.
- ΔR : variación del almacenamiento de agua.

Aplicando los valores obtenidos:

$$\Delta R = 0.297 \text{ m}^3/\text{s} - 0.104 \text{ m}^3/\text{s} - 0.193 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta R = 0$$

Este resultado indica que, desde el punto de vista hidrológico, existe equilibrio entre los ingresos y las pérdidas del sistema.

Al comparar la retención estimada (0.012 m³/s) con el caudal total aforado en los manantiales (0.01465 m³/s), se obtiene:

$$\text{Ex. Hídrico} = \text{Retención} + \text{Escorrentía}$$

$$\Delta R = P - G - E$$

$$\Delta R = P - (\text{retención} + \text{escorrentía}) - E$$

$$\Delta R = P - (\text{caudal aforado} + \text{escorrentía}) - E$$

$$\Delta R = 0.297 - (0.01465 \text{ m}^3/\text{s} + 0.092 \text{ m}^3/\text{s}) - 0.193 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta R = -0.003 \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor negativo obtenido indica que el caudal descargado por los manantiales es ligeramente superior al aporte estimado mediante el balance climático para el área evaluada. Esto sugiere que los manantiales podrían estar asociados a zonas de recarga hidrogeológica con una extensión mayor al área delimitada de estudio, además de considerar el almacenamiento temporal del sistema acuífero.

4.6.7. Sistema hidrogeológico

El sistema hidrogeológico de la zona de estudio está condicionado principalmente por la interacción entre la precipitación, las características litológicas y las condiciones estructurales de las unidades geológicas presentes. La precipitación constituye la principal fuente de recarga del sistema, donde una parte del agua infiltrada ingresa a las unidades acuíferas a través de materiales porosos, fracturas y estructuras kársticas, permitiendo su almacenamiento y circulación subterránea.

El sistema está conformado por diferentes unidades hidrogeológicas, destacando los acuíferos porosos asociados a depósitos morrénicos, los acuíferos desarrollados en areniscas fracturadas y cuarzosas, así como los acuíferos kársticos relacionados con calizas fracturadas y procesos de disolución. Estas unidades presentan diferentes capacidades de infiltración y transmisión hidráulica, controlando la distribución y descarga del agua subterránea.

La circulación del agua ocurre mediante el flujo intergranular en los depósitos cuaternarios y a través de fracturas, discontinuidades y conductos kársticos en las unidades rocosas. Posteriormente, el agua subterránea descarga naturalmente mediante manantiales ubicados en zonas topográficamente bajas y zonas de contacto entre unidades geológicas con diferente comportamiento hidráulico.

Los resultados del balance hidrológico y los aforos realizados evidencian que el sistema presenta una respuesta estacional, con mayores caudales durante la época húmeda debido al incremento de la recarga, mientras que durante el periodo de estiaje los caudales disminuyen como consecuencia de la reducción de aportes superficiales y del almacenamiento disponible en los acuíferos.

En términos generales, el sistema hidrogeológico presenta una dinámica regulada por la recarga pluvial, la capacidad de almacenamiento de las unidades acuíferas y las condiciones de circulación subterránea, siendo los depósitos morrénicos y las unidades fracturadas las principales zonas con potencial para favorecer la infiltración y regulación hídrica del área de estudio.

4.6.8. Regímenes hidrogeológicos

El régimen hidrogeológico de la zona de estudio comprende las etapas de recarga, circulación y descarga del agua subterránea, las cuales están controladas principalmente por las condiciones climáticas, características litológicas, propiedades hidráulicas de los materiales y la configuración geomorfológica del terreno.

La recarga del sistema ocurre principalmente por la infiltración de la precipitación, cuya precipitación media anual en la zona de estudio alcanza 655.80 mm/año. El agua infiltrada ingresa a las diferentes unidades hidrogeológicas identificadas, siendo almacenada y conducida mediante medios porosos, fracturas y estructuras kársticas hasta zonas de descarga natural representadas por los manantiales.

De acuerdo con las pruebas hidráulicas realizadas, las unidades hidrogeológicas presentan valores de conductividad hidráulica entre 3.38 y 61.62 m/día, clasificándose como materiales permeables a muy permeables. Los mayores valores corresponden a los depósitos morrénicos, con rangos de 24.2 a 61.62 m/día, debido a la presencia de materiales granulares como gravas y arenas que favorecen la circulación del agua subterránea. Asimismo, las areniscas fracturadas presentan valores de 20.74 m/día, asociados a la permeabilidad secundaria generada por fracturas conectadas.

Por otro lado, las areniscas cuarzosas presentan una conductividad hidráulica de 7.32 m/día, mientras que el acuífero kárstico en calizas fracturadas registra valores de 3.384 m/día, evidenciando una permeabilidad condicionada por el desarrollo, apertura y conectividad de fracturas y cavidades.

La circulación subterránea está influenciada por el grado de fracturamiento de las rocas, los procesos de karstificación, la porosidad de los depósitos cuaternarios y la pendiente del terreno, factores que determinan las rutas preferenciales del flujo subterráneo. Asimismo, los resultados del análisis hidrogeológico indican que algunos manantiales podrían estar asociados a sistemas de circulación subterránea con áreas de aporte mayores al límite del área evaluada, debido a recorridos regionales del agua subterránea.

En conjunto, el sistema hidrogeológico presenta un régimen condicionado por la recarga pluvial estacional, con almacenamiento temporal en los acuíferos porosos y circulación mediante medios fracturados y kársticos, generando descargas naturales hacia los manantiales durante todo el año, aunque con variaciones importantes entre época húmeda y época de estiaje.

4.6.9. Modelo Hidrogeológico Conceptual

El modelo hidrogeológico conceptual en dos dimensiones representa el funcionamiento del sistema acuífero del sector Ullancani, integrando las características

geológicas, estructurales, hidrogeológicas e hidrológicas obtenidas durante la investigación.

El sistema está condicionado por la distribución de unidades litológicas con diferentes propiedades hidráulicas, donde los acuíferos se desarrollan principalmente en depósitos morrénicos, areniscas fracturadas de la Formación Hualhuani y calizas fracturadas de la Formación Arcurquina.

La dinámica del sistema inicia en las zonas altas, donde la precipitación media anual de 655.80 mm/año genera un excedente hídrico que permite la infiltración hacia el subsuelo, estimándose una recarga potencial de 26.4 mm/año (11.5 % del excedente hídrico). La infiltración ocurre principalmente en sectores con mayor permeabilidad, asociados a depósitos cuaternarios, fracturas abiertas y zonas con desarrollo kárstico, que favorecen el ingreso del agua hacia los niveles acuíferos.

El flujo subterráneo se encuentra condicionado por la estructura geológica del área, donde las fracturas y discontinuidades presentes en las areniscas y calizas actúan como vías preferenciales de circulación, permitiendo el desplazamiento del agua desde las zonas de recarga hacia sectores de menor cota. Los acuíferos desarrollados en medios fracturados y kársticos presentan circulación mediante fracturas y conductos de disolución, mientras que los depósitos morrénicos favorecen el almacenamiento temporal debido a su alta permeabilidad y presencia de espacios intergranulares.

Durante el recorrido subterráneo, el agua mantiene interacción con el medio geológico, adquiriendo una composición hidroquímica predominantemente **calcica bicarbonatada (Ca-HCO_3)**, asociada principalmente a procesos de disolución mineral e interacción agua-roca. Finalmente, el sistema descarga naturalmente mediante manantes y bofedales ubicados en zonas topográficamente bajas, donde se evidencia la salida del flujo subterráneo hacia la superficie.

Las unidades de baja importancia hidrogeológica, como las areniscas de la Formación Murco y los materiales volcanosedimentarios del Complejo Vilcarani, actúan como barreras hidráulicas debido a su baja capacidad de almacenamiento y transmisión, condicionando la dirección del flujo subterráneo. En conjunto, el modelo conceptual evidencia un sistema hidrogeológico de recarga local, circulación condicionada por estructuras geológicas y descarga natural mediante manantes, con condiciones favorables para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo.

Figura 74 Modelo hidrogeológico conceptual en 2D

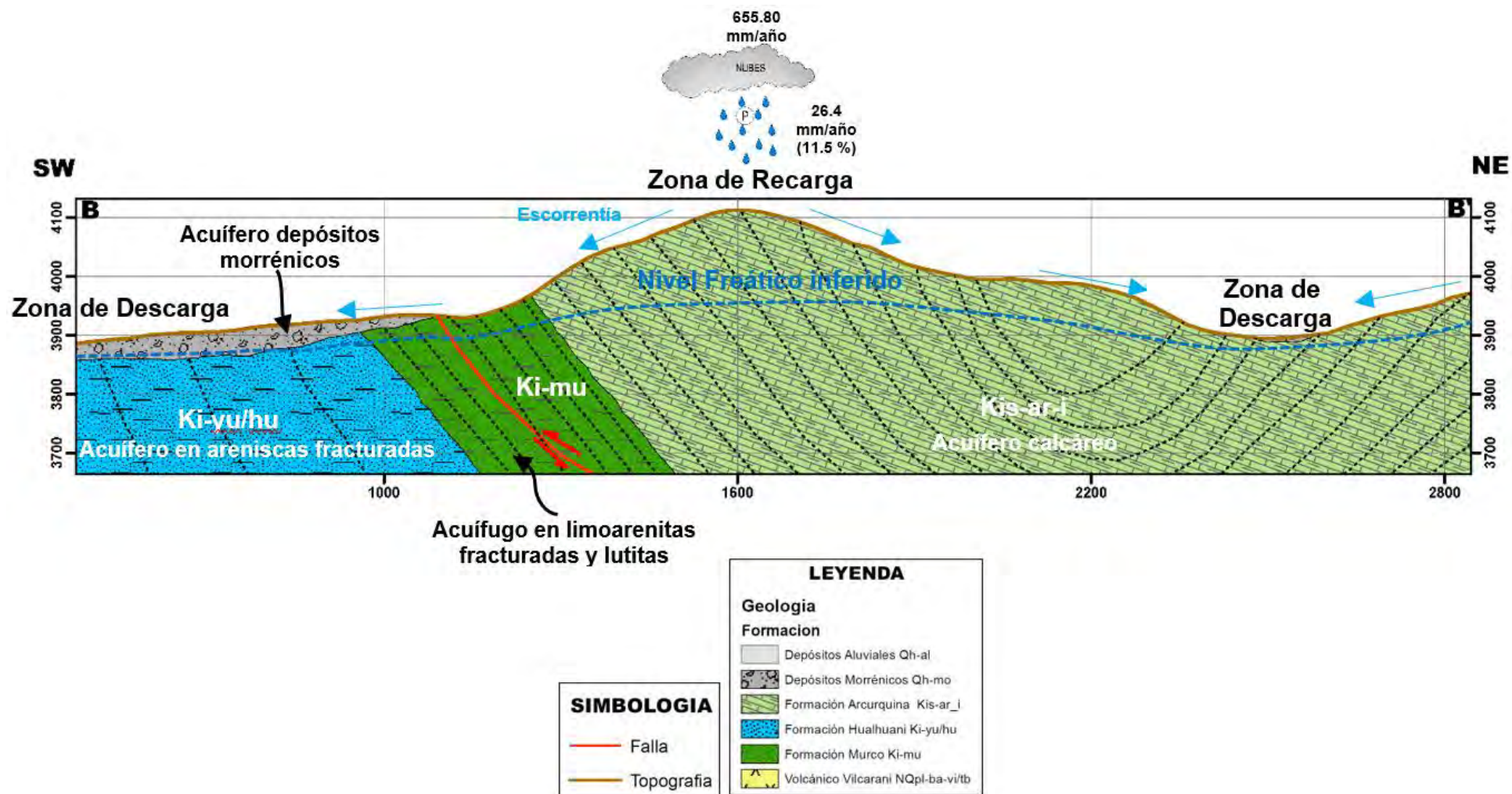


Figura 75 Sección geológica AA'

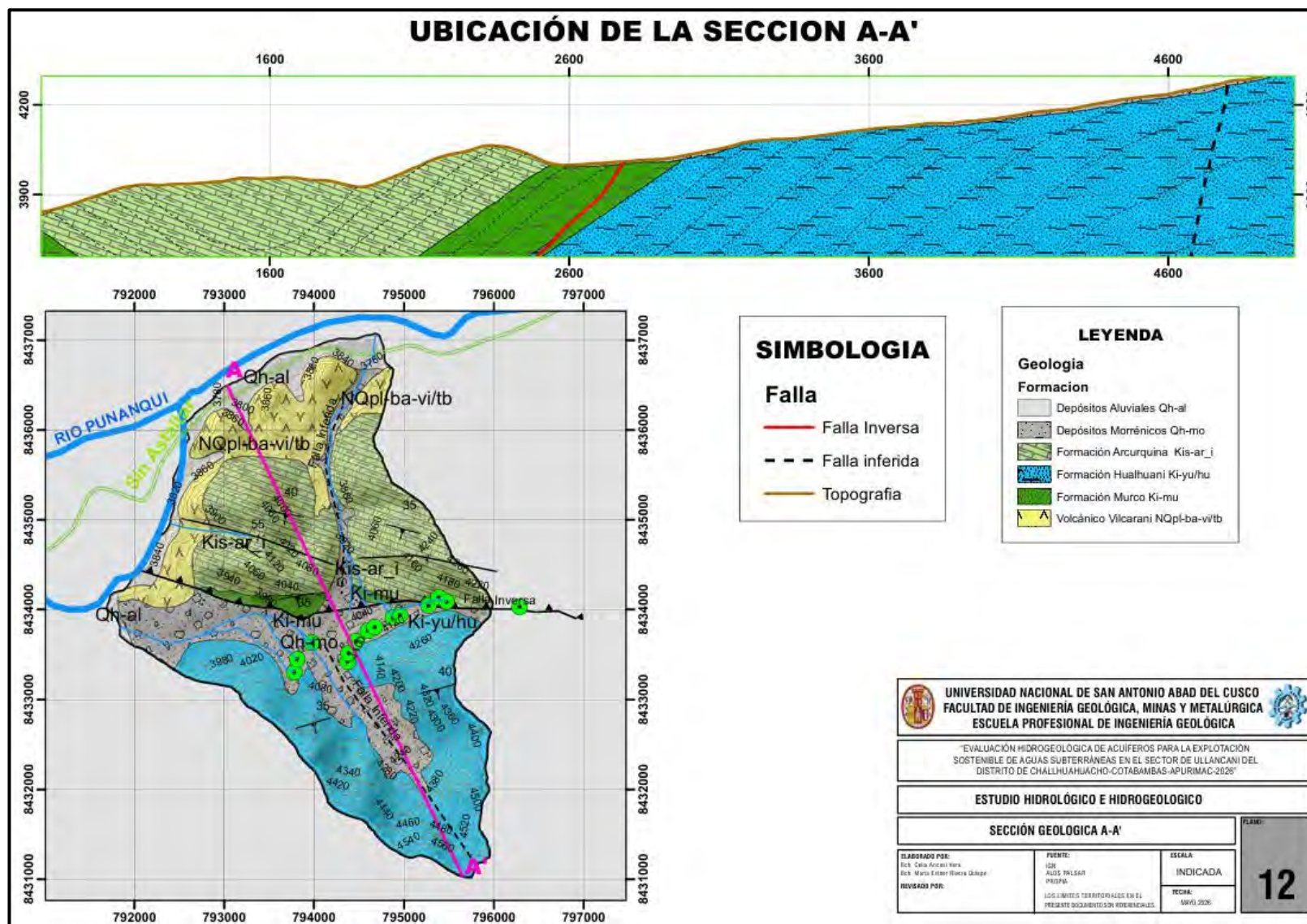
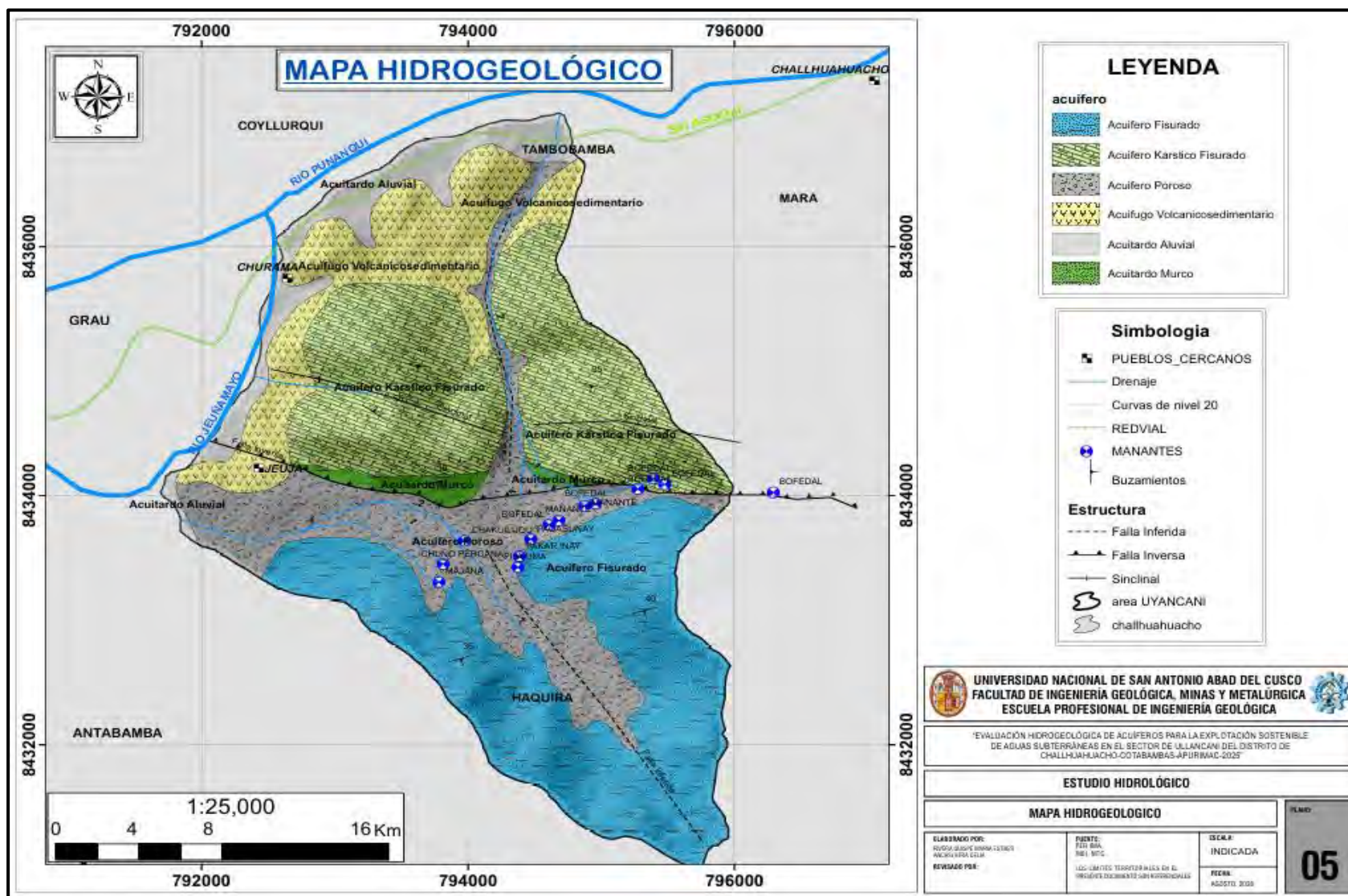


Figura 76 Mapa hidrogeológico



4.7. Oferta y demanda hídrica para consumo humano

La evaluación de la oferta y demanda hídrica para consumo humano permite determinar la disponibilidad actual del recurso hídrico y analizar la posibilidad de aprovechamiento futuro de los manantiales identificados en la zona de estudio.

Actualmente, la demanda de agua para consumo humano de la población ubicada en el sector Ullancani no representa un déficit respecto a la oferta hídrica disponible. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional del distrito de Challhuahuacho y al incremento de actividades productivas asociadas principalmente al desarrollo minero, resulta necesario evaluar la capacidad de sostenibilidad del sistema hidrogeológico frente a futuros escenarios de mayor demanda.

De acuerdo con los datos del INEI, el distrito de Challhuahuacho presenta un crecimiento poblacional significativo, alcanzando una tasa de crecimiento intercensal promedio de 14.27 %, pasando de 482 habitantes en 1993 a 14 525 habitantes en 2017, estimándose una población aproximada de 17 789 habitantes para el año 2025.

Tabla 57 Población del distrito de Challhuahuacho, 2025

DISTRITO	CENSOS DE POBLACION			PROMEDIO
	2007	2017	2025	
Challhuahuacho	482	7321	14525	
Tasa de crecimiento intercensal	21.45%	4.09%	x	14.27%

Tabla 58 Estimación de la población del distrito de Challhuahuacho al 2025

DISTRITO	CENSOS DE POBLACION				PROMEDIO
	2007	2017	2025	2030	
Challhuahuacho	482	7321	14525	17789	
Tasa de crecimiento intercensal	21.45%	4.09%	x	y	14.27%

Fuente: Datos extraídos del INEI Censos de Población y Vivienda 2025

La zona de estudio se ubica en la parte alta hacia el sur del centro poblado de Challhuahuacho, donde actualmente existen manantiales asociados a un sistema

hidrogeológico compuesto por acuíferos porosos, fracturados y kársticos. Estos recursos representan una fuente potencial de abastecimiento futuro, tanto para consumo humano como para actividades complementarias como el riego de áreas productivas e invernaderos implementados en la zona.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), para poblaciones ubicadas en zonas rurales y condiciones climáticas frías se considera una dotación aproximada de 120 litros/habitante/día. Bajo este criterio, considerando una población actual de 366 habitantes distribuidos en 126 familias, la demanda hídrica actual asciende a:

Tabla 59 Población zona rural y urbana del distrito de Challhuahuacho

DISTRITO	TOTAL, DE LA POBLACION	POBLACION			
		URBANO	%	RURAL	%
Challhuahuacho	14525	6196	42.66	8329	57.34

Fuente: Datos extraídos del INEI-Censos de Población y Vivienda 2025

Tabla 60 Demanda poblacional en el sector de Ullancani

Persona	m3/año	L/S
1	43.8	0.00
366	16030.8	0.51

La demanda calculada corresponde a aproximadamente 0.51 L/s, mientras que el caudal total aforado en los manantiales durante época de estiaje alcanza 14.65 L/s, evidenciando que la oferta actual supera ampliamente la demanda poblacional existente.

La relación oferta demanda indica que el recurso hídrico disponible actualmente presenta un excedente aproximado de:

$$14.65 \text{ L/s} - 0.51 \text{ L/s} = 14.14 \text{ L/s}$$

Este excedente representa una disponibilidad potencial; sin embargo, no significa que todo el caudal pueda ser captado y utilizado, debido a que parte de la descarga natural cumple una función ambiental dentro del sistema hidrogeológico, manteniendo bofedales, ecosistemas asociados y la regulación natural de los flujos superficiales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la explotación sostenible del recurso dependerá principalmente de:

- La capacidad de recarga anual del sistema acuífero.
- La conservación de las zonas de infiltración ubicadas en la parte alta de la cuenca.
- La variación estacional de los caudales entre época húmeda y estiaje.
- La protección de bofedales y áreas de almacenamiento natural.
- La implementación de un sistema de monitoreo permanente de caudales.

Considerando que el balance hidrológico determinó una recarga asociada al sistema de **0.012 m³/s (12 L/s)** y que el caudal aforado en estiaje alcanza aproximadamente **14.65 L/s**, se evidencia que existe una buena disponibilidad hídrica local; sin embargo, la sostenibilidad del aprovechamiento dependerá de mantener las condiciones actuales de recarga y evitar la degradación de las áreas naturales reguladoras.

Por lo tanto, los manantiales evaluados presentan condiciones favorables para un aprovechamiento futuro orientado al consumo humano, siempre que la extracción sea controlada se mantenga un caudal ambiental y no se supere la capacidad de renovación del sistema acuífero.

4.8. Caracterización Hidroquímica

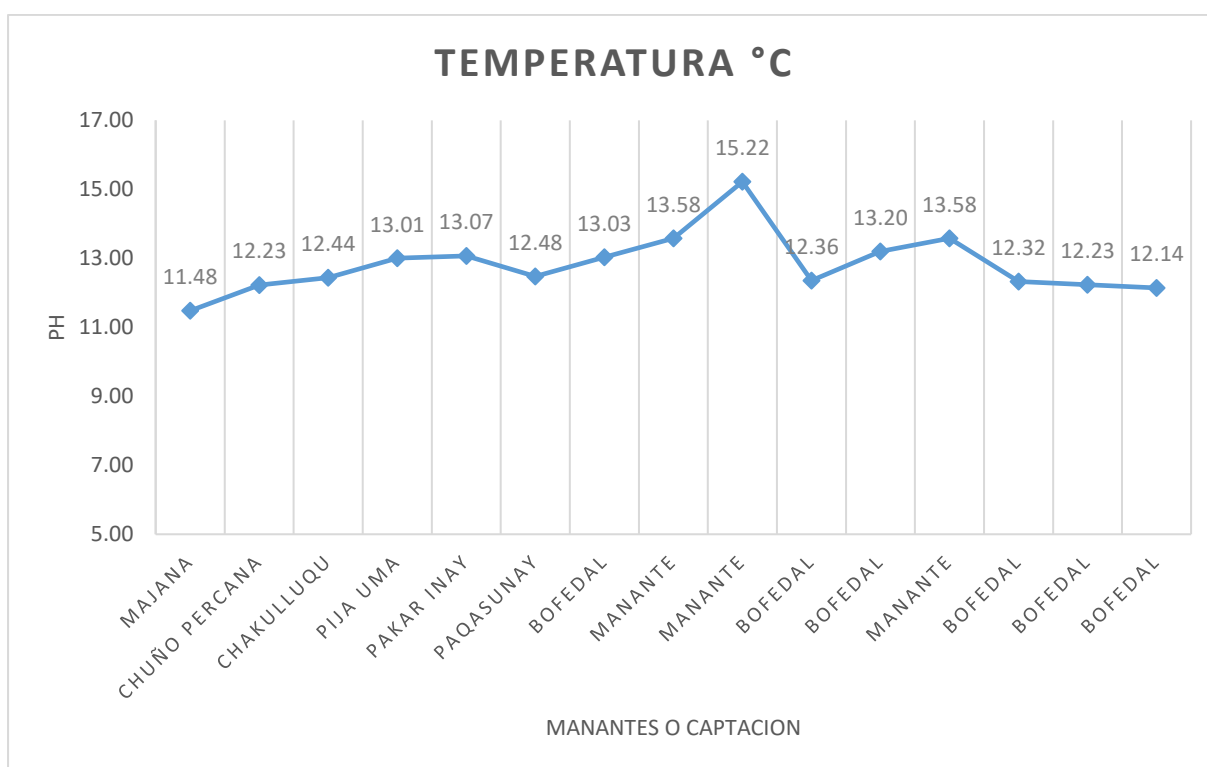
4.8.1. *Parámetros Fisicoquímicos*

La caracterización hidroquímica del sistema acuífero se realizó a partir de los parámetros fisicoquímicos reportados por laboratorio, considerando las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio. Los resultados fueron agrupados de acuerdo con sus características iónicas y utilizados como base para la elaboración de diagramas hidroquímicos de Piper, Stiff, Schoeller y SAR.

a. Temperatura

La temperatura de los manantiales varía entre 11.48 °C y 15.22 °C. El manantial Majana presenta el menor valor registrado, condición que podría estar relacionada con una mayor influencia de aguas de circulación subterránea y menor interacción con la temperatura superficial. Debido a que este manantial presenta además el mayor caudal aforado, podría estar asociado a una zona con mayor aporte y regulación del sistema acuífero.

Figura 77 Diagrama comparativo de temperatura

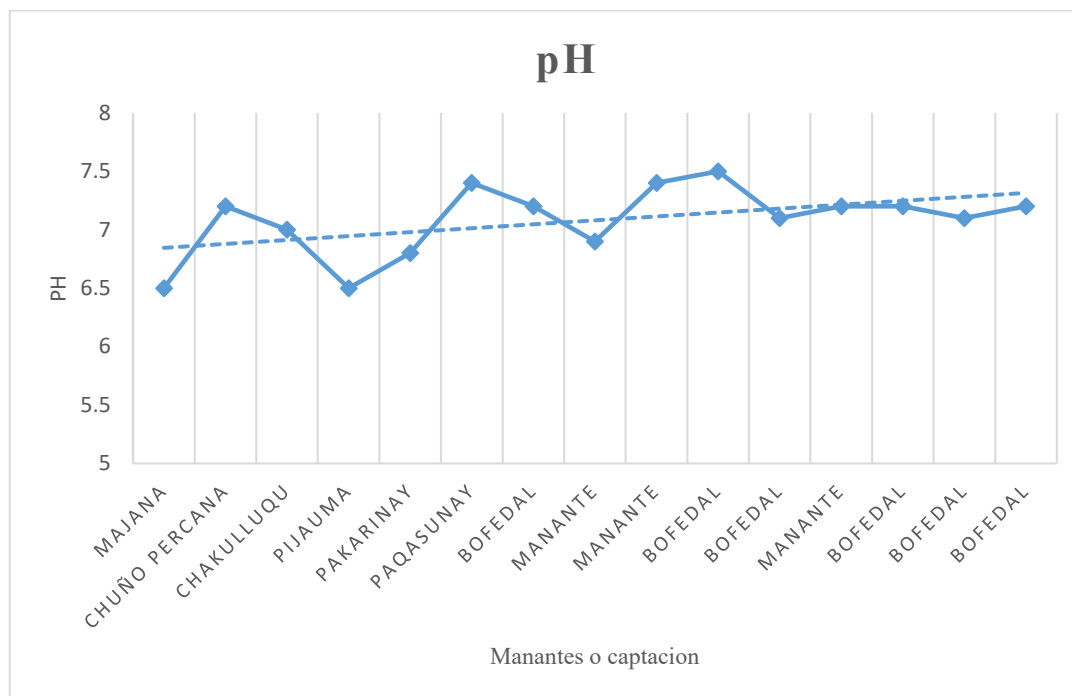


b. pH

Los valores de pH registrados en los manantiales evaluados varían entre 6.5 y 7.5, indicando que las aguas presentan condiciones de neutras a ligeramente alcalinas. De acuerdo con los Valores Máximos Admisibles establecidos por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud del Perú, el rango recomendado de pH para agua destinada al consumo humano se encuentra entre 6.5 y 8.5. Por lo tanto, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido, evidenciando

condiciones adecuadas respecto a este parámetro físicoquímico para su uso como fuente de abastecimiento, considerando además la evaluación integral de los demás parámetros de calidad de agua.

Figura 78 Diagrama comparativo para pH



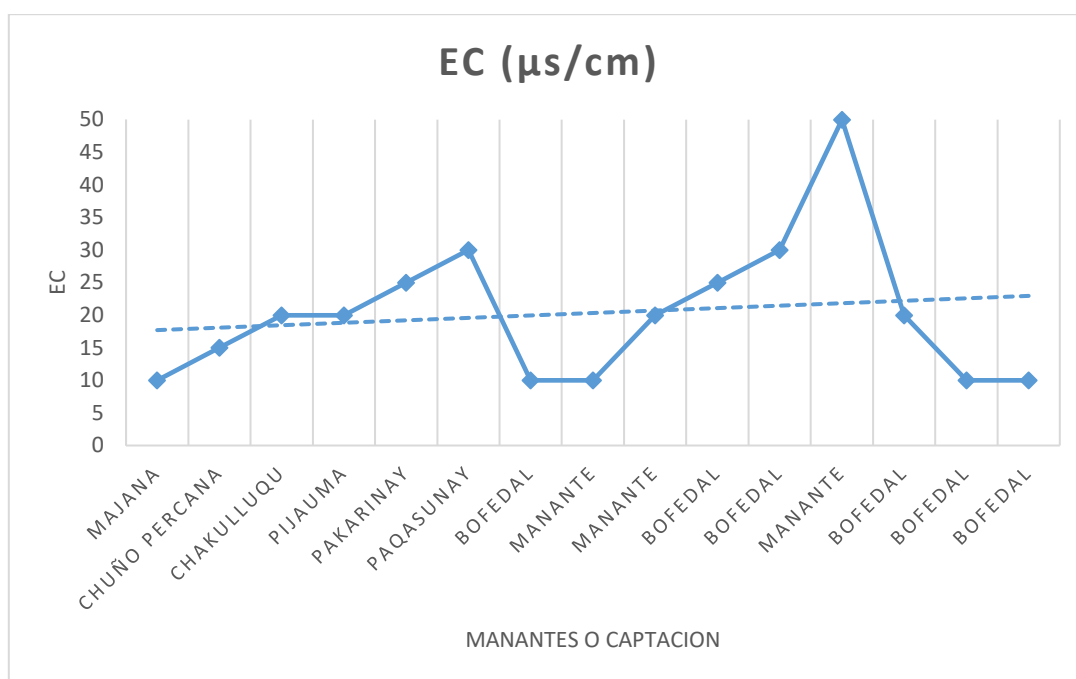
c. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductividad eléctrica (CE) es un parámetro que permite evaluar indirectamente la concentración de sales y iones disueltos presentes en el agua, proporcionando información sobre el grado de mineralización y el tiempo de interacción agua-roca.

Los valores de conductividad eléctrica registrados en los manantiales evaluados varían entre 10 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiendo el valor más alto al manantial **Pijauma** y el valor mínimo al manantial **Majana**. Estos valores evidencian aguas con baja mineralización, asociadas a sistemas de circulación subterránea con limitada concentración de sales disueltas.

De acuerdo con los valores establecidos para la calidad del agua destinada al consumo humano, el límite referencial de conductividad eléctrica es de aproximadamente 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que los valores obtenidos en los manantiales evaluados se encuentran ampliamente por debajo de dicho límite. En consecuencia, este parámetro no representa una restricción para su aprovechamiento, debiendo complementarse su evaluación con los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Figura 79 Diagrama comparativo para conductividad eléctrica



4.8.2. Hidroquímica de los manantiales en el sector de Ullancani

Para determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el sector Ullancani, se realizó el análisis de los principales componentes químicos disueltos presentes en los manantiales evaluados. Se consideraron los iones mayoritarios, incluyendo los cationes calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), así como los aniones bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-),

además de los principales elementos metálicos determinados mediante análisis de laboratorio.

La composición iónica obtenida permitió evaluar la interacción entre el agua y las unidades geológicas presentes en la zona de estudio, así como establecer las características hidroquímicas predominantes mediante la representación e interpretación de diagramas hidroquímicos como Piper, Schoeller-Berkaloff y Stiff.

4.8.3. *Composición de las aguas subterráneas*

La composición química de las aguas subterráneas del sector Ullancani fue determinada a partir de los resultados de los análisis fisicoquímicos y químicos obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Los parámetros evaluados incluyen características fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica, dureza y acidez total, así como la concentración de iones mayoritarios presentes en solución.

Los resultados de laboratorio permitieron identificar la composición iónica de las aguas mediante la evaluación de los principales cationes calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), además de los aniones bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-). Estos componentes constituyen la base para la interpretación hidroquímica del sistema acuífero y la determinación de las facies químicas predominantes.

La información obtenida fue utilizada para la elaboración e interpretación de diagramas hidroquímicos de Piper, Stiff, Schoeller-Berkaloff y SAR, los cuales permiten evaluar la evolución química del agua, la interacción agua-roca y las posibles condiciones de circulación dentro de las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio.

Tabla 61 *Parámetros fisicoquímicos de los manantiales*

NOMBRE	ZONA	X	Y	Z	PH	EC [μS/cm]	Dureza (CaCO3)	Acidez Total (CO2)
MAJANA	18L	793780	8433306	4003	6.5	10	5	1.3
CHUÑO	18L	793813	8433452	3985	7.2	15	5.2	1.6
PERCANA	18L	793975	8433638	3992	7	20	6.9	1.4
CHAKULLUQU	18L	794370	8433426	4046	6.5	20	7.5	1.3
PIJAUMA	18L	794386	8433514	4049	6.8	25	4.59	1.3
PAKARINAY	18L	794466	8433652	4047	7.4	30	5.6	1.6
PAQASUNAY	18L	794602	8433766	4041	7.2	10	6.4	1.1
BOFEDAL 1	18L	794677	8433802	4038	6.9	10	6.9	1.5
MANANTIAL 1	18L	794876	8433916	4041	7.4	20	5.78	1.2
MANANTIAL 2	18L	794957	8433936	4057	7.5	25	6.9	1.7
BOFEDAL 2	18L	795272	8434054	4097	7.1	30	7.2	1.4
BOFEDAL 3	18L	795369	8434076	4105	7.2	50	5.4	1.6
MANANTIAL 3	18L	795389	8434136	4104	7.2	20	7.2	1.2
BOFEDAL 4	18L	795478	8434092	4113	7.1	10	7.6	1.1
BOFEDAL 5	18L	796285	8434026	4088	7.2	10	6.8	1.3
BOFEDAL 6	18L							

Tabla 62 *Concentración de iones mayoritarios*

CATIONES (mg/L)					ANIONES (mg/L)		
K	Na	Ca	Mg	Fe	Cl	SO4	HCO3
3.3	53.26	178.92	6.95	0.13	1.80	2.00	3.10
2.9	42.25	140.52	3.95	0.12	2.70	2.50	11.3
4.23	39.36	199.4	4.6	0.11	2.08	3.20	8.5
3.25	46.65	95.88	11.08	0.15	2.50	2.00	8.1
2.85	35.26	143.16	10.6	0.07	3.35	2.70	3.16
2.98	48.25	120.26	8.6	0.09	2.65	2.90	10.26
3.36	42.65	150.25	6.9	0.04	4.10	2.56	8.6
3.55	39.21	185.65	8.78	0.06	3.10	2.98	3.75
2.21	37.25	144.56	3.48	0.07	4.97	2.78	10.55
3.84	40.89	189.6	4.55	0.09	2.45	2.31	4.58
3.26	35.62	99.56	4.65	0.08	3.30	2.16	5.5
4.21	47.85	138.25	3.7	0.11	3.08	2.45	4.56
2.75	48.45	149.63	7.75	0.12	2.78	2.85	7.98
2.69	39.45	164.5	4.96	0.07	2.40	2.67	3.26
4.15	37.48	180.25	4.25	0.06	2.35	2.34	3.85

Fuente: Cantidad de iones a partir del análisis de laboratorio MC QUIMICALAB

4.8.4. *Análisis de resultados hidroquímicos*

4.8.4.1. *Diagrama de Schoeller Berkloff*

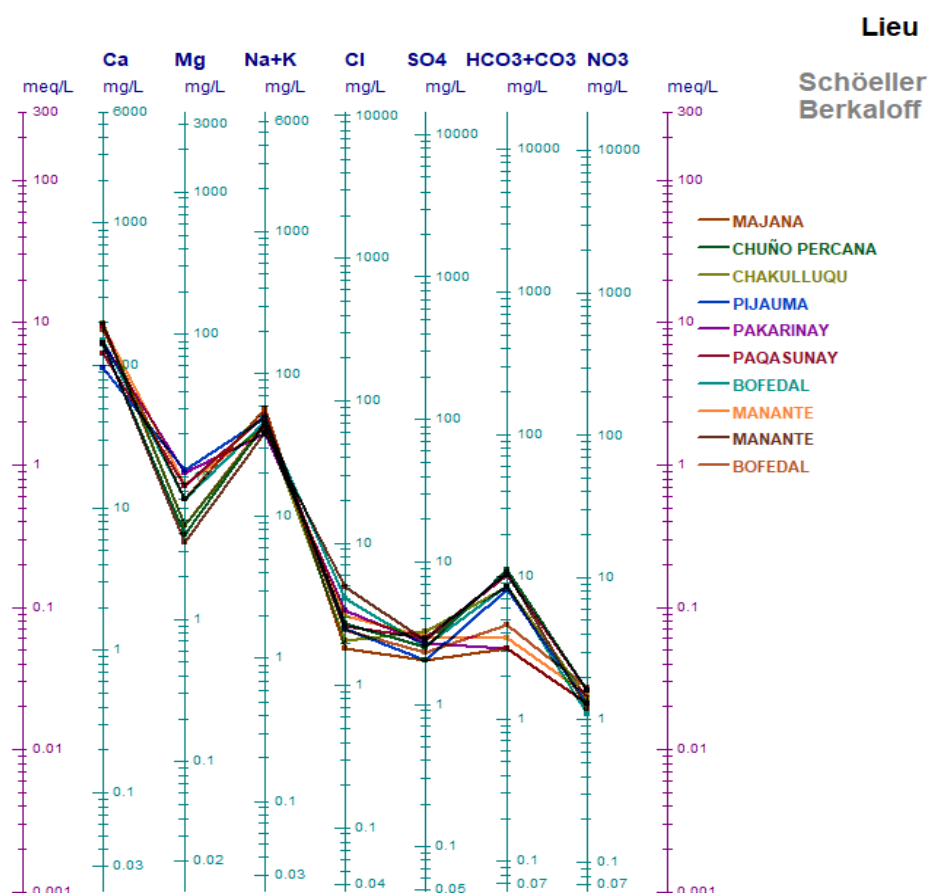
Según la Figura 50, el diagrama de Schoeller-Berkloff evidencia que los manantiales evaluados presentan un comportamiento hidroquímico similar, mostrando tendencias paralelas en la distribución de los principales iones disueltos. Esta característica indica que las muestras presentan condiciones de circulación y evolución química semejantes dentro del sistema hidrogeológico.

Se observa un predominio del **ion calcio (Ca^{2+})** entre los cationes mayoritarios, mientras que el **magnesio (Mg^{2+})** y **la suma de sodio más potasio ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)** presentan concentraciones menores. Entre los aniones destaca la presencia de **bicarbonatos ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$)** como componente predominante, mientras que los **cloruros (Cl^-)** y **sulfatos (SO_4^{2-})** presentan bajas concentraciones.

El comportamiento observado refleja aguas con baja mineralización y una composición química homogénea, asociada principalmente a procesos de interacción agua-roca durante la circulación subterránea. La predominancia de calcio y bicarbonatos estaría relacionada con la influencia de las unidades geológicas presentes en la zona, principalmente materiales carbonatados, areniscas y depósitos cuaternarios.

En general, el diagrama indica que los manantiales corresponden a aguas de evolución química baja, con características predominantes **cálcicas bicarbonatadas**, asociadas a sistemas de recarga local y circulación subterránea corta a intermedia.

Figura 50 Representación de las muestras en el diagrama Schoeller Berkaloff.



4.8.4.2. Diagrama de Piper

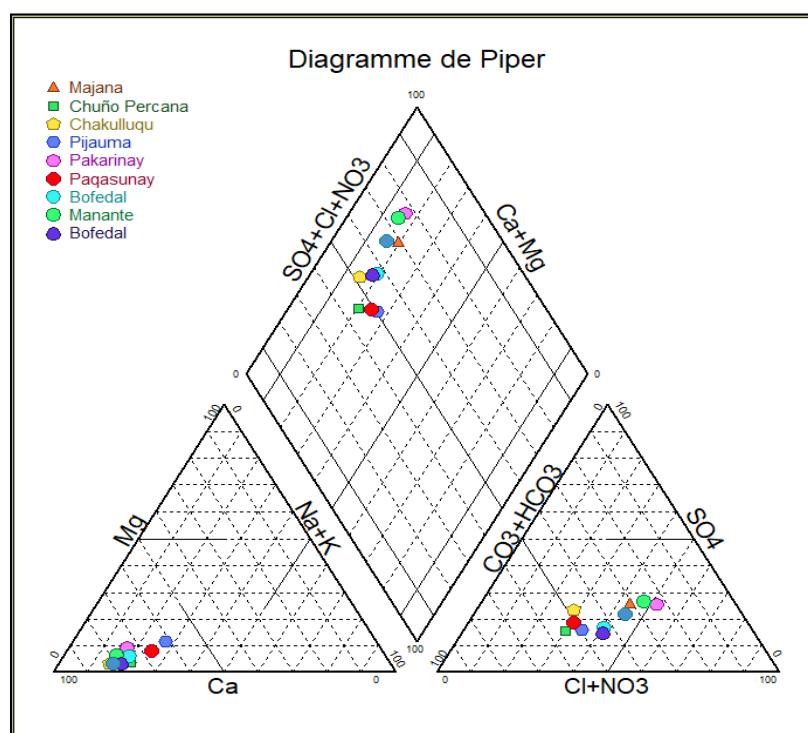
El diagrama de Piper permite representar la composición química del agua mediante la distribución porcentual de los principales cationes y aniones presentes en las muestras analizadas. En la Figura 91 se observa que los manantiales evaluados presentan un comportamiento hidroquímico homogéneo, con una clara predominancia del **calcio** (Ca^{2+}) dentro de los cationes mayoritarios.

En el diagrama de aniones se observa que las muestras presentan mayor afinidad hacia el dominio de **bicarbonatos** ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), mientras que los **sulfatos** (SO_4^{2-}) y **cloruros** (Cl^-) presentan menor influencia en la composición química del agua.

La distribución de las muestras en el rombo central del diagrama clasifica las aguas como de **tipo cálcica bicarbonatada (Ca-HCO₃)**, lo cual indica una influencia predominante de la interacción agua-roca con las unidades geológicas presentes en la zona de estudio, principalmente materiales carbonatados, areniscas y depósitos cuaternarios.

Esta composición corresponde a aguas con baja evolución química, asociadas principalmente a procesos de recarga local y circulación subterránea corta a intermedia dentro del sistema hidrogeológico.

Figura 80 Representación de las muestras en el diagrama de Piper



4.8.4.3. Diagrama de Stiff

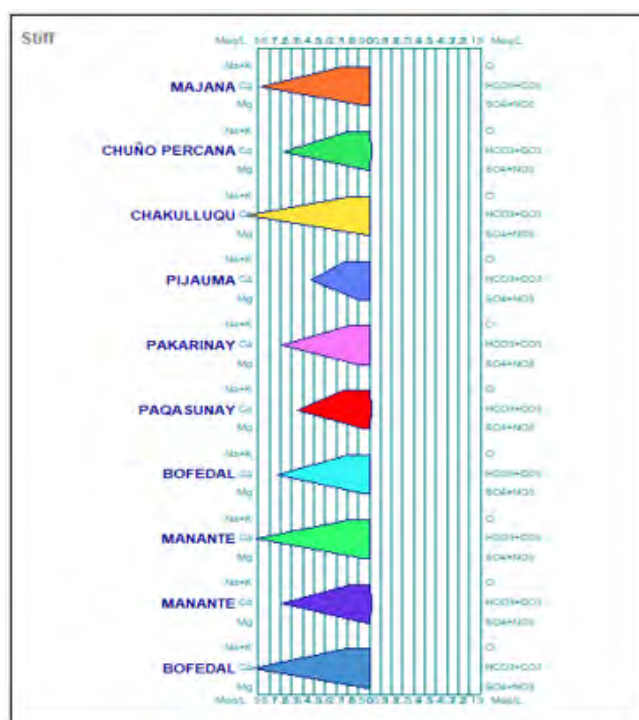
Para la representación de la distribución espacial de los principales iones presentes en las muestras de agua analizadas se empleó el diagrama de Stiff. En la Figura 92 se presentan los diagramas correspondientes a los manantiales evaluados en el sector Ullancani, permitiendo comparar las características químicas entre las diferentes fuentes.

De acuerdo con los diagramas obtenidos, los manantiales presentan patrones similares en su composición iónica, evidenciando una tendencia hidroquímica homogénea dentro del sistema acuífero. Se observa un predominio del **calcio** (Ca^{2+}) como catión principal, mientras que el **magnesio** (Mg^{2+}) y **sodio más potasio** ($\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) presentan menores concentraciones.

Respecto a los aniones, se observa una mayor influencia de los **bicarbonatos** ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-}$), mientras que los contenidos de **cloruros** (Cl^{-}) y **sulfatos** (SO_4^{2-}) son reducidos. Esta distribución confirma que las aguas corresponden principalmente a una facie hidroquímica **cálcica bicarbonatada** (Ca-HCO_3).

La similitud de las geometrías de los diagramas indica que los manantiales presentan un comportamiento hidroquímico relacionado, asociado a procesos de recarga y circulación subterránea dentro de unidades hidrogeológicas con características similares. La composición observada refleja aguas con baja evolución química, influenciadas principalmente por la interacción agua-roca con materiales carbonatados, areniscas y depósitos cuaternarios presentes en la zona de estudio.

Figura 81 Representación de las muestras en el diagrama de Stiff



En síntesis, los diagramas hidroquímicos evidencian que los manantiales evaluados presentan una composición química homogénea, con predominancia de **aguas del tipo cálcicas bicarbonatadas (Ca-HCO₃)**. La baja presencia de sulfatos y cloruros indica aguas con poca evolución química, asociadas principalmente a procesos de recarga local y circulación subterránea corta a intermedia dentro del sistema acuífero.

4.9. Análisis ambiental

El área de estudio no presenta actividades mineras u otras fuentes industriales que puedan representar una alteración directa del sistema hidrogeológico; sin embargo, las principales actividades económicas desarrolladas corresponden a la **agricultura y ganadería**, las cuales pueden constituir fuentes potenciales de impacto sobre la calidad y disponibilidad del recurso hídrico subterráneo.

En las actividades agrícolas, el uso de fertilizantes como la urea y otros productos agroquímicos puede generar procesos de infiltración de compuestos nitrogenados hacia el subsuelo,

Asimismo, Valencia y Almanza reconocieron especialmente en zonas con alta permeabilidad o conectividad de fracturas, pudiendo modificar las características fisicoquímicas del agua subterránea. Por ello, se recomienda promover prácticas agrícolas adecuadas, considerando la dosificación controlada de fertilizantes y el manejo eficiente del agua de riego.

Asimismo, la actividad ganadera requiere medidas de manejo relacionadas con la disposición adecuada de residuos orgánicos y la protección de áreas cercanas a manantes y zonas de recarga, con la finalidad de evitar posibles alteraciones microbiológicas del recurso hídrico.

En este sentido, el aprovechamiento futuro del acuífero deberá considerar acciones de protección ambiental orientadas a conservar las zonas de recarga, mantener la calidad del agua y garantizar la sostenibilidad del sistema hidrogeológico del sector Ullancani.

CAPÍTULO V. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. Discusión para el objetivo 1:

Caracterizar las condiciones geológicas que controlan la formación y almacenamiento de los acuíferos en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuahuacho – Cotabambas - Apurímac, 2025.

Los resultados obtenidos en el sector Ullancani evidencian que las condiciones geológicas tienen una influencia directa en la formación, almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas, debido a la presencia de unidades litológicas con diferentes condiciones de permeabilidad. Las areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani del Grupo Yura, las calizas fracturadas de la Formación Arcurquina, las areniscas fracturadas y los depósitos morrénicos constituyen las principales unidades favorables para el desarrollo de acuíferos, mientras que las unidades volcanosedimentarias, areniscas Murco y depósitos aluviales presentan menor capacidad hidrogeológica.

Esto coincide con Chibani et al. (2025), quienes determinaron que las estructuras geológicas como fracturas, cortes geológicos y discontinuidades litoestratigráficas controlan la recarga y almacenamiento de acuíferos desarrollados en formaciones carbonatadas.

De manera similar, Gouasmia et al. (2021) identificaron que los acuíferos carbonatados fracturados presentan capacidad de almacenamiento y transmisión de agua debido a procesos de fracturación y disolución kárstica.

que los depósitos cuaternarios y unidades sedimentarias permeables constituyen acuíferos con capacidad de almacenamiento y transmisión hidráulica, mientras que unidades de baja permeabilidad actúan como acuitardos.

En el sector Ullancani, la presencia de sistemas de fracturamiento asociados a la deformación tectónica regional constituye un factor determinante en la generación de permeabilidad secundaria, permitiendo la circulación del agua subterránea en sectores donde

las discontinuidades presentan mayor apertura y conectividad. Esta condición explica la presencia de acuíferos fisurados y kársticos dentro del área evaluada.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis específica planteada, debido a que las características litológicas y estructurales identificadas favorecen la circulación y almacenamiento del agua subterránea en sectores con condiciones hidrogeológicas favorables.

5.2. Discusión para el objetivo 2:

Determinar las características y distribución de los acuíferos mediante prospección geofísica en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuanhuacho – Cotabambas -Apuímac, 2025.

Los resultados obtenidos mediante la ejecución de siete Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), aplicando el método Schlumberger, permitieron determinar la distribución de las unidades acuíferas en el sector Ullancani, identificando contrastes geoelectricos asociados a variaciones litológicas y condiciones de saturación del subsuelo. La interpretación de las secciones geoelectricas permitió reconocer zonas con características favorables para la presencia de agua subterránea, principalmente relacionadas con unidades fracturadas y materiales permeables, en concordancia con las unidades hidrogeológicas identificadas en superficie.

La presencia de zonas con menores valores de resistividad fue interpretada como sectores asociados a mayor contenido de humedad y posible circulación de agua subterránea, especialmente en zonas donde existe correspondencia con fracturas, contactos litológicos y unidades con mayor permeabilidad. En este sentido, los resultados evidencian que las areniscas fracturadas de la Formación Hualhuani y las calizas fracturadas presentan condiciones favorables para el desarrollo de acuíferos fisurados y kársticos, mientras que los depósitos cuaternarios presentan condiciones adecuadas de almacenamiento debido a su permeabilidad

primaria. Asimismo, la correlación entre las anomalías geoelectricas y la ubicación de manantes, como el manante Majana, permitió validar la relación entre las zonas identificadas mediante prospección y la descarga natural del sistema acuifero.

Estos resultados presentan similitud con lo reportado por Huamán y Melgarejo (2024), quienes mediante la aplicación del método Schlumberger lograron identificar unidades saturadas y establecer la distribución de acuíferos a partir de contrastes de resistividad eléctrica, demostrando la utilidad de la prospección geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica. De igual manera, Nemer et al. (2023) señalan que la integración de métodos geofísicos con información geológica e hidrogeológica permite mejorar la interpretación de la geometría del acuífero y determinar sectores con mayor potencial para el aprovechamiento del agua subterránea.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis específica planteada, debido a que la prospección geofísica permitió identificar la distribución de unidades acuíferas con características favorables de ubicación y condiciones hidrogeológicas para el aprovechamiento sostenible de aguas subterráneas en el sector Ullancani.

5.3. Discusión para el objetivo 3:

Determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuhauacho – Cotabambas -Apurímac, 2025.

Los resultados hidroquímicos obtenidos en los manantiales del sector Ullancani permitieron determinar que las aguas subterráneas presentan características fisicoquímicas favorables, con valores de pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales dentro de condiciones adecuadas para su aprovechamiento. La evaluación mediante los diagramas hidroquímicos de Schoeller, Piper y Stiff permitió identificar una composición predominante de facies cálcicas bicarbonatadas (Ca-HCO_3), evidenciando una baja evolución química del agua subterránea.

La predominancia de calcio y bicarbonatos se relaciona con la interacción del agua con las unidades geológicas presentes en el área, principalmente calizas fracturadas, areniscas y depósitos cuaternarios, donde los procesos de disolución mineral y circulación subterránea controlan la composición química del agua. Asimismo, la ausencia de facies altamente cloruradas indica que no existe una evolución química prolongada asociada a aguas de circulación profunda, predominando procesos de recarga local y tránsito corto a intermedio dentro del sistema acuífero.

Estos resultados coinciden con Gouasmia et al. (2021), quienes señalan que la composición hidroquímica de los acuíferos carbonatados está controlada principalmente por la interacción agua-roca, donde los procesos de disolución de minerales carbonatados generan facies dominadas por calcio y bicarbonatos.

De manera similar, Chibani et al. (2025) identificaron que los acuíferos kársticos presentan variaciones hidroquímicas asociadas a las condiciones de recarga y al contacto del agua con materiales geológicos carbonatados.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis específica planteada, debido a que la composición hidroquímica de las aguas subterráneas del sector Ullancani está condicionada por la interacción agua-roca y las características del medio geológico, presentando una predominancia de aguas cálcicas bicarbonatadas asociadas a procesos de circulación local a intermedia.

CONCLUSIONES

1. La evaluación de las características hidrogeológicas del sector Ullancani permitió determinar que el sistema acuífero presenta **condiciones favorables** para una futura explotación sostenible de aguas subterráneas. El área está conformada por acuíferos asociados a medios fracturados, kársticos y porosos, desarrollados principalmente en **areniscas fracturadas, calizas fracturadas y depósitos morrénicos**; mientras que las unidades volcanosedimentarias, areniscas Murco y depósitos aluviales presentan baja importancia hidrogeológica. La disponibilidad hídrica evidenció caudales de **14.65 L/s en época seca y 51.58 L/s en época húmeda**, clasificando el sistema como de productividad regular según Meinzer (1927), con variación en el rendimiento individual de los manantiales. El balance hídrico presentó una diferencia de **-0.003 m³/s**, indicando que las descargas podrían estar asociadas a zonas de recarga con mayor extensión o al almacenamiento temporal del sistema acuífero. Asimismo, las aguas presentan baja mineralización y predominancia de facies **cálcicas bicarbonatadas (Ca-HCO₃)**, relacionadas con procesos de interacción agua-roca y circulación corta a intermedia. En conjunto, el sistema hidrogeológico presenta condiciones geológicas, hidráulicas e hidroquímicas favorables para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo mediante la adecuada gestión y conservación de las zonas de recarga.

2. La caracterización geológica del sector Ullancani permitió determinar que las condiciones **litológicas y estructurales controlan la formación, almacenamiento y circulación del agua subterránea**. Las areniscas fracturadas de la Formación Hualhuani del Grupo Yura, las calizas de la Formación Arcurquina, las areniscas fracturadas y los depósitos morrénicos presentan condiciones favorables debido a su permeabilidad, fracturamiento, karstificación y presencia de espacios intergranulares. Asimismo, el análisis estructural evidenció que el fracturamiento y la variabilidad de la calidad del macizo rocoso favorecen el

desarrollo de permeabilidad secundaria, permitiendo la circulación del agua subterránea en sectores con condiciones litológicas y estructurales favorables. En contraste, las unidades volcanosedimentarias del Complejo Vilcarani, areniscas Murco y depósitos aluviales presentan baja importancia hidrogeológica por sus limitadas condiciones de transmisión hidráulica.

3. La prospección geofísica mediante siete Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), aplicando el método Schlumberger, permitió identificar variaciones geoelectricas relacionadas con la distribución de las unidades acuíferas del sector Ullancani. Los resultados **evidenciaron zonas con condiciones favorables de saturación y circulación de agua subterránea** asociadas principalmente a materiales fracturados y depósitos permeables, en concordancia con las características geológicas del área. La integración de la información geofísica, geológica e hidrogeológica permitió reconocer la presencia de acuíferos fisurados, kársticos y porosos, identificando sectores con potencial para el aprovechamiento de aguas subterráneas. Asimismo, la correlación entre las anomalías geoelectricas y la ubicación de manantes, como Majana, permitió validar la presencia de zonas de circulación preferencial dentro del sistema acuífero.

4. La caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas del sector Ullancani permitió determinar que los manantiales presentan características fisicoquímicas adecuadas, asociadas a aguas de baja mineralización y condiciones neutras a ligeramente alcalinas. La interpretación de los diagramas hidroquímicos de Schoeller, Piper y Stiff evidenció una composición predominante de tipo **cálcica bicarbonatada (Ca-HCO₃)**, donde el calcio y los bicarbonatos representan los principales componentes químicos del sistema. Estas características reflejan la interacción del agua con las unidades geológicas presentes, principalmente materiales carbonatados, areniscas y depósitos cuaternarios, indicando procesos de recarga local y circulación subterránea corta a intermedia.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios complementarios de detalle para la implementación de futuras obras de captación de aguas subterráneas, considerando la distribución de los acuíferos identificados, principalmente en las unidades asociadas a areniscas fracturadas, calizas kársticas y depósitos morrénicos, debido a sus mejores condiciones de permeabilidad y almacenamiento.
2. Implementar un programa de monitoreo hidrogeológico periódico de los principales manantes del sector Ullancani, considerando mediciones de caudal en época seca y húmeda, niveles piezométricos (en caso de futuras captaciones) y parámetros fisicoquímicos, con la finalidad de evaluar la variabilidad del sistema acuífero y garantizar su aprovechamiento sostenible.
3. Complementar la investigación mediante estudios geofísicos y perforaciones exploratorias en los sectores donde los resultados de SEV evidenciaron condiciones favorables de saturación, con el propósito de confirmar la continuidad, espesor y capacidad productiva de los acuíferos antes de desarrollar infraestructura de explotación.
4. Se recomienda que el presente trabajo sea considerado como un estudio a nivel de prefactibilidad, orientado a evaluar alternativas de solución para atender la demanda hídrica futura mediante la posibilidad de realizar un trasvase de cuencas. Asimismo, se sugiere continuar con estudios complementarios que permitan determinar la viabilidad de dicha alternativa, con la finalidad de cubrir las necesidades de la población y contribuir al mejoramiento de su calidad de vida.
5. Considerando la disponibilidad hídrica potencial identificada en el balance hidrogeológico, se recomienda promover el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo para atender las necesidades de la población y actividades productivas de la zona, priorizando el abastecimiento para consumo humano y evaluando su uso complementario en

actividades agrícolas mediante sistemas de riego tecnificado y controlado. Asimismo, se recomienda implementar mecanismos de medición y control del recurso hídrico (hidrometría), con la finalidad de garantizar un uso eficiente del agua, evitar la sobreexplotación del acuífero y asegurar su disponibilidad para las futuras generaciones.

6. Se recomienda evaluar la implementación de sistemas de hidroponía como alternativa para optimizar el uso del recurso hídrico destinado a la producción agrícola. Priorizar sistemas hidropónicos de circuito cerrado incorporando medidas de control del caudal, recuperación y recirculación del agua.

REFERENCIAS

- Álvarez Manilla Aceves, A. (2003). *Geofísica aplicada en los proyectos básicos de ingeniería civil* (Publicación Técnica N.º 229). Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Bureau of Reclamation. (2001). *Diseño de pequeñas presas* (E. Martínez Marín, P. Batanero Akerman, E. Martínez Olmos, & M. González Ordoñez, Trans.). Mundi-Prensa. (Obra original publicada en 1987)
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. Cengage Learning.
- Chibani, A., Hadji, R., Hamed, Y., et al. (2025). Caracterización hidrogeológica del sistema acuífero multicapa en la región fronteriza entre Túnez y Argelia mediante técnicas geológicas y geofísicas. *Earth Systems and Environment*, 9, 1165–1190.
- Chongqing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., Ltd. (s.f.). *DUK-2A multi-electrode resistivity survey system: Operations manual*. China.
- Collazo Caraballo, M., & Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de agua subterránea*. Denad Internacional S.A.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (Tomo I). Ediciones Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). *Hidrología subterránea* (Tomo II). Ediciones Omega.
- Cutipa, W. (2014). *Estudio hidrogeológico de la parte alta de la cuenca del río Ilo-Moquegua* (Tesis de pregrado). Cusco.
- David, S., & Wiest, R. (1971). *Hidrogeología*. Barcelona.
- De Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.
- Del Valle Toledo, E. (1992). *Introducción a los métodos geofísicos de exploración*. UNAM.

- EY. (2021). *Inteligencia artificial (IA): Una nueva oportunidad para el sector de construcción*. España.
- Flores, R., Vassilev, H., & Li Liu, X. (2001). *Geotecnia en ingeniería de presas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Freeze, R. A., y Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
- Gassulla, M. (1999). *Obtención de imágenes de la distribución de impedancias eléctricas del subsuelo: Aplicación a la detección de objetos locales* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Geogiga Technology Corp. (2011). *Geogiga RTomo 5.01 user guide*. China.
- Golden Software. (2015). *Voxler® 4: 3D well & volumetric data visualization*. Colorado.
- Gouasmia, M., Dhahri, F., Abdelkader, M., et al. (2021). Estudio hidrogeológico integrado de un sistema acuífero controlado tectónicamente. *Journal of Earth System Science*, 130(221).
- Gouasmia, M., Khorchani, H., Mhamdi, A., et al. (2018). Caracterización hidrogeológica de un acuífero carbonatado. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 786.
- Hayashi, K., & Suzuki, H. (2004). CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data. *Exploration Geophysics*, 35(1), 7–13.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Huaire Ignacio, E. J., et al. (2022). *El arte de dominar el método científico*. Casa Editorial Analéctica.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (1995). *Geología de los cuadrángulos Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro*. Lima.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), & Marocco, R. (1975). *Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas* (Boletín N.º 27). Lima.

- Meinzer, O. E. (1927). *Large springs in the United States*. U.S. Geological Survey.
- Ministerio de Vivienda. (2016). *Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente*. Lima.
- Ministerio de Salud (MINSA). (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. Lima.
- Nemer, Z., Khaldouy, F., Benaissa, Z., et al. (2023). Investigación hidrogeofísica de acuíferos. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 9(60).
- Orellana, E. (1972). *Prospección geoeléctrica en corriente continua*. Paraninfo.
- Orellana Silva, E. (1982). *Prospección geoeléctrica en corriente continua (Parte I)*. México.
- Ortuño, P. (2025). *Caracterización hidrogeológica de acuíferos del altiplano boliviano* (Tesis de maestría). Universidad de Alcalá.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda.
- Proyecto Multinacional Andino. (2007). *Movimientos en masa en la región andina*. Canadá.
- Pulido Bosch, A. (2014). *Principios de hidrogeología kárstica*. Universidad de Almería.
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología general*. Lima.
- Rojas Calmels, R. C. (2025). *Caracterización hidrogeológica...* (Tesis doctoral). Universidad de Concepción.
- Rojas, M. (2015). Tipos de investigación científica. *Revista Electrónica de Veterinaria*.
- Scholz, L. (1980). *Generación de caudales mensuales en la sierra peruana*. Plan MERIS II.
- Suárez, L. M. (1982). *Ingeniería de presas*. Ediciones Vega.
- Supper, R., et al. (2009). Spatial mapping of submerged cave systems.
- Vargas, R., et al. (2025). Caracterización hidrogeológica. *Revista Geológica de América Central*, 72.

Villon Béjar, M. (s.f.). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas*. CATIE.

Zúñiga Lara, R. (2012). *Detección de zonas de riesgo...* UNAM.

ANEXO

Figura 82 Caracterización del macizo rocoso E01

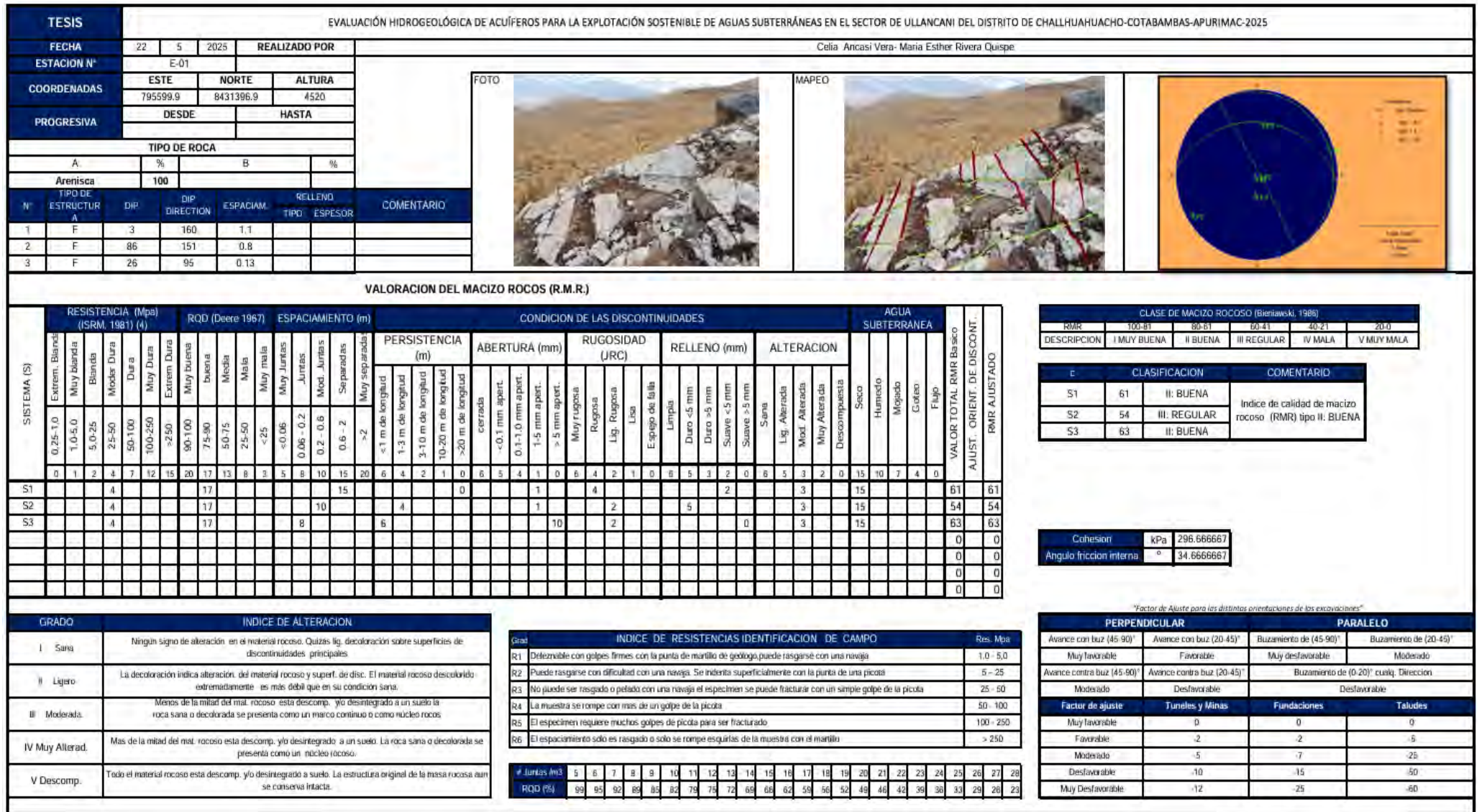


Figura 83 *Caracterización del macizo rocoso E02*

[illegible]

Figura 84 *Caracterización del macizo rocoso E03*

[illegible]

Figura 85 *Caracterización del macizo rocoso E04*

[illegible]

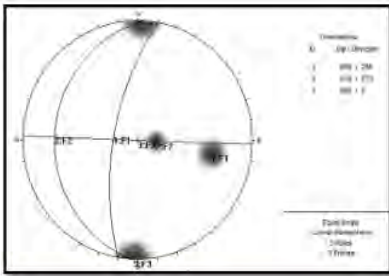
Figura 86 *Caracterización del macizo rocoso E05*

TESIS:		EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE ACUÍFEROS PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SECTOR DE ULLANCANI DEL DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO-COTABAMBAS-APURIMAC-2025																			
FECHA	22	5	2025	REALIZADO POR	Celia Ancasi Vera- Maria Esther Rivera Quispe																
ESTACION N°	E-05																				
COORDENADAS	ESTE		NORTE		ALTURA																
	797416		8434308		4174																
PROGRESIVA	DESDE			HASTA																	
TIPO DE ROCA																					
A		%		B		%															
Caliza		100																			
N°	TIPO DE ESTRUCTURA A	DIP	DIP DIRECTION	ESPACIAM.	RELLENO TIPO	ESPESOR	COMENTARIO														
1	F	66	10	0.45																	
2	F	18	3	0.3																	
3	F	90	92	0.31																	

FOTO







VALORACION DEL MACIZO ROCOS (R.M.R.)																																																		
SISTEMA (S)	RESISTENCIA (Mpa) (ISRM, 1981) (4)						RQD (Deere 1967)		ESPACIAMIENTO (m)		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES														ACUA SUBTERRANEA					VALOR TOTAL RMR BASICO	AJUST. DE DISCONT.	RMR AJUSTADO																		
	Extrem. Blanda	Muy Blanda	Blanda	Moder. Dura	Dura	Extrem. Dura	Muy buena	buena	Medio	Mala	Muy mala	Muy Juntas	Juntas	Mod. Juntas	Separadas	Muy separadas	PERSISTENCIA (m)				ABERTURA (mm)				RUGOSIDAD (JRC)				RELLENO (mm)				ALTERACION																	
																	<1 m de longitud	1-3 m de longitud	3-10 m de longitud	10-20 m de longitud	>20 m de longitud	<0.1 mm apert. cerrada	0.1-1.0 mm apert.	1-5 mm apert.	> 5 mm apert.	Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa				Espejo de falla	Limpia	Duro <5 mm	Duro >5 mm	Suave <5 mm	Suave >5 mm	Sana	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Humedo	Magado	Gotoso	Flujo		
																																																	0	1
S1	0	1	2	4	7	12	15	20	17	13	8	3	5	8	10	15	20	6	4	2	1	0	6	5	4	1	0	6	5	4	3	2	1	0	6	5	4	3	2	1	0	15	10	7	4	0	46	46		
S2				4							8				10			6									0	6																					46	46
S3				4							8				10																																50	50		
																																																	0	0
																																																	0	0
																																																	0	0
																																																	0	0

CLASE DE MACIZO ROCOSO (Bieniowski, 1986)				
RMR	10-20	20-30	30-40	40-50
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA

SIST	CLASIFICACION	COMENTARIO
S1	46	III: REGULAR
S2	46	III: REGULAR
S3	50	III: REGULAR

Cohesion	kPa	236.666667
Angulo friccion interna	°	28.6666667

Factor de Ajuste para las distintas orientaciones de las excavaciones"

PERPENDICULAR		PARALELO	
Avance con buz (45-90)°	Avance con buz (20-45)°	Buzamiento de (45-90)°	Buzamiento de (20-45)°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Avance contra buz (45-90)°	Avance contra buz (20-45)°	Buzamiento de (0-20)° cualq. Direccion	
Moderado	Desfavorable	Desfavorable	
Factor de ajuste	Tuneles y Minas	Fundaciones	Taludes
Muy favorable	0	0	0
Favorable	-2	-2	5
Moderado	-5	-7	-25
Desfavorable	-10	-15	-50
Muy Desfavorable	-12	-25	-60

Tabla 63 *Matriz de consistencia*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Parámetros	Técnica	Método	Instrumento	Metodología
General ¿Cuáles son las características hidrogeológicas de los acuíferos que determinan la viabilidad de la explotación sostenible de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025? Específicos ¿Cuáles son las características geológicas que condicionan la formación y almacenamiento de los acuíferos en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025? ¿Cuáles son las características y distribución de los acuíferos identificados mediante prospección geofísica que permiten determinar su potencial para la explotación de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025? ¿Cuáles son las características hidroquímicas de las aguas subterráneas y su aptitud para la explotación sostenible en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025?	General Determinar las características hidrogeológicas de los acuíferos para evaluar la viabilidad de la explotación sostenible de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025. Específicos Caracterizar las condiciones geológicas que controlan la formación y almacenamiento de los acuíferos en el sector de Ullancani del Distrito de Challhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025. Determinar las características y distribución de los acuíferos mediante prospección geofísica en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025. ➤ Determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el sector de Ullancani del Distrito de Chalhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025.	General Las características hidrogeológicas de los acuíferos del sector de Ullancani presentan condiciones favorables que permiten una explotación sostenible de aguas subterráneas. Específicos Las características geológicas favorecen la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho – Cotabambas -Apurímac, 2025. Los acuíferos identificados mediante prospección geofísica presentan características favorables de distribución y profundidad para el aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025. La composición hidroquímica de las aguas subterráneas está condicionada por la interacción agua-roca, presentando predominancia de iones mayoritarios característicos del medio geológico del sector de Ullancani del distrito de Challhuahuacho-Cotabambas-Apurímac, 2025.	Evaluación hidrogeológica	Geomorfología Geología Hidrología Hidrogeología Prospección geofísica	Pendiente Fisiografía Litología Formas estructurales Calidad de la roca Precipitación Temperatura Humedad Caudal Balance hídrico Permeabilidad Porosidad Hidroquímica Resistividad eléctrica de los materiales	Observación Datos SENAMHI Flotador Datos SENAMH I Aforos SEV	Observación Datos SENAMH I Aforos Resistivímetro	Ficha de registro, Mapeos 	Tipo investigación No experimental Nivel Descriptivo Diseño de la investigación descriptivo de enfoque cuantitativo

