

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES
FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA
COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO 2023**

PRESENTADO POR:

Br. DAHIZE LIDIA MOYNA MENDOZA

Br. YANETH MAYUME HUAMANI

MENDIGURE

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

ASESOR:

DR. RONALD LUIS LÓPEZ ZAPANA

**FINANCIADO POR: YACHAYNINCHIS
WIÑARINANPAQ – UNSAAC**

CUSCO-PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** **RONALD LUIS LÓPEZ ZAPANA**
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: **EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR**
..... **POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA,**
..... **PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO 2023**

Presentado por: **YANETH MAYUME HUAMANI MENDIGURE** DNI N° **73624036**;
presentado por: **DAHIZE LIDIA MOYNA MENDOZA** DNI N°: **73615341**
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 **3** %.

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.	<input checked="" type="checkbox"/>
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, **20** de **DICIEMBRE** de **2025**

Firma

Post firma **RONALD LÓPEZ ZAPANA**

Nro. de DNI **23923900**

ORCID del Asesor **0000-0003-0148-6535**

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: **27259:542388312**

Tesis Hidrogeología_MAYUME_DAHIZE_VF.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:542388312

277 páginas

Fecha de entrega

20 dic 2025, 8:13 a.m. GMT-5

72.836 palabras

Fecha de descarga

20 dic 2025, 9:38 a.m. GMT-5

425.052 caracteres

Nombre del archivo

Tesis Hidrogeología_MAYUME_DAHIZE_VF.pdf

Tamaño del archivo

21.4 MB

3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- | | |
|----|---|
| 3% |  Fuentes de Internet |
| 1% |  Publicaciones |
| 2% |  Trabajos entregados (trabajos del estudiante) |

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
46 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
66 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

A mis padres, quienes se han esforzado por lograr solventar mis estudios. Para mi mamita Presentación por ser ejemplo constante de que siempre se puede alcanzar lo que se quiere, solo depende de nuestra determinación. A mi papito Albino quien fue mi ejemplo desde pequeña, me enseñó que con constancia, disciplina y paciencia se pueden aprender muchas cosas.

A mis hermanos Anabel, Anthony y Nuria por su apoyo incondicional, por motivarme en momentos que sentía no poder avanzar; quiero ser ejemplo de que cada uno de nosotros podemos cumplir nuestros objetivos.

A mis abuelitos, tíos y primos más cercanos por acompañarme durante mi etapa universitaria apoyándome moralmente.

A mis amigos de la universidad, siempre he creído tener buena suerte, tanta que me tocaron ustedes como compañeros para poder terminar esta etapa, me llevo gratos recuerdos.

Huamani Mendigure Yaneth Mayume

Dedicatoria

A mi papá, me enseñaste que el amor no siempre necesita palabras, que basta con estar, con dar el ejemplo y con creer incluso cuando una misma no lo hace. Gracias por acompañarme en cada paso, por esas noches de estudio, por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo. Este logro es también tuyo, porque lo sembraste conmigo desde el inicio.

A mis abuelitos, Fortunato y Lidia, mis segundos padres, quienes me guiaron y celebraron cada uno de mis logros como suyos. Me criaron con amor, paciencia y sabiduría. Aunque ya no estén físicamente, viven en cada meta que alcancé. Gracias hasta el cielo, mi Ñatito y mi Lidia.

A mi mamá, porque los vínculos también se reconstruyen. A veces basta con un empujón en el momento justo para saber que hay amor. Gracias por ese interés en que logré cerrar este ciclo. A Francis, mi compañero de vida. Gracias por ser mi lugar seguro, por tu amor paciente y constante. Has sido mi apoyo incondicional a lo largo de este tiempo.

A cada uno de ustedes, con amor profundo y gratitud eterna.

Moyna Mendoza Dahize Lidia

Agradecimiento

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por acogernos durante nuestra formación profesional y brindarnos una base en nuestra carrera. A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por ser nuestro espacio de crecimiento académico y personal a lo largo de estos años.

Agradecemos especialmente al Vicerrectorado de Investigación (VRIN) y al Programa de Fortalecimiento de la Investigación “Yachayninchis Wiñarinanpaq”, por el financiamiento y respaldo otorgado a esta tesis, el cual ha sido fundamental para su realización.

Extendemos nuestro reconocimiento al ingeniero Ronald López, asesor de esta investigación, por su guía constante, exigencia académica y compromiso, que nos motivó a culminar este trabajo con responsabilidad y dedicación.

De igual forma, agradecemos al ingeniero Ronald Zavaleta por su apoyo y valiosas contribuciones técnicas durante la elaboración de este estudio.

A nuestros compañeros del código 2015-II, por todas las experiencias compartidas y el compañerismo a lo largo de nuestra etapa universitaria.

Finalmente, a todas las personas que de manera directa o indirecta aportaron a la culminación de este trabajo, nuestro más sincero agradecimiento.

Dahize Lidia Moyna Mendoza y

Yaneth Mayume Huamani Mendigure.

Introducción

El agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento en zonas altoandinas, donde la variabilidad climática y la escasez de recursos hídricos superficiales generan limitaciones para el consumo humano, agrícola y pecuario. En la comunidad de Huisa Collana, ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, la demanda de agua se ha incrementado en los últimos años, mientras que los manantiales y cursos superficiales presentan una marcada estacionalidad, siendo insuficientes durante los períodos de estiaje. Esta situación plantea la necesidad de evaluar de manera integral el potencial hidrogeológico de la zona, con el fin de identificar acuíferos que permitan un aprovechamiento sostenible del recurso.

El área de estudio se ubica dentro de la microcuenca de Ccoloyo, caracterizada por un relieve heterogéneo compuesto por colinas intrusivas y sedimentarias, mesetas erosionadas y planicies fluviales y aluviales. Esta configuración geomorfológica, junto con las pendientes moderadas a altas y la influencia estructural, condiciona una respuesta hidrológica rápida y una alta susceptibilidad a procesos erosivos y crecidas súbitas. La comprensión de estos aspectos es esencial para establecer la dinámica hídrica local y su relación con los sistemas subterráneos.

Geológicamente, la zona está conformada por unidades del Mesozoico y Cenozoico, entre las que destacan la Formación Arcurquina, el Grupo Maure, la Unidad Choquechambe y depósitos cuaternarios recientes. Estas unidades presentan variaciones litológicas y estructurales que definen acuíferos de tipo fisurado y poroso, así como niveles de baja permeabilidad que actúan como acuitardos. El control tectónico, expresado en fallas y fracturas, favorece la circulación del agua subterránea y la alineación de manantiales, constituyéndose en un factor determinante para la evaluación hidrogeológica.

La caracterización hidrogeológica e hidroquímica es fundamental para comprender la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Estudios preliminares sugieren la presencia de aguas predominantemente bicarbonatadas cárnicas, asociadas a procesos de recarga local, con variaciones estacionales y posibles influencias antrópicas relacionadas con actividades mineras. Este análisis, complementado con métodos geofísicos como la Tomografía Eléctrica (TME), permite identificar zonas de recarga, extensión de acuíferos y riesgos asociados a la vulnerabilidad hidrogeológica.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo realizar una evaluación hidrogeológica integral en la comunidad de Huisa Collana, a fin de determinar las potenciales fuentes de agua subterránea para el abastecimiento comunal. Los resultados permitirán ubicar con mayor precisión las zonas más favorables, entre las cuales destacan los depósitos cuaternarios de la quebrada Ccoloyo, ubicados en el centro de la microcuenca, donde las características litológicas y estructurales evidencian condiciones favorables para el almacenamiento y circulación del agua subterránea. Para ello, se desarrollaron actividades de recopilación bibliográfica, caracterización hidrogeológica e hidroquímica, levantamiento geofísico mediante TME y análisis de gabinete, integrando toda la información en un modelo conceptual que sirva de base para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la zona.

Resumen

En la comunidad campesina de Huisa Collana, provincia de Espinar (Cusco), la escasez de agua limita el consumo humano y las actividades productivas, problemática agravada por la disminución progresiva de caudales en los manantiales. Ante este escenario, la investigación evaluó la hidrogeología como alternativa técnica para identificar acuíferos y garantizar un abastecimiento sostenible de agua subterránea. El estudio tuvo un enfoque mixto y un diseño no experimental de tipo evolutivo, con recolección de información en temporadas de lluvia y estiaje.

La metodología se desarrolló en tres etapas: recopilación de información geológica y cartográfica, trabajos de campo con mapeo hidrogeológico, inventario de 15 fuentes, muestreo de agua y ejecución de 8 perfiles de Tomografía Eléctrica (TME), y análisis en gabinete mediante interpretación geológica, hidroquímica y geofísica. El objetivo general fue determinar las fuentes potenciales de agua subterránea en la comunidad.

Los resultados indican que la microcuenca Ccoloyo presenta una morfología oblongo-alargada, pendientes promedio de 12.8 % y alta susceptibilidad a crecidas. Se identificaron acuíferos en la Formación Arcurquina, la unidad Choquechambe y depósitos cuaternarios, con permeabilidades variables, siendo mayores en zonas fracturadas. La calidad del agua es predominantemente bicarbonatada cálcica en época de lluvias y clorurada cálcica en estiaje, con excedencias de F^- , Co y Hg respecto a los ECA. Las zonas más favorables para la captación se localizan en la quebrada Ccoloyo, donde las condiciones geológicas y geofísicas son óptimas.

Palabras clave: Evaluación hidrogeológica, Agua subterránea, Huisa Collana, Espinar.

Abstract

In the peasant community of Huisa Collana, located in the province of Espinar (Cusco), water scarcity limits human consumption and productive activities, a situation worsened by the progressive decrease in spring discharge. In this context, the research evaluated hydrogeology as a technical alternative to identify aquifers and ensure a sustainable supply of groundwater. The study followed a mixed-methods approach with a non-experimental, evolutionary design, collecting data during both the rainy and dry seasons.

The methodology was developed in three stages: compilation of geological and cartographic information; fieldwork including hydrogeological mapping, inventory of 15 water sources, water sampling, and the execution of eight Electrical Resistivity Tomography (ERT) profiles; and office-based analysis through geological, hydrochemical, and geophysical interpretation. The general objective was to determine potential groundwater sources in the community.

The results indicate that the Ccoloyo micro-watershed has an elongated-oblong morphology, average slopes of 12.8%, and high susceptibility to flooding. Aquifers were identified within the Arcurquina Formation, the Choquechambe unit, and Quaternary deposits, showing variable permeability, with higher values in fractured zones. Water quality is predominantly calcium bicarbonate during the rainy season and calcium chloride during the dry season, with exceedances of F^- , Co, and Hg relative to environmental quality standards. The most favorable areas for groundwater abstraction are located along the Ccoloyo ravine, where geological and geophysical conditions are optimal.

Keywords: Hydrogeological evaluation, Groundwater, Huisa Collana, Espinar.

CONTENIDO

DEDICATORIA	01
AGRADECIMIENTO	03
INTRODUCCIÓN	04
RESUMEN	05
ABSTRACT	06
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	16
1.1 Ubicación	16
1.2 Accesibilidad	16
1.3 Problema	19
1.3.1 Descripción del problema	19
1.3.2 Formulación del problema general	20
1.3.3 Formulación de problemas específicos	20
1.4 Justificación	20
1.5 Objetivos	22
1.5.1 Objetivo general	22
1.5.2 Objetivos específicos	22
1.6 Formulación de hipótesis	23
1.6.1 Hipótesis general	23
1.6.1 Hipótesis específicas	23
1.7 Variables	24
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.1 Metodología de trabajo	26
2.1.1 Etapa de recopilación de información	26
2.1.2 Etapa de campo	26
2.1.3 Gabinete	27
2.2 Método de trabajo	27
2.2.1 Enfoque de la investigación	27
2.2.2 Alcance de la investigación	27
2.2.3 Diseño de la investigación	28
2.3 Equipos y materiales	28
2.4 Procesamiento de datos	28
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL	29
3.1 Marco referencial	29

3.1.1 Antecedentes internacionales	29
3.1.2 Antecedentes nacionales.....	30
3.1.3 Antecedentes locales	31
3.2 Marco teórico-conceptual	32
CAPÍTULO IV: GEOMORFOLOGÍA	44
4.1 Geomorfología regional	44
4.2 Geomorfología local	47
4.2.1 Colinas.....	47
4.2.2 Mesetas	51
4.2.3 Planicies.....	52
CAPÍTULO V: GEOLOGÍA	56
5.1 Geología regional.....	56
5.2 Geología local	60
5.2.1 Formación Arcurquina (Kis-a)	62
5.2.2 Grupo Maure (Nm-ma)	65
5.2.3 Depósito aluviofluvial (Q-alfl).....	67
5.2.4 Depósito fluvial (Q-fl).....	67
5.2.5 Rocas ígneas	68
CAPÍTULO VI: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	73
6.1 Geología estructural regional.....	73
6.2 Geología estructural local	76
6.2.1 Plegamientos	76
6.2.2 Fallas	78
6.3 Ventana estructural	83
6.3.1 Parámetros del RMR	83
6.3.2 Ventana estructural 1: Unidad Choquechambe	88
6.3.3 Ventana estructural 2: Unidad Choquechambe	89
6.3.4 Ventana estructural 3: Unidad Choquechambe	90
6.3.5 Ventana estructural 4: Unidad Choquechambe	91
6.3.6 Ventana estructural 5: Formación Arcurquina	93
6.3.7 Ventana estructural 6: Formación Arcurquina	94
6.3.8 Ventana estructural 7: Formación Arcurquina	95

6.3.9 Ventana estructural 8: Formación Arcurquina	96
CAPÍTULO VII: HIDROLOGÍA	99
7.1 Morfometría de la cuenca	99
7.1.1 Elementos de superficie.....	100
7.1.2 Elementos de distancia	100
7.1.3 Elementos de forma.....	101
7.1.4 Elementos de relieve	105
7.2 Información hidrometeorológica	113
7.2.1 Precipitación.....	114
7.2.2 Temperatura.....	119
7.2.3 Humedad relativa	123
7.2.4 Evaporación.....	124
CAPÍTULO VIII: GEOFÍSICA	126
8.1 Generalidades.....	126
8.2 Descripción del método geofísico.....	126
8.2.1 Equipos	127
8.2.2 Software.....	127
8.3 Trabajo de campo.....	127
8.4 Descripción de las secciones geofísicas.....	128
CAPÍTULO IX: HIDROGEOLOGÍA	146
9.1 Inventario de fuentes de agua	146
9.2 Parámetros hidrogeológicos de las formaciones geológicas.....	150
9.2.1 Porosidad	150
9.2.2 Permeabilidad.....	152
9.3 Dirección de flujo del agua subterránea	157
9.4 Clasificación de unidades hidrogeológicas.....	159
9.4.1 Acuífero kárstico sedimentario Arcurquina	159
9.4.2 Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina.....	160
9.4.3 Sistema acuitardo sedimentario Grupo Maure	161
9.4.4 Sistema acuiclude sedimentario Grupo Maure.....	162
9.4.5 Acuíferos porosos no consolidados.....	162
9.4.6 Acuífero fisurado Unidad Choquechambe	163

9.4.7 Sistema acuítardo Unidad Choquechambe	164
CAPÍTULO X: HIDROQUÍMICA	169
10.1 Caracterización hidroquímica	169
10.1.1 Parámetros Fisicoquímicos	169
10.1.2. Elementos Minoritarios	182
CAPITULO XI: RESULTADOS Y DISCUSIONES	204
11.1 Geomorfología	204
11.1.1 Resultados de geomorfología	204
11.1.2 Discusión de geomorfología.....	205
11.2 Geología.....	206
11.2.1 Resultados de geología.....	206
11.2.1 Discusiones de geología	207
11.3 Geología estructural	209
11.3.1 Resultados de geología estructural	209
11.3.2. Discusiones geología estructural	210
11.4 Hidrología	212
11.4.1 Resultados de hidrología	212
11.4.2 Discusión hidrología.....	214
11.5 Geofísica	215
11.5.1 Resultados de geofísica	215
11.5.2 Discusiones geofísica	217
11.6 Hidrogeología	221
11.6.1 Resultados hidrogeología	221
11.6.2 Discusiones hidrogeología	222
11.7 Hidroquímica	224
11.7.1 Resultados de hidroquímica	224
11.7.2 Discusiones de hidroquímica.....	228
CONCLUSIONES	231
RECOMENDACIONES	238
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	240
ANEXOS.....	245

Índice de fotografías

Fotografía 1 Colinas altas con afloramientos de la Unidad Choquechambe.....	48
Fotografía 2 Cadena de colinas altas de pendiente moderada.....	49
Fotografía 3 Colina baja, con afloramientos rocosos de calizas de la Formación Arcurquina.....	50
Fotografía 4 <u>Mesetas bajas en roca sedimentaria del Grupo Maure.</u>	51
Fotografía 5 Terrazas en material sedimentario del Grupo Maure.	52
Fotografía 6 Se observa el cauce del río Ccoloyo, adyacentes a las terrazas fluviales.	54
Fotografía 7 <u>Planicie de la relavera de Hunipampa</u>	54
Fotografía 8 a) Afloramiento de calizas gris azuladas en noreste de la microcuenca Ccoloyo. b) Laminaciones horizontales que indican la estratificación.....	62
Fotografía 9 a) Venillas de calcita en caliza b) Nódulos de chertz,	63
Fotografía 10 a) Afloramiento de caliza en proceso de recristalización. b) Caliza recristalizada a la derecha, a la izquierda caliza gris azulada con nódulos de chert.	64
Fotografía 11 Diatomitas de Maure III.	65
Fotografía 12 Sedimentos lacustres y diatomitas de Maure II	66
Fotografía 13 Afloramientos de depósitos aluviofluviales en la microcuenca Ccoloyo	67
Fotografía 14 Depósito fluvial.	68
Fotografía 15 Afloramiento de granodioritas de la Unidad Choquechambe.	69
Fotografía 16: Plegamientos ubicado en 243120.27m E ;8352187.98m N; 4038m	77
Fotografía 17: Anticlinal ubicado en 243396.15m E; 8351897.36m N; 3994m.....	77
Fotografía 18 <u>Evidencia superficial de dolinas asociados a la traza de la falla inferida F1.....</u>	79
Fotografía 19 a) Falla inferida F2, ubicado al este de la microcuenca_b) Fallas inferidas F3 y F4, ubicadas en la parte central de la microcuenca	81
Fotografía 20 Inventario de fuentes de agua	146
Fotografía 21 Ensayo de permeabilidad Lefranc de carga variable	153
Fotografía 22 Diatomitas del Miembro II del Grupo Maure, que actúan como acuitardo.....	161
Fotografía 23 Acuífero poroso aluvial	163
Fotografía 24 Acuitardo Unidad Choquechambe.....	164
Fotografía 25 Muestreo de agua correspondiente a la temporada de estiaje.....	185
Fotografía 26 Muestreo de agua correspondiente a la temporada de lluvias.	186

Índice de figuras

Figura 1 Accesibilidad de la zona de estudio	17
Figura 2 Mapa de ubicación	18
Figura 3 Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales	34
Figura 4 Partes de una cuenca hidrográfica	35
Figura 5 Ciclo hidrológico	37
Figura 6 Ciclo hidrológico modificado según Harlan	41
Figura 7 Mapa geomorfológico regional	46
Figura 8 Mapa geomorfológico local	55
Figura 9 Estratigrafía del cuadrángulo de Condoroma	56
Figura 10 Mapa geológico regional	59
Figura 11 Columna estratigráfica local	60
Figura 12 Mapa geológico local	70
Figura 13 Sección geológica AA`	71
Figura 14 Mapa de ubicación de muestras extraídas y ventanas estructurales	72
Figura 15 Mapa estructural regional	75
Figura 16 Imagen satelital con el alineamiento de dolinas en la microcuenca de Ccoloyo	79
Figura 17 Mapa estructural local	82
Figura 18 Mapa de ventanas estructurales	98
Figura 19 Curvas hipsométrica y mediana de la altitud de la microcuenca de Ccoloyo	108
Figura 20 Curvas hipsométricas teóricas de Strahler	108
Figura 21 Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca de Ccoloyo	110
Figura 22 Regresión logarítmica	115
Figura 23 Comportamiento de la precipitación mensual	118
Figura 24 Comportamiento de la temperatura media mensual	119
Figura 25 Comportamiento de la temperatura máxima media mensual	121
Figura 26 Comportamiento de la temperatura mínima media mensual	122
Figura 27 Comportamiento de las temperaturas media, máxima y mínima media mensual	122
Figura 28 Comportamiento de la humedad relativa media mensual	124
Figura 29 Comportamiento de la evaporación media mensual	125
Figura 30 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-01	138
Figura 31 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-02	139
Figura 32 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-03	140
Figura 33 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-04	141
Figura 34 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-05	142
Figura 35 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-06	143
Figura 36 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-07	144
Figura 37 Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-8	145
Figura 38 Diagrama de clasificación de manantes por su productividad	148
Figura 39 Mapa de inventariado de fuentes hídricas	149
Figura 40 Mapa de ubicación de ensayos de permeabilidad	156
Figura 41 Mapa piezométrico de dirección de flujos	158
Figura 42 Mapa de unidades hidrogeológicas	165

Figura 43 Corte AA'	166
Figura 44 Corte BB'	167
Figura 45 Corte CC'	168
Figura 46 Diagrama de Piper – primera campaña (temporada de lluvia).	172
Figura 47 Diagrama de Piper – segunda campaña (temporada de estiaje).	174
Figura 48 Diagrama de Schoeller – primera campaña (temporada de lluvia).	175
Figura 49 Diagrama de Schoeller – segunda campaña (temporada de estiaje).	176
Figura 50 Diagrama de Stiff – primera campaña (temporada de lluvia).	177
Figura 51 Diagrama de Stiff - segunda campaña (temporada de estiaje).	178
Figura 52 Mapa de diagrama de Piper	180
Figura 53 Mapa de parámetros fisicoquímicos	181
Figura 54 Concentraciones de Bicarbonato.	187
Figura 55 Concentraciones de Cloruros.	188
Figura 56 Concentraciones de Fluoruros.	188
Figura 57 Concentraciones de Nitratos (NO ₃ - N) +Nitritos (NO ₂ - N).	189
Figura 58 Concentraciones de Nitritos (NO ₂ - N).	190
Figura 59 Concentraciones de Sulfatos.	190
Figura 60 Concentraciones de Aluminio.	191
Figura 61 Concentraciones de Arsénico.	192
Figura 62 Concentraciones de Bario.	192
Figura 63 Concentraciones de Berilio.	193
Figura 64 Concentraciones de Boro.	193
Figura 65 Concentraciones de Cadmio.	194
Figura 66 Concentraciones de Cobalto.	195
Figura 67 Concentraciones de Cobre.	195
Figura 68 Concentraciones de Cromo Total.	196
Figura 69 Concentraciones de Hierro.	197
Figura 70 Concentraciones de Litio.	197
Figura 71 Concentraciones de Manganese.	198
Figura 72 Concentraciones de Mercurio.	199
Figura 73 Concentraciones de Níquel.	199
Figura 74 Concentraciones de Plomo.	200
Figura 75 Concentraciones de Selenio.	200
Figura 76 Concentraciones de Zinc.	201
Figura 77 Mapa de elementos minoritarios.	203
Figura 78 Mapa de ubicación de pozos	220

Índice de tablas

Tabla 1 Coordenadas geográficas y UTM del área de estudio.....	16
Tabla 2 Accesibilidad a la Comunidad de Huisa Collana	17
Tabla 3 Matriz de consistencia.....	25
Tabla 4 Forma de la cuenca de acuerdo al valor del factor de forma	36
Tabla 5 Permeabilidad en tipos de terrenos, clasificación de tipo de acuífero y capacidad de drenaje	38
Tabla 6 Superficies ocupadas por las unidades geomorfológicas en la microcuenca de Ccoloyo	47
Tabla 7 Distribución de las unidades geológicas locales	61
Tabla 8 Descripción petrológica macroscópica, muestra 1	63
Tabla 9 Descripción petrológica macroscópica, muestra 2	64
Tabla 10 Descripción petrológica macroscópica, muestra 3	66
Tabla 11 Descripción petrológica macroscópica, muestra 4	69
Tabla 12 Clasificación de resistencia de la roca intacta según RMR.....	83
Tabla 13 Clasificación de RQD según RMR	84
Tabla 14 Clasificación de espaciamiento de discontinuidades según RMR	84
Tabla 15 Clasificación de persistencia según RMR	85
Tabla 16 Clasificación de apertura según RMR.....	85
Tabla 17 Clasificación de rugosidad según RMR	86
Tabla 18 Clasificación de relleno según RMR.....	86
Tabla 19 Clasificación de alteración según RMR	87
Tabla 20 Clasificación de agua subterránea según RMR.....	87
Tabla 21 Descripción la ventana 1 de la Unidad Choquechambe.....	89
Tabla 22 Descripción la ventana 2 de la Unidad Choquechambe.....	90
Tabla 23 Descripción la ventana 3 de la Unidad Choquechambe.....	91
Tabla 24 Descripción la ventana 4 de la Unidad Choquechambe	92
Tabla 25 Descripción la ventana 5 de la Formación Arcurquina.....	93
Tabla 26 Descripción la ventana 6 de la Formación Arcurquina	94
Tabla 27 Descripción la ventana 7 de la Formación Arcurquina.....	96
Tabla 28 Descripción de la ventana 8 de la Formación Arcurquina	97
Tabla 29 Morfometría de la cuenca.....	99
Tabla 30 Forma de la cuenca de acuerdo al valor del factor de forma	102
Tabla 31 Forma de una cuenca de acuerdo al índice de compacidad	103
Tabla 32 Resumen de los elementos de relieve.....	106
Tabla 33 Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica.....	107
Tabla 34 Coordenadas de la estación meteorológicas.....	114
Tabla 35 Coordenadas de la estación meteorológicas.....	114
Tabla 36 Precipitaciones regionalizadas	115
Tabla 37 Regionalización de la temperatura por regresión lineal simple	119
Tabla 38 Regionalización de la temperatura máxima media mensual regionalizada.....	120
Tabla 39 Regionalización de la temperatura mínima media mensual.....	121
Tabla 40 Regionalización de la humedad relativa media mensual	123
Tabla 41 Regionalización de la evaporación media mensual	124

Tabla 42 Coordenadas de las líneas de tomografías eléctricas de inicio y fin	128
Tabla 43 Inventario de manantes captados microcuenca Ccoloyo	147
Tabla 44 Clasificación de manantes por su productividad.....	147
Tabla 45 Valores típicos de porosidad en suelos aluvio–fluviales y fluviales.....	151
Tabla 46 Valores típicos de porosidad en tipos de rocas de las unidades geológicas locales.....	152
Tabla 47 Ubicación de los ensayos de permeabilidad en la microcuenca Ccoloyo.	154
Tabla 48 Permeabilidades calculadas.....	155
Tabla 49 Resultados de los parámetros físico–químicos	170
Tabla 50 Ubicación de los Puntos de Muestreo de las dos campañas.....	183
Tabla 51 Codificación de laboratorio de muestras de ensayo (para más detalle ver anexo 1)....	186
Tabla 52 Resumen de concentraciones obtenidas en laboratorio para los parámetros fisicoquímicos	202
Tabla 53 Resumen de concentraciones obtenidas en laboratorio para metales totales	202
Tabla 54 Resultados de geomorfología local	204
Tabla 55 Resumen hidrometereológico.....	214
Tabla 56 Resumen de hidrogeología.....	221
Tabla 57 Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para bebedero de animales	225
Tabla 58 Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego de vegetales	226
Tabla 59 Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) consumo humano (aguas que pueden ser potabilizadas)	227

Capítulo I: Aspectos generales

1.1 Ubicación

El área de estudio se ubica al sureste de la ciudad del Cusco, a aproximadamente 238 km de distancia, dentro de la comunidad de Huisa Collana, distrito de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco (ver Figura 1). Las coordenadas UTM, correspondientes a la zona 19L y bajo el datum WGS_1984, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas geográficas y UTM del área de estudio.

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud Sur	Latitud Oeste	Este	Norte
14° 54' 10.85"	71° 22' 49.12"	243919.52	8351032.4

Fuente: Elaboración propia

1.2 Accesibilidad

El acceso al área de estudio se realiza partiendo de la ciudad del Cusco, tomando la ruta Sierra Sur/Carretera 3S en dirección sur. El recorrido continúa hasta llegar a la localidad de Espinar, ubicada aproximadamente a 226 km de la ciudad del Cusco. Siguiendo esta vía hacia el sur, tras recorrer cerca de 12 km, se llega a la comunidad de Huisa Collana.

Las distancias, tiempos estimados y tipo de vía de cada tramo se presentan en la Tabla 2

Tabla 2

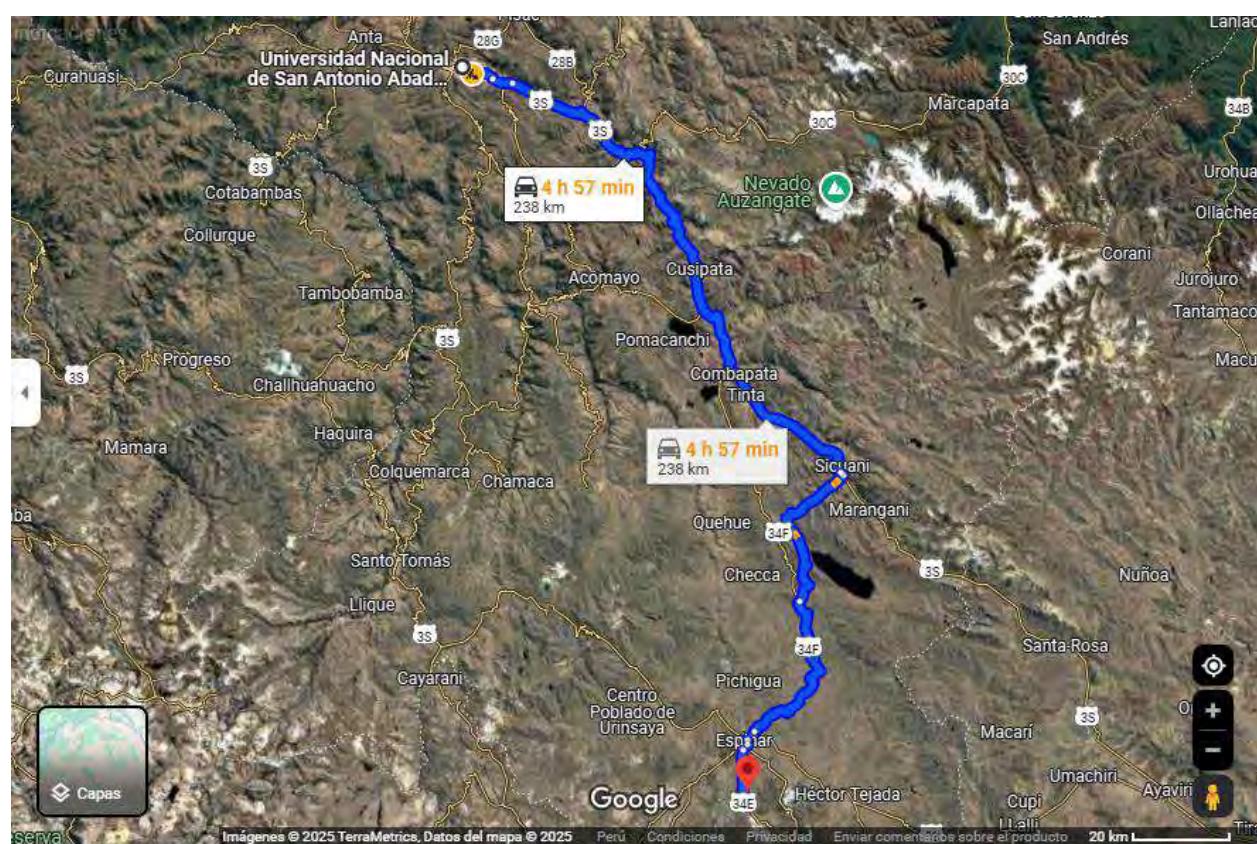
Accesibilidad a la Comunidad de Huisa Collana

Punto de partida	Distancia (km)	Duración	Tipo de vía
Cusco– Ciudad de Espinar	226 km	4 h 30 min aprox.	Concreto - Asfaltado
Ciudad de Espinar - Zona de estudio (Comunidad de Huisa Collana)	12 km	10 - 30 min aprox.	Trocha carrozable

Fuente: Elaboración propia

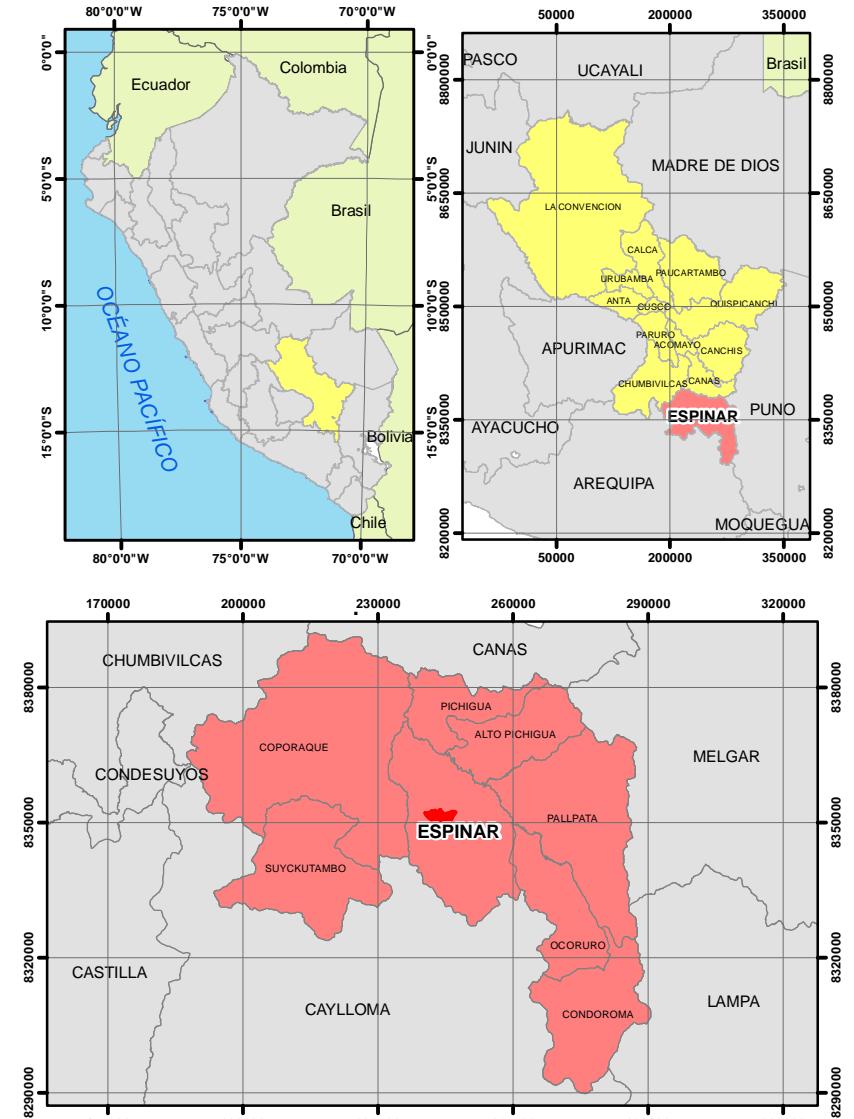
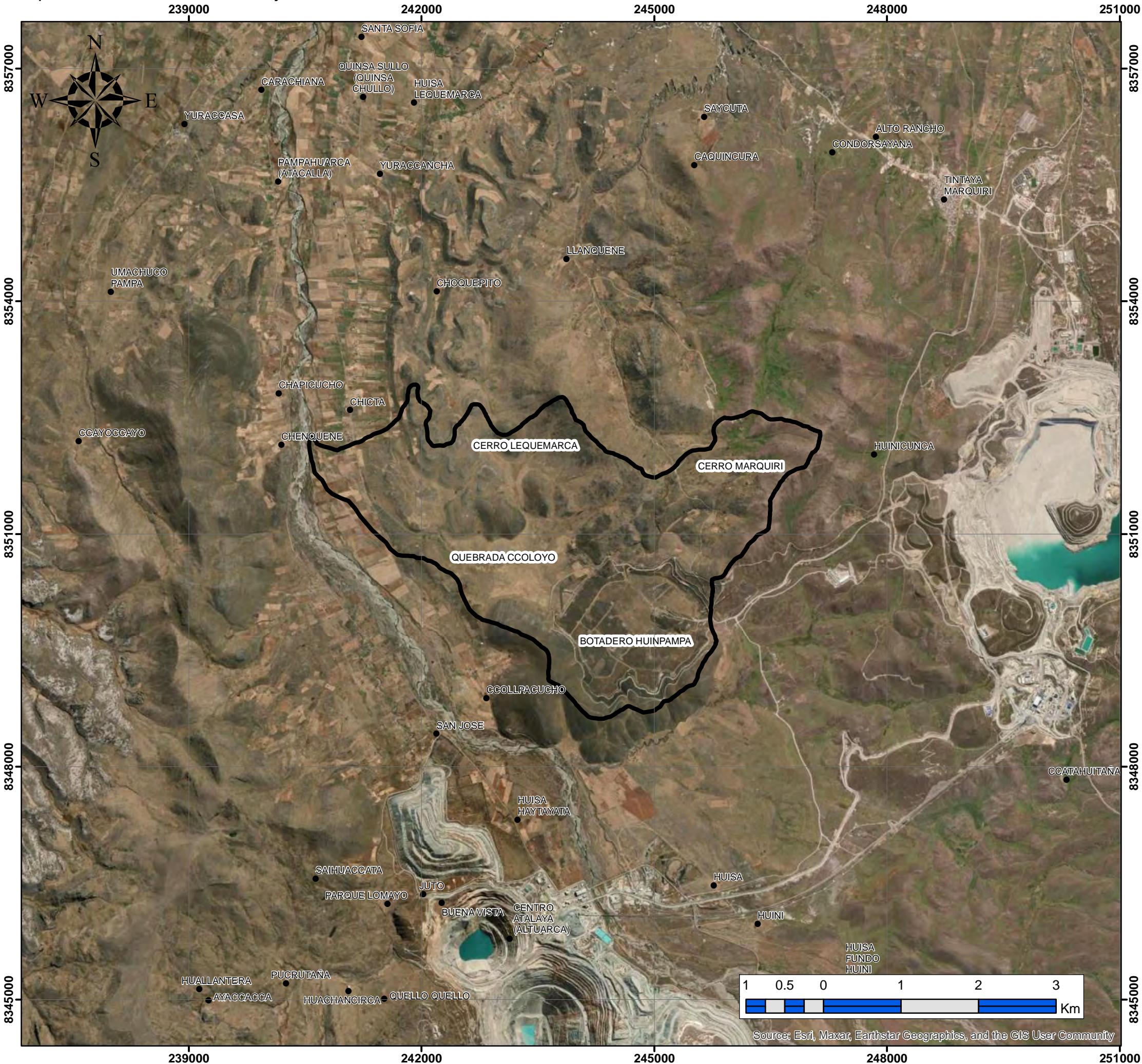
Figura 1

Accesibilidad de la zona de estudio



Fuente: Google Maps, 2025

Figura 2
Mapa de ubicación de la microcuenca Ccoloyo



REFERENCIA GEOGRAFICA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -69.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"		
MAPA DE UBICACIÓN	ESCALA: 1/50000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84	ZONA: 19L
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza		
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 2	

1.3 Problema

1.3.1 Descripción del problema

La evaluación hidrogeológica es un conjunto de estudios técnicos que permite caracterizar las condiciones geológicas e hidrológicas de un territorio con el propósito de identificar, cuantificar y evaluar la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas, constituyéndose en una herramienta fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en zonas rurales donde las fuentes superficiales son limitadas o estacionales (Freeze & Cherry, 1979; Custodio & Llamas, 2001). A nivel internacional, diversos organismos han señalado que el uso de aguas subterráneas resulta clave para garantizar la seguridad hídrica frente a la variabilidad climática y al crecimiento de la demanda, particularmente en comunidades rurales y regiones semiáridas, donde la evaluación hidrogeológica permite reducir la vulnerabilidad del abastecimiento de agua potable (UNESCO, 2012; ONU-Agua, 2021). En este contexto, numerosos estudios realizados en América Latina destacan que la identificación de acuíferos mediante evaluaciones hidrogeológicas constituye una alternativa técnica viable para asegurar un suministro continuo y sostenible cuando las fuentes superficiales presentan caudales irregulares.

En el ámbito nacional, el Perú enfrenta una marcada desigualdad en la disponibilidad del recurso hídrico, siendo las zonas altoandinas las más afectadas por la estacionalidad de las precipitaciones y la reducción de caudales durante la época seca. En estas áreas, los manantiales y cursos superficiales suelen disminuir significativamente su aporte, generando déficits en el abastecimiento de agua para consumo humano y riego, lo que ha motivado el interés por el aprovechamiento de aguas subterráneas como fuente complementaria; sin embargo, en muchas comunidades rurales persiste la carencia de estudios hidrogeológicos detallados que permitan conocer el potencial real de los acuíferos (Autoridad Nacional del Agua, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Esta problemática se evidencia a nivel local en la comunidad campesina de Huisa Collana, ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, donde la demanda de agua para consumo humano y actividades productivas supera la capacidad de la fuente superficial existente. Según el Banco de Datos de Pueblos Indígenas, la comunidad cuenta con aproximadamente 170 habitantes, y considerando una dotación recomendada de 100 litros por habitante por día para zonas rurales del Cusco, la demanda anual asciende a

6 205 m³/año (SUNASS, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento). No obstante, el manantial que abastece actualmente a la población presenta un caudal promedio de 4.67 l/s, el cual se interrumpe durante los meses de mayo a agosto debido a su carácter estacional, generando un déficit aproximado de 2 040 m³/año, equivalente a cerca de un tercio de la demanda anual (Municipalidad Provincial de Espinar, 2023). Esta situación evidencia la insuficiencia y vulnerabilidad de la fuente actual frente a la variabilidad climática, lo que hace necesario evaluar alternativas de abastecimiento. En este sentido, la ausencia de información sobre la ubicación, volumen y calidad de las aguas subterráneas en Huisa Collana sustenta la necesidad de realizar una evaluación hidrogeológica que permita determinar potenciales fuentes de agua subterránea, orientadas a garantizar un suministro continuo y sostenible para la comunidad.

1.3.2 Formulación del problema general

¿Cuáles son las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana que permiten identificar potenciales fuentes de agua subterránea para contribuir al abastecimiento sostenible del recurso hídrico?

1.3.3 Formulación de problemas específicos

1. ¿Cuáles son las unidades geomorfológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?
2. ¿Cuáles son las características de las formaciones geológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?
3. ¿Cuáles son las características de la geología estructural en la comunidad de Huisa Collana y cuál es su influencia en el comportamiento del agua subterránea para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?

4. ¿Cuáles son las características geofísicas del subsuelo para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?
5. ¿Cuáles son las unidades hidrogeológicas identificadas para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?
6. ¿Cuál es la composición y calidad hidroquímica de las fuentes de agua para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco?

1.4 Justificación

Conveniencia

La presente investigación resulta conveniente porque permite generar información técnica y científica orientada a identificar alternativas sostenibles de abastecimiento de agua en la comunidad campesina de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco. Actualmente, el abastecimiento depende exclusivamente de un manantial local con un caudal promedio de 4,67 l/s (Municipalidad Provincial de Espinar, 2023), cuya disponibilidad se ve afectada por la estacionalidad climática. En este contexto, la evaluación hidrogeológica contribuye a conocer el potencial de las aguas subterráneas como fuente complementaria, brindando una base técnica para la planificación del uso del recurso hídrico.

Relevancia social

La investigación posee una alta relevancia social, ya que aborda una problemática que afecta directamente la calidad de vida de la población de Huisa Collana, conformada por aproximadamente 170 habitantes (Banco de Datos de Pueblos Indígenas, 2007). Los resultados beneficiarán principalmente a la comunidad local, al aportar información que permita mejorar la seguridad hídrica y garantizar un abastecimiento continuo de agua para consumo humano y actividades productivas. Asimismo, los hallazgos podrán ser utilizados por autoridades locales y

entidades vinculadas a la gestión del agua, contribuyendo a la toma de decisiones orientadas al desarrollo sostenible de la zona.

Implicaciones prácticas

Desde el punto de vista práctico, la investigación ayudará a abordar un problema real relacionado con el déficit temporal de agua durante los meses de estiaje, periodo en el cual las fuentes superficiales presentan ausencia de suministro (Autoridad Nacional del Agua, 2019). La identificación de potenciales fuentes de agua subterránea permitirá proponer alternativas técnicas viables para reducir la dependencia de fuentes estacionales, facilitando la implementación de sistemas de captación y aprovechamiento que aseguren la disponibilidad del recurso en el mediano y largo plazo.

Valor teórico

En el ámbito teórico, el estudio contribuye a reducir la brecha de conocimiento existente sobre las condiciones hidrogeológicas de las zonas altoandinas, caracterizadas por su complejidad geológica y escasa información científica. Los resultados permitirán comprender con mayor detalle la relación entre las unidades geomorfológicas, geológicas, estructurales y las características hidrogeológicas del área, aportando información que puede ser utilizada para contrastar, complementar o fortalecer estudios previos. Asimismo, los hallazgos podrán servir como referencia para futuras investigaciones en contextos geográficos y climáticos similares.

Utilidad metodológica

La investigación presenta utilidad metodológica al integrar el análisis geológico, hidrogeológico y geofísico, mediante la aplicación de técnicas de geofísica eléctrica (TME) para la caracterización del subsuelo. Esta metodología puede ser replicada o adaptada en otras comunidades rurales con condiciones similares, contribuyendo a mejorar la forma de estudiar el potencial hidrogeológico en áreas con limitada información previa. Además, el estudio fortalece la aplicación práctica de métodos de evaluación hidrogeológica en contextos rurales altoandinos.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo general*

Evaluar las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana con el fin de identificar las potenciales fuentes de agua subterránea que contribuyan al abastecimiento sostenible del recurso hídrico.

1.5.2 *Objetivos específicos*

1. Identificar y describir las unidades geomorfológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.
2. Caracterizar las formaciones geológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.
3. Caracterizar los elementos de la geología estructural y evaluar su influencia en el comportamiento del agua subterránea para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.
4. Determinar las características geofísicas del subsuelo para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.
5. Identificar y caracterizar las unidades hidrogeológicas existentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.
6. Analizar la composición y calidad hidroquímica de las fuentes de agua para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.

1.6 Formulación de hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

Las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana presentan unidades geomorfológicas favorables para la recarga, formaciones geológicas permeables, estructuras tectónicas que facilitan la circulación subterránea, zonas de baja resistividad indicativas de saturación, unidades hidrogeológicas con potencial acuífero y una hidroquímica dominada por interacción agua–roca; todo ello permitiría identificar fuentes de agua subterránea con capacidad para abastecimiento sostenible.

1.6.1 Hipótesis específicas

1. Las unidades geomorfológicas con mayor potencial para la acumulación de agua en la comunidad de Huisa Collana son las terrazas fluviales y los valles, las cuales resultan más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea debido a su posición topográfica y capacidad de concentración de infiltración.
2. Las unidades geológicas con mejores características para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana corresponden a los depósitos cuaternarios, especialmente los aluviales y coluviales, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su mayor permeabilidad.
3. Las zonas estructurales con mayor influencia en el comportamiento del agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana están asociadas a fallas y sistemas de fracturas, las cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al actuar como vías preferenciales de circulación.
4. Las unidades del subsuelo con mejores condiciones para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana son aquellas que presentan valores bajos de resistividad eléctrica, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al estar asociadas a materiales saturados.

5. Las unidades hidrogeológicas con mayor potencial acuífero en la comunidad de Huisa Collana están representadas por acuíferos libres asociados a depósitos aluviales y coluviales, los cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su capacidad de recarga y almacenamiento.
6. Las fuentes de agua con mejores características hidroquímicas en la comunidad de Huisa Collana presentan facies bicarbonatadas cálcicas o mixtas, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al reflejar un origen meteórico y una calidad adecuada para uso poblacional.

1.7 Variables

Las variables consideradas para el presente estudio son las siguientes:

- Evaluación hidrogeológica
- Fuentes potenciales de agua subterránea

1.7.1 Variable independiente

- Estratigrafía
- Geología estructural
- Geomorfología
- Geofísica
- Hidrogeología
- Hidroquímica

Tabla 3
Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA												
TITULO: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO												
AUTORES BACHILLERES: YANETH MAYUME HUAMANI MENDIGURE/ DAHIZE LIDIA MOYNA MENDOZA												
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES			RECURSOS HUMANOS						
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL:	<p>Las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana presentan unidades geomorfológicas favorables para la recarga, formaciones geológicas permeables, estructuras tectónicas que facilitan la circulación subterránea, zonas de baja resistividad indicativas de saturación, unidades hidrogeológicas con potencial acuífero y una hidroquímica dominada por interacción agua–roca; todo ello permitiría identificar fuentes de agua subterránea con capacidad para abastecimiento sostenible.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>1.Las unidades geomorfológicas con mayor potencial para la acumulación de agua en la comunidad de Huisa Collana son las terrazas fluviales y los valles, las cuales resultan más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea debido a su posición topográfica y capacidad de concentración de infiltración.</p> <p>2.Las unidades geológicas con mejores características para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana corresponden a los depósitos cuaternarios, especialmente los aluviales y coluviales, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su mayor permeabilidad.</p> <p>3.Las zonas estructurales con mayor influencia en el comportamiento del agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana están asociadas a fallas y sistemas de fracturas, las cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al actuar como vías preferenciales de circulación.</p> <p>4.Las unidades del subsuelo con mejores condiciones para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana son aquellas que presentan valores bajos de resistividad eléctrica, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al estar asociadas a materiales saturados.</p> <p>5.Las unidades hidrogeológicas con mayor potencial acuífero en la comunidad de Huisa Collana están representadas por acuíferos libres asociados a depósitos aluviales y coluviales, los cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su capacidad de recarga y almacenamiento.</p> <p>6.Las fuentes de agua con mejores características hidroquímicas en la comunidad de Huisa Collana presentan facies bicarbonatadas cárnicas o mixtas, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al reflejar un origen meteórico y una calidad adecuada para uso poblacional.</p> <p>METODOLOGIA</p> <p>El alcance de esta investigación es descriptivo-explicativo-aplicativo. Es descriptivo, porque se caracterizan las unidades hidrogeológicas, la calidad del agua y las estructuras geológicas presentes en la comunidad de Huisa Collana. Es explicativo, porque se analiza de qué manera la disposición de las estructuras geológicas y la litología influyen en la capacidad de almacenamiento y transferencia de agua subterránea (Hernández et al., 2018).</p> <p>Finalmente, es aplicativo, porque los resultados obtenidos permitirán proponer lineamientos y alternativas de gestión hídrica que contribuyan al aprovechamiento sostenible de los recursos de agua subterránea en la comunidad.</p>	TIPOS	INDICADORES E INDICES		PERSONAL						
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL:		VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	INDICE						
<p>La evaluación hidrogeológica es un conjunto de estudios técnicos que permite caracterizar las condiciones geológicas y hidrológicas de un territorio con el propósito de identificar, cuantificar y evaluar la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas, constituyéndose en una herramienta fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en zonas rurales donde las fuentes superficiales son limitadas o estacionales (Freeze & Cherry, 1979; Custodio & Llamas, 2001). A nivel internacional, diversos organismos han señalado que el uso de aguas subterráneas resulta clave para garantizar la seguridad hídrica frente a la variabilidad climática y al crecimiento de la demanda, particularmente en comunidades rurales y regiones semiáridas, donde la evaluación hidrogeológica permite reducir la vulnerabilidad del abastecimiento de agua potable (UNESCO, 2012; ONU-Agua, 2021). En este contexto, numerosos estudios realizados en América Latina destacan que la identificación de acuíferos mediante evaluaciones hidrogeológicas constituye una alternativa técnica viable para asegurar un suministro continuo y sostenible cuando las fuentes superficiales presentan caudales irregulares.</p> <p>En el ámbito nacional, el Perú enfrenta una marcada desigualdad en la disponibilidad del recurso hídrico, siendo las zonas altoandinas las más afectadas por la estacionalidad de las precipitaciones y la reducción de caudales durante la época seca. En estas áreas, los manantiales y cursos superficiales suelen disminuir significativamente su aporte, generando déficits en el abastecimiento de agua para consumo humano y riego, lo que ha motivado el interés por el aprovechamiento de aguas subterráneas como fuente complementaria; sin embargo, en muchas comunidades rurales persiste la carencia de estudios hidrogeológicos detallados que permitan conocer el potencial real de los acuíferos (Autoridad Nacional del Agua, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).</p> <p>Esta problemática se evidencia a nivel local en la comunidad campesina de Huisa Collana, ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, donde la demanda de agua para consumo humano y actividades productivas supera la capacidad de la fuente superficial existente. Según el Banco de Datos de Pueblos Indígenas, la comunidad cuenta con aproximadamente 170 habitantes, y considerando una dotación recomendada de 100 litros por habitante por día para zonas rurales del Cusco, la demanda anual asciende a 6 205 m³/año (SUNASS, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento). No obstante, el manantial que abastece actualmente a la población presenta un caudal promedio de 4.67 l/s, el cual se interrumpe durante los meses de mayo a agosto debido a su carácter estacional, generando un déficit aproximado de 2 040 m³/año, equivalente a cerca de un tercio de la demanda anual (Municipalidad Provincial de Espinar, 2023). Esta situación evidencia la insuficiencia y vulnerabilidad de la fuente actual frente a la variabilidad climática, lo que hace necesario evaluar alternativas de abastecimiento. En este sentido, la ausencia de información sobre la ubicación, volumen y calidad de las aguas subterráneas en Huisa Collana sustenta la necesidad de realizar una evaluación hidrogeológica que permita determinar potenciales fuentes de agua subterránea, orientadas a garantizar un suministro continuo y sostenible para la comunidad.</p> <p>FORMULACION DEL PROBLEMA</p> <p>¿Cuáles son las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana que permiten identificar potenciales fuentes de agua subterránea para contribuir al abastecimiento sostenible del recurso hídrico?</p>	<p>Evaluar las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana con el fin de identificar las potenciales fuentes de agua subterránea que contribuyan al abastecimiento sostenible del recurso hídrico.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <p>1.Identificar y describir las unidades geomorfológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p> <p>2.Caracterizar las formaciones geológicas presentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p> <p>3.Caracterizar los elementos de la geología estructural y evaluar su influencia en el comportamiento del agua subterránea para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p> <p>4.Determinar las características geofísicas del subsuelo para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p> <p>5.Identificar y caracterizar las unidades hidrogeológicas existentes para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p> <p>6.Analizar la composición y calidad hidroquímica de las fuentes de agua para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana, provincia de Espinar, región Cusco.</p>	<p>Evaluación hidrogeológica Fuentes potenciales de agua subterránea</p>	<p>Estratigrafía Geología estructural Geomorfología Geofísica Hidrogeología Hidroquímica</p>	<p>Características litológicas Características estructurales Características del relieve Características de la roca Características litológicas y estructurales Características químicas e hidroquímicas</p>	<p>Edad Sedimentación Facies Formas estructurales Deformaciones Fisiografía Pendiente Litológia Modo de distribución de poros Contenido de agua Dirección de flujo Geometría de un acuífero pH Temperatura Conductividad eléctrica Componentes químicos mayoritarios y minoritarios</p>	<p>Tesistas Ayudantes Viáticos Tesistas y ayudantes Bienes y materiales Servicios Subtotal Otros gastos Total Gastos 8770 1904</p>						
MATRIZ DE CONSISTENCIA												
TITULO: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO												
AUTORES BACHILLERES: YANETH MAYUME HUAMANI MENDIGURE/ DAHIZE LIDIA MOYNA MENDOZA												
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES			RECURSOS HUMANOS						
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL:	<p>Las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana presentan unidades geomorfológicas favorables para la recarga, formaciones geológicas permeables, estructuras tectónicas que facilitan la circulación subterránea, zonas de baja resistividad indicativas de saturación, unidades hidrogeológicas con potencial acuífero y una hidroquímica dominada por interacción agua–roca; todo ello permitiría identificar fuentes de agua subterránea con capacidad para abastecimiento sostenible.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>1.Las unidades geomorfológicas con mayor potencial para la acumulación de agua en la comunidad de Huisa Collana son las terrazas fluviales y los valles, las cuales resultan más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea debido a su posición topográfica y capacidad de concentración de infiltración.</p> <p>2.Las unidades geológicas con mejores características para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana corresponden a los depósitos cuaternarios, especialmente los aluviales y coluviales, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su mayor permeabilidad.</p> <p>3.Las zonas estructurales con mayor influencia en el comportamiento del agua subterránea en la comunidad de Huisa Collana están asociadas a fallas y sistemas de fracturas, las cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al actuar como vías preferenciales de circulación.</p> <p>4.Las unidades del subsuelo con mejores condiciones para el almacenamiento de agua en la comunidad de Huisa Collana son aquellas que presentan valores bajos de resistividad eléctrica, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al estar asociadas a materiales saturados.</p> <p>5.Las unidades hidrogeológicas con mayor potencial acuífero en la comunidad de Huisa Collana están representadas por acuíferos libres asociados a depósitos aluviales y coluviales, los cuales son más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea por su capacidad de recarga y almacenamiento.</p> <p>6.Las fuentes de agua con mejores características hidroquímicas en la comunidad de Huisa Collana presentan facies bicarbonatadas cárnicas o mixtas, siendo las más favorables para la presencia de potenciales fuentes de agua subterránea al reflejar un origen meteórico y una calidad adecuada para uso poblacional.</p> <p>METODOLOGIA</p> <p>El alcance de esta investigación es descriptivo-explicativo-aplicativo. Es descriptivo, porque se caracterizan las unidades hidrogeológicas, la calidad del agua y las estructuras geológicas presentes en la comunidad de Huisa Collana. Es explicativo, porque se analiza de qué manera la disposición de las estructuras geológicas y la litología influyen en la capacidad de almacenamiento y transferencia de agua subterránea (Hernández et al., 2018).</p> <p>Finalmente, es aplicativo, porque los resultados obtenidos permitirán proponer lineamientos y alternativas de gestión hídrica que contribuyan al aprovechamiento sostenible de los recursos de agua subterránea en la comunidad.</p>	TIPOS	INDICADORES E INDICES		PERSONAL						
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL:		VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	INDICE						
<p>La evaluación hidrogeológica es un conjunto de estudios técnicos que permite caracterizar las condiciones geológicas y hidrológicas de un territorio con el propósito de identificar, cuantificar y evaluar la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas, constituyéndose en una herramienta fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en zonas rurales donde las fuentes superficiales son limitadas o estacionales (Freeze & Cherry, 1979; Custodio & Llamas, 2001). A nivel internacional, diversos organismos han señalado que el uso de aguas subterráneas resulta clave para garantizar la seguridad hídrica frente a la variabilidad climática y al crecimiento de la demanda, particularmente en comunidades rurales y regiones semiáridas, donde la evaluación hidrogeológica permite reducir la vulnerabilidad del abastecimiento de agua potable (UNESCO, 2012; ONU-Agua, 2021). En este contexto, numerosos estudios realizados en América Latina destacan que la identificación de acuíferos mediante evaluaciones hidrogeológicas constituye una alternativa técnica viable para asegurar un suministro continuo y sostenible cuando las fuentes superficiales presentan caudales irregulares.</p> <p>En el ámbito nacional, el Perú enfrenta una marcada desigualdad en la disponibilidad del recurso hídrico, siendo las zonas altoandinas las más afectadas por la estacionalidad de las precipitaciones y la reducción de caudales durante la época seca. En estas áreas, los manantiales y cursos superficiales suelen disminuir significativamente su aporte, generando déficits en el abastecimiento de agua para consumo humano y riego, lo que ha motivado el interés por el aprovechamiento de aguas subterráneas como fuente complementaria; sin embargo, en muchas comunidades rurales persiste la carencia de estudios hidrogeológicos detallados que permitan conocer el potencial real de los acuíferos (Autoridad Nacional del Agua, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).</p> <p>Esta problemática se evidencia a nivel local en la comunidad campesina de Huisa Collana, ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, donde la demanda de agua para consumo humano y actividades productivas supera la capacidad de la fuente superficial existente. Según el Banco de Datos de Pueblos Indígenas, la comunidad cuenta con aproximadamente 170 habitantes, y considerando una dotación recomendada de 100 litros por habitante por día para zonas rurales del Cusco, la demanda anual asciende a 6 205 m³/año (SUNASS, 2016; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento). No obstante, el manantial que abastece actualmente a la población presenta un caudal promedio de 4.67 l/s, el cual se interrumpe durante los meses de mayo a agosto debido a su carácter estacional, generando un déficit aproximado de 2 040 m³/año, equivalente a cerca de un tercio de la demanda anual (Municipalidad Provincial de Espinar, 2023). Esta situación evidencia la insuficiencia y vulnerabilidad de la fuente actual frente a la variabilidad climática, lo que hace necesario evaluar alternativas de abastecimiento. En este sentido, la ausencia de información sobre la ubicación, volumen y calidad de las aguas subterráneas en Huisa Collana sustenta la necesidad de realizar una evaluación hidrogeológica que permita determinar potenciales fuentes de agua subterránea, orientadas a garantizar un suministro continuo y sostenible para la comunidad.</p> <p>FORMULACION DEL PROBLEMA</p> <p>¿Cuáles son las condiciones hidrogeológicas de la comunidad de Huisa Collana que permiten identificar potenciales fuentes de agua subterránea para contribuir al abastecimiento sostenible del recurso hídrico?</p>	<p>Evaluación hidrogeológica Fuentes potenciales de agua subterránea</p>	<p>Estratigrafía Geología estructural Geomorfología Geofísica Hidrogeología Hidroquímica</p>	<p>Características litológicas Características estructurales Características del relieve Características de la roca Características litológicas y estructurales Características químicas e hidroquímicas</p>	<p>Edad Sedimentación Facies Formas estructurales Deformaciones Fisiografía Pendiente Litológia Modo de distribución de poros Contenido de agua Dirección de flujo Geometría de un acuífero pH Temperatura Conductividad eléctrica Componentes químicos mayoritarios y minoritarios</p>	<p>Tesistas Ayudantes Viáticos Tesistas y ayudantes Bienes y materiales Servicios Subtotal Otros gastos Total Gastos 8770 1904</p>							

Capítulo II: Metodología de la investigación

2.1 Metodología de trabajo

2.1.1 Etapa de recopilación de información

Durante el desarrollo de la investigación del área de estudio, se recopilaron y organizaron los datos disponibles a continuación:

- Información geológica y cartográfica del INGEMMET.
- Mapas regionales del INGEMMET.
- Informes técnicos y artículos científicos de la zona de estudio y áreas circundantes.
- Interpretación de información satelital mediante Google Earth

Con la información disponible se elaboraron mapas base con el objetivo de delimitar y definir las zonas de interés en el área de estudio para la obtención de datos de campo; además se elaboraron:

- Mapas topográficos, imágenes satelitales (SAS Planet, Google Earth), mapas geológicos regionales y geomorfológicos preliminares de la zona de estudio.
- Cronograma de actividades.

2.1.2 Etapa de campo

2.1.2.1 Pre campo

En esta etapa se llevó a cabo una revisión bibliográfica del área de estudio y de la información conceptual necesaria, lo que permitió establecer una base teórica sólida para el trabajo. Posteriormente, se elaboraron mapas temáticos de la zona y se desarrollaron actividades de preparación y planificación para el trabajo de campo, asegurando así una adecuada obtención y organización de los datos.

2.1.2.2 Campo

En esta segunda etapa se obtuvieron los siguientes datos tanto en época de lluvias como en época de estiaje:

- Mapeo geológico – hidrogeológico
- Inventario e identificación de fuentes de agua subterránea.
- Muestreo de fuentes de agua subterránea.
- Perfiles geofísicos.
- Toma de registros fotográficos en campo.

2.1.3 Gabinete

En esta etapa final se organizaron, analizaron y procesaron los datos obtenidos en campo:

- Interpretación geológica
- Análisis de parámetros fisicoquímicos de fuentes de agua subterránea.
- Interpretación geofísica
- Interpretación hidrogeológica
- Elaboración de modelo hidrogeológico conceptual

2.2 Método de trabajo

2.2.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación presenta un enfoque mixto, pues implica la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos para un mayor entendimiento en la comunidad de Huisa Collana. Parte de una idea de la que se generan objetivos y preguntas de investigación, se establece una hipótesis y se diseña una metodología para probarlas, se recopilan y analizan los datos obtenidos y finalmente se obtienen conclusiones. (Hernández et al., 2014)

2.2.2 Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación es descriptivo-explicativo-aplicativo. Es descriptivo, porque se caracterizan las unidades hidrogeológicas, la calidad del agua y las estructuras geológicas presentes en la comunidad de Huisa Collana.

Es explicativo, porque se analiza de qué manera la disposición de las estructuras geológicas y la litología influyen en la capacidad de almacenamiento y transferencia de agua subterránea (Hernández et al., 2018).

Finalmente, es aplicativo, porque los resultados obtenidos permitirán proponer lineamientos y alternativas de gestión hídrica que contribuyan al aprovechamiento sostenible de los recursos de agua subterránea en la comunidad.

2.2.3 Diseño de la investigación

Esta investigación presenta un diseño no experimental porque se realiza una obtención de datos en campo y se analizan e interpretan para comprobar una hipótesis

El tipo de diseño no experimental corresponde al evolutivo porque se analizarán las variaciones de los datos hidrogeológicos e hidroquímicos recolectados en temporadas de lluvia y estiaje. (Hernández et al., 2014)

2.3 Equipos y materiales

Equipos:

- **Equipos para campo:** Brújula geológica, picota, GPS, cinta métrica, cronómetro, tubos de PVC, bolsas para recolección de muestras, cámara fotográfica.
- **Equipos para gabinete:** Laptop

Materiales:

- **Materiales para campo:** Imagen satelital, mapa base, tablero, colores, protactor, lupa de mano, rayador, ácido clorhídrico, etc.
- **Equipos para gabinete:** Laptop

2.4 Procesamiento de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos recolectados tanto en campo como en gabinete, se emplearán los siguientes programas informáticos: ArcGIS, Google Earth, Leapfrog Geo, SAS Planet, Dips, Microsoft Office y AquaChem.

Capítulo III: Marco teórico - Conceptual

3.1 Marco referencial

3.1.1 Antecedentes internacionales

En 2017, Ford y Williams, en la investigación *Karst hydrogeology and geomorphology*, desarrollada en diversas regiones kársticas de Norteamérica y Europa, establecieron modelos conceptuales de flujo subterráneo en acuíferos carbonatados, demostrando que las fallas, diaclasas y planos de estratificación controlan la permeabilidad secundaria y la conectividad hidráulica. Estos aportes metodológicos permiten comprender la dinámica de los sistemas kársticos y sirven como referencia para la identificación de fuentes potenciales de agua subterránea en zonas estructuralmente complejas.

En 2019, Jadoon et al., en el estudio *Groundwater potential assessment in mountainous areas using GIS-based multicriteria analysis*, aplicado en la cuenca del Alto Atlas en Marruecos, integraron variables geológicas, geomorfológicas, estructurales y climáticas mediante Sistemas de Información Geográfica para delimitar zonas con alto potencial de agua subterránea. Los resultados demostraron que la pendiente, los lineamientos estructurales y la litología son factores determinantes en la recarga y almacenamiento del recurso, aportando un enfoque metodológico replicable en regiones montañosas de similar complejidad topográfica.

En 2021, Rahmati et al., en la investigación *Groundwater potential mapping in fractured carbonate aquifers using remote sensing and GIS*, desarrollada en zonas montañosas de Irán, aplicaron técnicas de teledetección y análisis multicriterio para identificar áreas favorables para la explotación de aguas subterráneas. El estudio evidenció que la combinación de lineamientos estructurales, drenaje y unidades litológicas permite mejorar la delimitación de zonas con potencial hídrico, aportando herramientas aplicables a estudios hidrogeológicos en contextos de información limitada.

3.1.2 Antecedentes nacionales

En 2016, Salas et al., en la investigación *Caracterización geológica e hidrogeológica de formaciones carbonatadas en la cuenca alta del río Apurímac*, identificaron la influencia determinante de la litología y la estructura geológica en la dinámica de las aguas subterráneas. Mediante mapeo geológico y análisis estructural, se estableció que la permeabilidad secundaria en calizas del Cretácico superior está controlada por sistemas de fracturas abiertas que direccionan el flujo subterráneo hacia manantiales de ladera.

En 2019, Quispe et al., en el estudio *Hidroquímica de aguas subterráneas en acuíferos carbonatados del sur del Perú*, realizaron análisis físico-químicos que evidenciaron el predominio de facies bicarbonatadas cárnicas, típicas de acuíferos desarrollados en calizas. Asimismo, se identificaron variaciones estacionales en las concentraciones de Ca^{2+} y HCO_3^- , asociadas a procesos de disolución de la roca y a la recarga directa por precipitación.

En 2020, Paredes et al., en la investigación *Evaluación hidrogeológica en formaciones calcáreas del Cretácico superior en la cuenca de Vilcanota*, integraron mapeo geológico, análisis estructural, estudios geofísicos e hidroquímicos para desarrollar un modelo conceptual del sistema acuífero. El modelo identificó zonas de recarga en áreas de mayor altitud, tránsito subterráneo controlado por fracturas y zonas de descarga localizadas en manantiales asociados a contactos litológicos y estructurales.

En 2021, Huamán et al., en el estudio *Modelamiento conceptual hidrogeológico en microcuencas de predominio calcáreo*, elaboraron un esquema integral que incluyó geología, geomorfología, estructura, geofísica e hidroquímica. Se concluyó que los flujos subterráneos están fuertemente condicionados por la tectónica local y la distribución de unidades permeables, permitiendo identificar zonas con alto potencial para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

3.1.3 Antecedentes locales

En 2013, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), mediante la Resolución Administrativa N.º 0375-2013-ANA/ALA AAV, otorgó la licencia de uso del recurso hídrico correspondiente al manantial Choquepito, ubicado en la comunidad campesina de Huisa Collana, distrito y provincia de Espinar, región Cusco, dentro de la unidad hidrográfica del Alto Apurímac. La resolución estableció un área bajo riego de 14 hectáreas y un volumen máximo anual autorizado de 105 327,08 m³/año, proporcionando parámetros oficiales de disponibilidad y aprovechamiento del recurso hídrico relevantes para la presente investigación.

En el estudio *Evaluación hidrogeológica de las cuencas Cañipía y Salado*, Peña Laureano et al. (2013) identificaron un total de 167 manantiales y galerías. El análisis hidrogeológico determinó la presencia de acuíferos porosos cuaternarios y acuíferos fisurados en las formaciones Ferrobamba y Yauri, así como en materiales volcánicos y sedimentarios. Asimismo, se reconocieron acuitardos en las formaciones Anta, Yauri y en el batolito Andahuaylas–Yauri. La calidad del agua se vio influenciada por sulfatos y metales asociados a procesos volcánicos. Este antecedente proporciona un marco hidrogeológico regional aplicable a la zona altoandina del sur del Perú.

En 2019, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), mediante la Resolución Directoral N.º 0873-2019-ANA-AAA.PA, aprobó la evaluación de la disponibilidad hídrica del manantial Huayllapujio, ubicado en el distrito de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco, perteneciente a la unidad hidrográfica Alto Apurímac. El estudio determinó una disponibilidad hídrica anual de 109 795,61 m³/año, con variaciones mensuales significativas, y georreferenció el punto de captación en coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S. Este antecedente constituye una referencia directa para la evaluación de fuentes subterráneas en la zona de estudio.

En 2024, Carlotto y Cárdenas, en el estudio *Geología, mineralizaciones y aguas subterráneas del distrito minero Tintaya–Antapaccay*, realizaron una actualización geológica y estructural que permitió identificar 15 fallas principales con un rol determinante en el control de los bloques hidrogeológicos. Dichas estructuras influyen directamente en los flujos de agua subterránea, actuando como sellos, corredores o barreras dentro del sistema kárstico local. Este antecedente resulta fundamental para comprender la influencia tectónica sobre la dinámica hidrogeológica en la comunidad de Huisa Collana y su entorno inmediato.

3.2 Marco teórico-conceptual

Evaluación hidrogeológica

Análisis integral de las condiciones geológicas, estructurales, hidráulicas y geoquímicas que controlan la ocurrencia, almacenamiento, circulación y calidad del agua subterránea en una determinada área. Esta evaluación comprende el estudio de las unidades hidrogeológicas, los parámetros hidráulicos como permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, así como la interacción entre el agua subterránea y el medio geológico, permitiendo comprender el funcionamiento del sistema acuífero y su comportamiento frente a los procesos naturales y a la intervención antrópica (Custodio & Llamas, 1983; Villarroya, 2009).

Fuentes potenciales de agua subterránea

Formaciones geológicas que presentan condiciones favorables para el almacenamiento y transmisión de agua, tales como acuíferos libres, confinados o semiconfinados. La identificación de estas fuentes se basa en el análisis de la litología, la estratigrafía, la estructura geológica, la geomorfología y la calidad del agua, permitiendo reconocer zonas con mayor probabilidad de explotación sostenible del recurso hídrico subterráneo (Gonzáles, 2002; Custodio & Llamas, 1983).

Geología

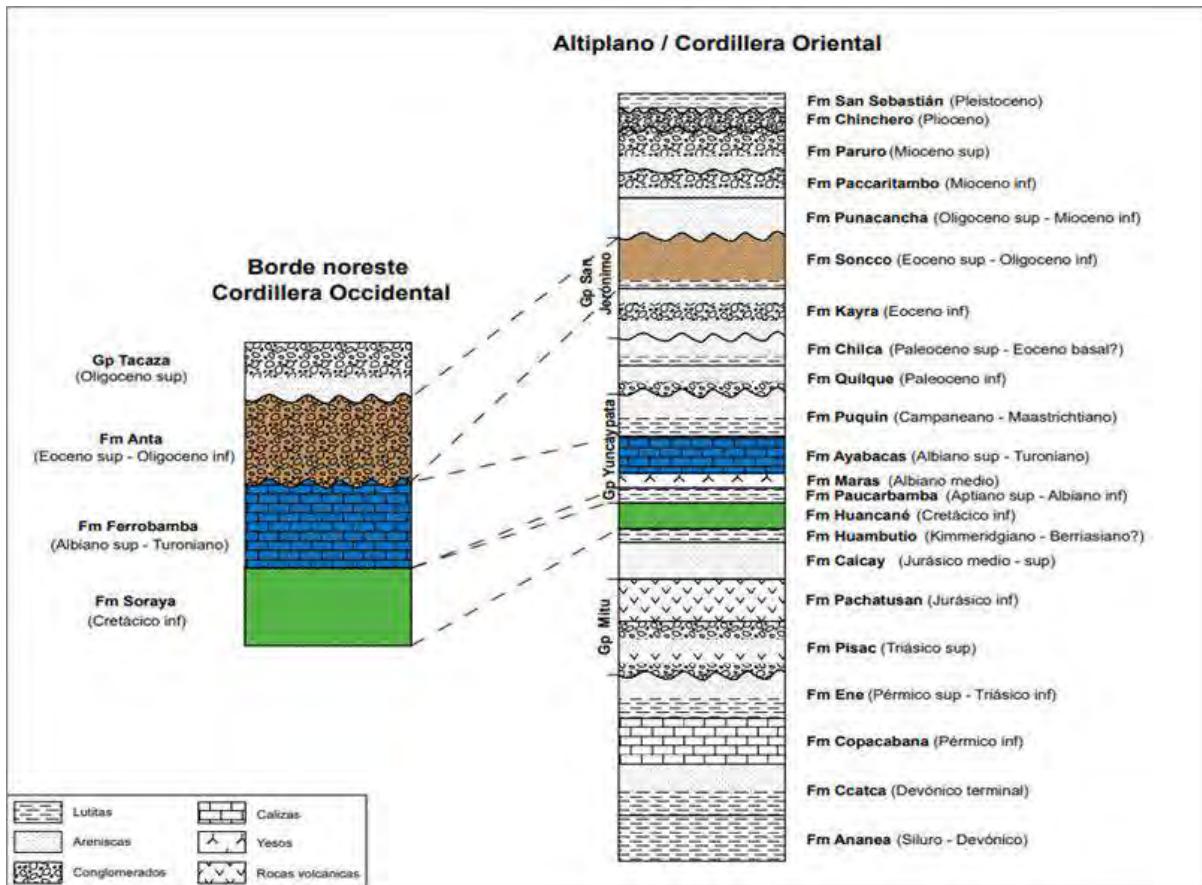
La Geología es la ciencia que estudia la composición, estructura, evolución y dinámica del planeta Tierra. Tradicionalmente, se divide en dos grandes ramas: Geología física y Geología histórica. La Geología física se ocupa del análisis de los materiales que constituyen la Tierra, así como de los procesos internos y externos que actúan sobre su superficie. En cambio, la Geología histórica se centra en investigar el origen del planeta y su transformación a lo largo del tiempo geológico (Tarbuck & Lutgens, 2010).

Estratigrafía

La Estratigrafía es una rama de la Geología que se encarga del análisis e interpretación de las rocas estratificadas, abarcando su identificación, descripción y también de su distribución tanto vertical como lateral. Además, se ocupa de la elaboración de mapas geológicos y de la correlación entre diferentes unidades estratigráficas, permitiendo establecer la secuencia y cronología de los eventos geológicos en el tiempo. En este sentido, el registro estratigráfico representa el resultado acumulado de procesos sedimentarios a lo largo del tiempo geológico, y constituye una fuente clave de información para comprender la evolución de la vida, la dinámica de las placas tectónicas y los cambios climáticos globales (SGM, 2016).

Figura 3

Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales



Fuente: Carlotto et al., (2011).

Geomorfología

Estudia las formas del relieve y los procesos que las originan, permitiendo comprender la relación entre topografía, drenaje superficial, infiltración y recarga de los acuíferos. El análisis geomorfológico es clave para interpretar la evolución del paisaje y su influencia sobre los procesos hidrológicos y erosivos (Strahler, 1952).

Geofísica

Proporciona información indirecta sobre la estructura del subsuelo mediante métodos que permiten identificar variaciones litológicas, zonas saturadas y discontinuidades estructurales. Su

aplicación es fundamental para la delimitación de acuíferos, la estimación de su espesor y la identificación de zonas favorables para la captación de agua subterránea (Custodio & Llamas, 1983).

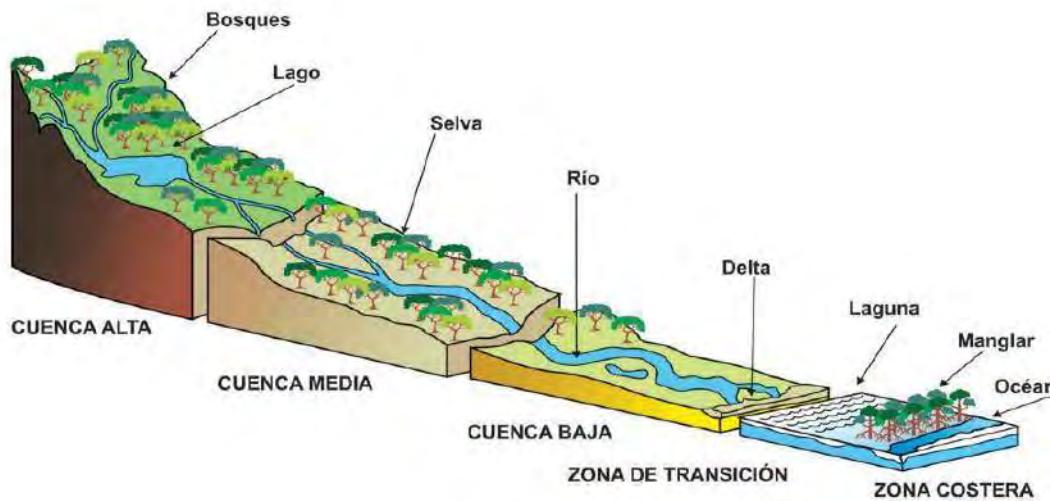
Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica hace referencia a la definición geográfica de la misma, que delimita una superficie donde el agua fluye hacia un punto común de drenaje. Solamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos. (Ordoñez, 2011).

Cuenca hidrográfica es una unidad territorial definida por una divisoria topográfica de aguas, drenada por un curso de agua o un sistema conectado tal que todo el caudal efluente desemboca en un único punto de salida. (Monsalve G., 1999).

Figura 4

Partes de una cuenca hidrográfica



Fuente: Araujo (2020).

Curva hipsométrica:

La curva hipsométrica constituye una herramienta esencial para analizar la distribución altitudinal del relieve dentro de una cuenca hidrográfica, desde sus zonas más elevadas hasta las

más bajas. Esta curva se construye graficando, en el eje Y (ordenadas), las distintas elevaciones relativas respecto a la altitud máxima de la cuenca, y en el eje X (abscisas), la proporción del área acumulada por encima de cada nivel altitudinal, expresada como fracción del área total. Su interpretación permite evaluar el grado de desarrollo del relieve y la etapa evolutiva de la cuenca, brindando información clave para estudios geomorfológicos, hidrológicos y de procesos erosivos. (Strahler, 1952)

Factor de forma:

El Factor de forma es un índice geométrico que relaciona el área total de una cuenca hidrográfica con el cuadrado de su longitud axial. Este parámetro permite caracterizar la forma de la cuenca y su influencia sobre el comportamiento del escurrimiento superficial. Valores elevados del factor indican una cuenca de configuración más ancha, con mayor probabilidad de generar caudales pico en menor tiempo. Por el contrario, valores bajos corresponden a cuencas alargadas, cuya respuesta hidrológica tiende a ser más gradual y atenuada. (Perez, 1979).

Tabla 4

Forma de la cuenca de acuerdo al valor del factor de forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Perez, 1979.

Balance hídrico

El balance hídrico en una cuenca se basa en el principio de conservación de la masa, según el cual la variación en el almacenamiento de agua es equivalente a la diferencia entre los aportes y las pérdidas del sistema. Cuando las condiciones hídricas al inicio y al final del período de análisis permanecen constantes, se considera que no hay cambio en el almacenamiento (es decir, este valor es igual a cero). Este principio es aplicable a cualquier cuenca cerrada, siempre que se evalúe dentro de un intervalo de tiempo definido. (Martínez et al., 2006)

Ciclo hidrológico

Es el sistema natural mediante el cual el agua se moviliza desde los océanos y mares hacia la atmósfera, y desde allí hacia los continentes, retornando posteriormente —ya sea por vías superficiales o subterráneas— a los cuerpos oceánicos. (Collazo & Montaño, 2012)

Factores que influyen fundamentalmente en los procesos del ciclo hidrológico son los factores climáticos, como la temperatura del aire, intensidad de los vientos, humedad relativa del aire, insolación, tipo y densidad de la cobertura vegetal. (Collazo & Montaño, 2012)

Figura 5
Ciclo hidrológico



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2019.

Permeabilidad

La permeabilidad es el caudal que pasa a través de la sección unidad del acuífero bajo un gradiente hidráulico unitario y a una temperatura constante.

Los factores para poder determinar la permeabilidad pueden ser intrínsecos y extrínsecos. Los primeros son propios del acuífero y depende del tamaño de poros. Por otro lado, los segundos dependen del fluido y fundamentalmente son la viscosidad y peso específico. Para tener idea de los órdenes de magnitud, se tiene la tabla que da Benítez (1963), a 10 C y bajo un gradiente de 1 m por metro (Custodio & Llamas, 1983).

Tabla 5

Permeabilidad en tipos de terrenos, clasificación de tipo de acuífero y capacidad de drenaje

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

Fuente: Custodio & Llamas, 1983.

Porosidad

La porosidad viene dada por la relación que se da entre el volumen de su parte vacía o la ocupada por aire o agua y el volumen total. (Custodio & Llamas, 1983)

Porosidad intergranular

Las rocas detríticas no consolidadas suelen tener una porosidad característica, conformada por una compleja red de canales de pequeño diámetro que permiten el paso del agua subterránea. Esta red generalmente se distribuye a lo largo de todo el volumen de la roca. La variación en el tamaño de los clastos influye de manera directa en el grado de porosidad. (Martínez, 2006)

Porosidad por fisuración

Está determinada por la historia tectónica de la zona y por su litología; es decir, cómo ha respondido a los esfuerzos cada tipo de roca presente en el área de estudio. En este tipo de porosidad es importante la posible disolución de la fractura o, por el contrario, la colmatación por minerales arcillosos o precipitación de otros minerales. (Sánchez, 2020)

Porosidad por disolución

Se trata de un tipo de porosidad característica de medios kársticos, donde el agua, al infiltrarse por pequeñas fisuras y planos de estratificación, disuelve progresivamente la roca. Este proceso da lugar a la formación de extensas redes de drenaje tridimensionales, a través de las cuales pueden fluir verdaderos ríos subterráneos. (Martínez et al., 2006)

Temperatura (T°)

La temperatura es uno de los parámetros más importantes y fundamentales de la calidad de agua debido a que afecta las funciones de los organismos acuáticos y la química del agua.

De una manera general, se acepta que un agua que presenta una temperatura 4 °C por encima de la temperatura media de la atmósfera se considera termal. El origen de la temperatura de las aguas se encuentra principalmente en la radiación solar y en el flujo calorífico interno; otras posibles fuentes (frotamientos, reacciones exotérmicas) tienen influencia puramente anecdótica. Las desintegraciones radiactivas sí pueden ser una fuente notable de calor. (Pulido, 2007)

Hidrogeología

La hidrología subterránea es una rama de la hidrología que se encarga del estudio del almacenamiento, movimiento y distribución del agua en la zona saturada de las formaciones geológicas. Este campo considera las características físicas y químicas del agua, su interacción con

el entorno físico y biológico, así como su respuesta ante las actividades humanas. (Custodio & Llamas, 1983).

Unidades hidrogeológicas

Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro de la unidad podrá haber uno o varios acuíferos y quizá acuitardos o acuicludos entre ellos. Se consideran una unidad porque están conectados de modo que su funcionamiento (entradas, salidas, alance) hay que estudiarlo de un modo conjunto. Esta agrupación de formaciones es relativamente subjetiva, depende de la escala y de los objetivos del estudio. (González, 2002)

Clasificación desde el punto de vista hidrogeológico de las formaciones geológicas:

Acuíferos. Son materiales con capacidad tanto de almacenamiento como de transmisión de agua, como es el caso de las gravas, arenas y rocas calizas. (González, 2002)

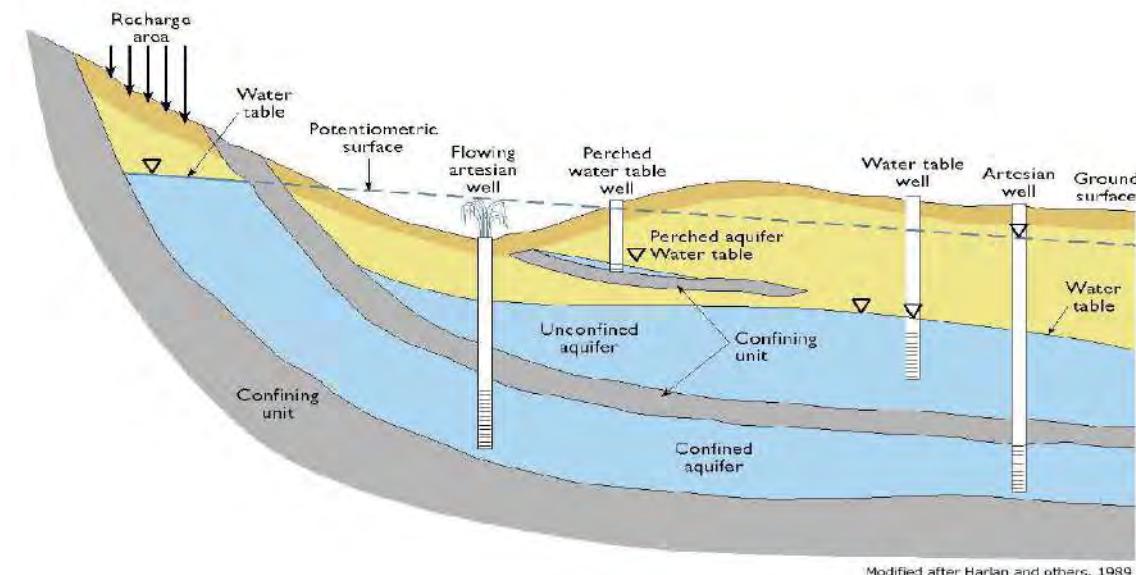
Acuitardos. Capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con mucha dificultad; se suele denominar con frecuencia como formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.). (González, 2002)

Acuicludos. Son materiales que pueden retener grandes volúmenes de agua, pero carecen de la capacidad para transmitirla, ya que el agua queda atrapada en los poros de la formación sin poder liberarse. Ejemplos de estos materiales incluyen arcillas, arcillas plásticas y limos arcillosos. (González, 2002)

Acuifugos. Son formaciones incapaces de almacenar y de transmitir agua; están representados por rocas compactas, tal es el caso de los granitos y gneises, y a veces incluso calizas muy compactas sin Karstificar. (González, 2002)

Figura 6

Ciclo hidrológico modificado según Harlan



Fuente: Modificado según Harlan, 1989 como lo cito (Ingol & Castañeda Zavaleta, 2017)

Transmisividad

La transmisividad es el caudal que se filtra a través de una franja vertical del terreno, con un ancho unitario y una altura equivalente al espesor del manto permeable saturado, bajo un gradiente hidráulico unitario y a una temperatura constante. (Custodio & Llamas, 1983)

Sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud, es decir

$$(T) = [L]^2 \times [T]^{-1}$$

expresándose en consecuencia en m²/día o cm²/seg.

Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento, representado por **S**, es un parámetro adimensional que se define como el volumen de agua liberado por un prisma vertical del acuífero con sección unitaria y una altura equivalente al espesor saturado, cuando se produce un descenso unitario del nivel piezométrico o de la carga hidráulica. (Villarroya, 2009)

Conductividad eléctrica (CE)

Este parámetro permite evaluar cuán fácilmente una sustancia puede conducir la corriente eléctrica. En el caso del agua, su conductividad se incrementa a medida que aumenta su contenido de sales disueltas y su temperatura, por lo que es necesario referir su valor a una temperatura estándar (generalmente 18 °C o 25 °C). La magnitud opuesta a la conductividad eléctrica es la resistividad. (Pulido, 2007)

Diagramas hidroquímicos

Estos diagramas tienen como finalidad resaltar la composición iónica de un agua para permitir compararla con otras aguas en sus diferentes variantes. El estudio y manejo de análisis químicos se puede simplificar con el empleo de gráficos y diagramas, especialmente cuando se trata de comparar entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas distintas o de diferentes lugares. Estas gráficas y diagramas pueden poner de relieve variaciones temporales, variaciones espaciales o bien resaltar relaciones entre los iones de una misma muestra. (Custodio & Llamas, 1983)

Diagrama de Piper

Se trata de un diagrama trilineal utilizado para analizar la composición iónica de varias muestras de agua, lo que permite identificar su carácter geoquímico y los posibles procesos que influyen en dicha composición. El esquema está formado por dos triángulos en la parte inferior, que representan las proporciones relativas de cationes y aniones, y un rombo superior que integra ambos conjuntos de datos. La ubicación de un punto en el rombo refleja la composición relativa de la muestra, lo que facilita su clasificación en función de su facies hidroquímica, determinada por los iones predominantes. (Appelo & Postma, 1996)

Es un esquema trilineal que permite observar la composición iónica de múltiples muestras e identificar la composición geoquímica de las aguas, así como algunos procesos que pueden

controlar o alterar dicha composición. Consiste en dos triángulos inferiores que describen las composiciones relativas de cationes y aniones junto a un diamante en la parte superior que combina la composición de cationes y aniones mayoritarios; la composición relativa de la muestra queda indicada por un punto en el diamante, el cual permite clasificarla con base en su facies hidroquímica, según el o los iones dominantes. (Appelo & Postma, 1996)

Diagrama de columnas verticales logarítmicas de Schoeller-Berkaloff

Este tipo de diagramas resulta más adecuado para zonas de estudio con aguas de composición química poco diversa. Para su construcción se traza varias semirrectas verticales, paralelas y equidistantes, a cada una de las cuales se le asigna un catión o anión específico. Desde un punto de origen común, se trazan segmentos cuya longitud es proporcional a la concentración del ion respectivo, expresada en meq/l, ppm o porcentaje. Al conectar los puntos resultantes, se forma una línea quebrada. En este formato, solo es posible representar simultáneamente un número limitado de análisis. (Custodio & Llamas, 1983)

Diagrama de Stiff modificado

Es un diagrama en forma de polígono que se construye utilizando tres o cuatro ejes horizontales distribuidos a ambos lados de un eje vertical central que representa el valor cero. En cada eje, las concentraciones de cationes se grafican hacia la izquierda y las de aniones hacia la derecha, expresadas en meq/l. Este tipo de gráfico permite una visualización rápida y comparativa de la calidad del agua en diferentes lugares. (Appelo & Postma, 1996)

Índice de Ion de Hidrógeno (pH)

El pH se define como el logaritmo decimal inverso de la concentración de iones hidrógeno (H^+). En el caso del agua pura a 25 °C, su valor es 7, lo cual se considera un medio neutro; valores superiores indican condiciones alcalinas, mientras que valores inferiores corresponden a medios ácidos. (Pulido, 2007)

Capítulo IV: Geomorfología

4.1 Geomorfología regional

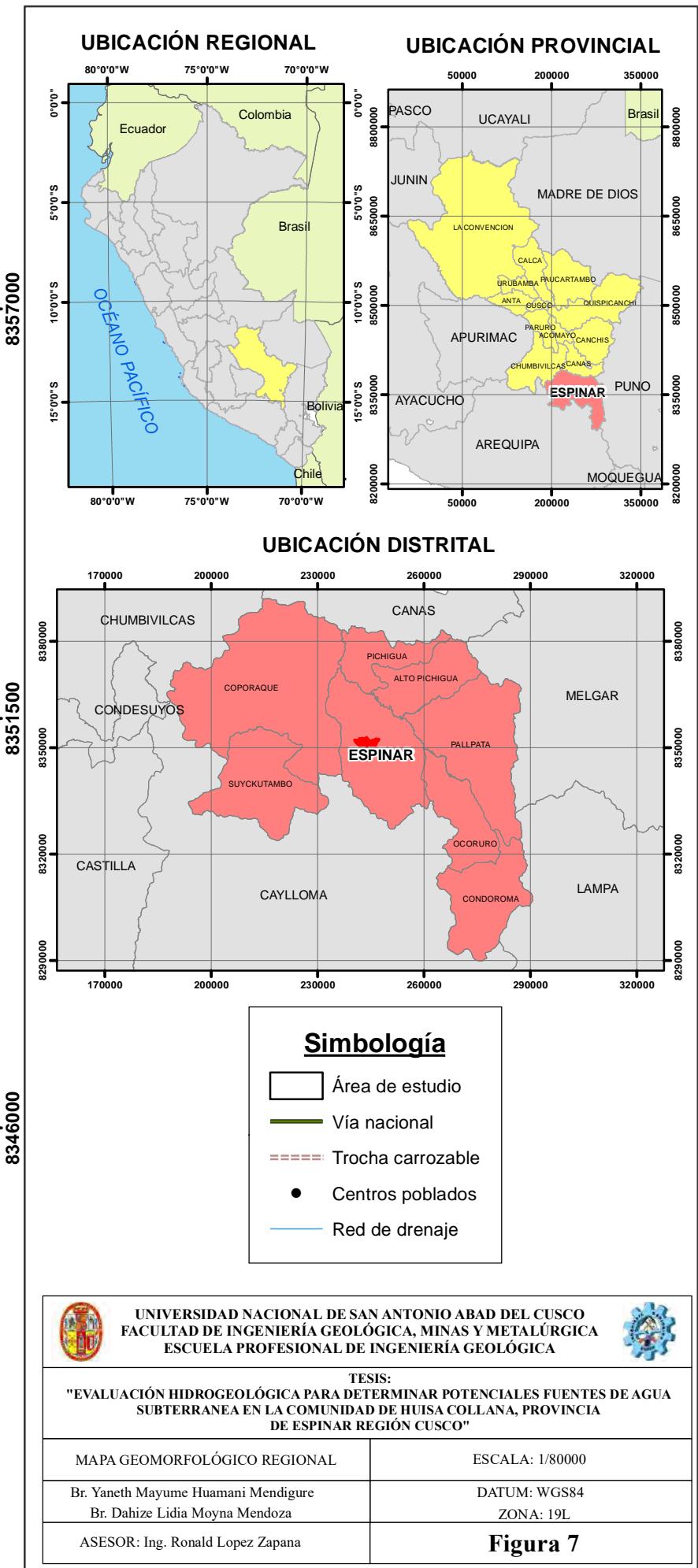
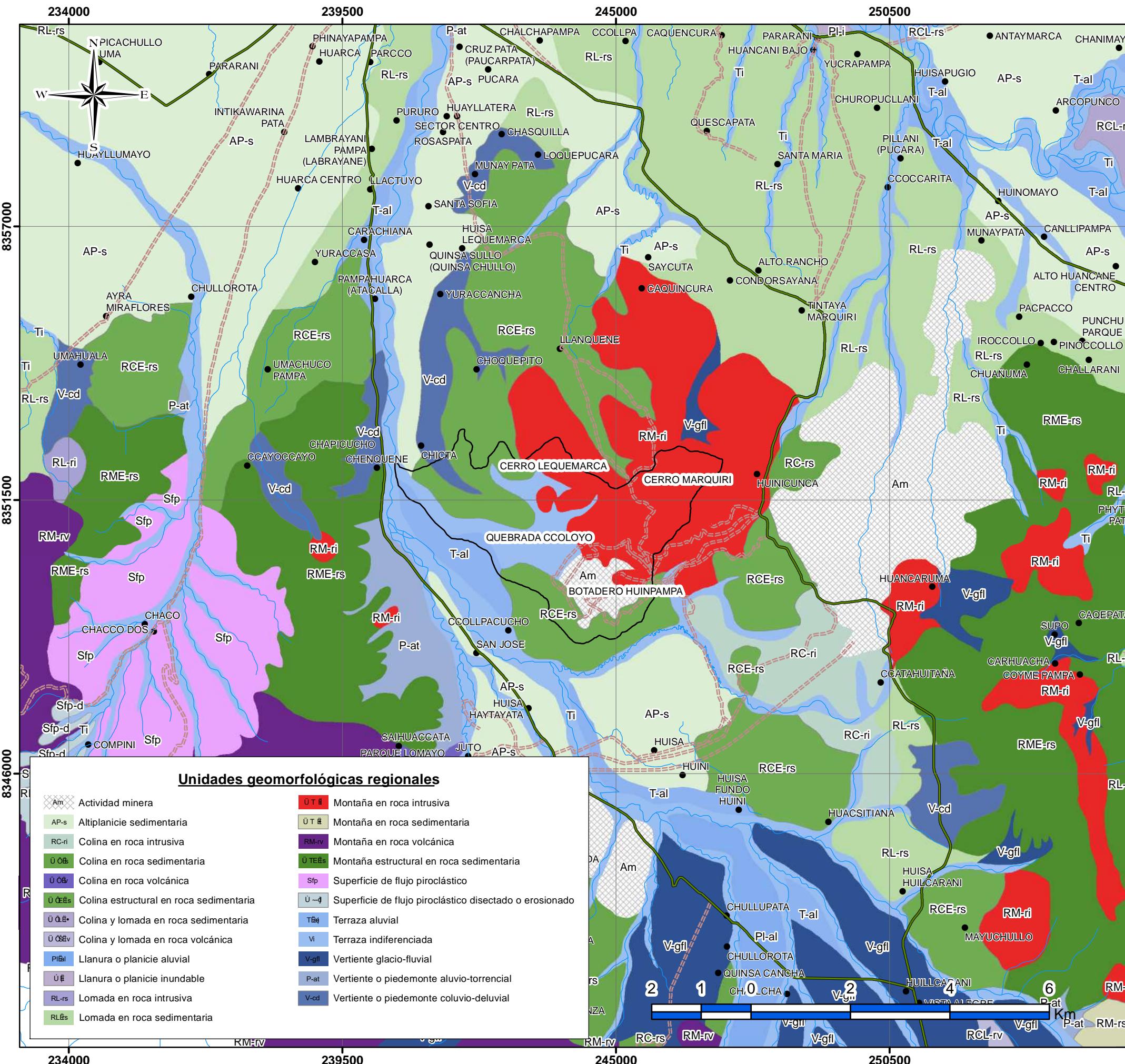
Según la clasificación geomorfológica regional propuesta por De la Cruz (1995), se reconocen dos unidades principales. La primera corresponde a una altiplanicie, ubicada entre los 3900 y 4000 m.s.n.m., caracterizada por una superficie suavemente ondulada donde se identifican antiguos cauces fluviales actualmente abandonados. Sobre esta superficie, los ríos activos desarrollan trazos meándricos. La segunda unidad está conformada por cerros, con altitudes que oscilan entre los 4000 y 5400 m.s.n.m., donde la dinámica geodinámica resulta intensa y activa, especialmente en las cabeceras de quebradas.

De acuerdo con Vilchez et al. (2020), además de las unidades mencionadas, en la región se reconocen montañas, vertientes coluvio-deluviales y valles, cada una con características morfoestructurales y procesos geodinámicos particulares. Dentro de la unidad de montañas, se diferencian colinas estructurales en roca sedimentaria, de distribución restringida en localidades como Arcurquina y Ausangate, y montañas en roca intrusiva, constituidas por afloramientos graníticos y dioríticos. Estas últimas presentan pendientes abruptas (25° – 45°), intensamente disectadas por ríos y quebradas que conectan la Cordillera de los Andes con la cuenca amazónica.

Las vertientes o piedemontes coluvio-deluviales corresponden a acumulaciones de depósitos heterométricos en la base de laderas y escarpes, producto de procesos gravitacionales, erosivos y de escorrentía superficial. La estabilidad de estos depósitos depende de la pendiente y del grado de consolidación del material, pudiendo desencadenar deslizamientos o flujos de detritos durante períodos de lluvias intensas. Estas geoformas cumplen un rol clave en la redistribución de sedimentos y en la evolución morfodinámica del relieve andino.

Finalmente, la unidad de valles incluye terrazas aluviales e indiferenciadas, formadas por la acción fluvial que ha modelado la Cordillera de los Andes. Las terrazas aluviales se originan por procesos de sedimentación seguidos de incisión fluvial, reflejando variaciones hidrológicas y geomorfológicas a lo largo del tiempo. En determinados sectores, la actividad minera ha modificado estas geoformas, generando depósitos antrópicos (relaves y escombreras) que alteran la dinámica fluvial y representan un factor de impacto sobre la calidad del agua superficial.

Figura 7
Mapa geomorfológico regional de la microcuenca Ccoloyo



4.2 Geomorfología local

En la comunidad Huisa Collana se ha definido una microcuenca denominada Ccoloyo. En la microcuenca Ccoloyo se han identificado nueve unidades geomorfológicas locales, las cuales se diferencian entre sí por: su origen sedimentario, estructural y litológico. Estas unidades se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6

Superficies ocupadas por las unidades geomorfológicas en la microcuenca de Ccoloyo

Tipo	Unidad Geomorfológica	Símbolo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Colinas	Colina alta de pendiente alta en Roca Intrusiva	Coa-Pa-Ri	183.53	12.95
	Colina alta de Pendiente Moderada en Roca Intrusiva	Coa-Pm-Ri	300.45	21.20
	Colina baja en Roca sedimentaria	Cob-Rs	192.66	13.59
Meseta	Meseta baja en Roca Sedimentaria	Mb-Rs	72.01	5.08
	Terraza	Te	250.64	17.68
	Terraza aluviofluvial	T-al	55.65	3.93
Planicies	Terraza fluvial	T-fl	117.28	8.28
	Cauce de quebrada	Ca-q	5.13	0.36
	Planicie en roca sedimentaria	Pl-Rs	239.95	16.93

Fuente: Propia

4.2.1 Colinas

Ocupa una extensión de 676.64 has, que representa el 47.74 % de la superficie total de la microcuenca de Ccoloyo. En esta zona, considerando la forma del relieve, la pendiente y las características litológicas, se han definido tres unidades geomorfológicas. Cada una de ellas cuenta con una superficie determinada y un porcentaje correspondiente del área total del territorio. El detalle se muestra en la Tabla 6.

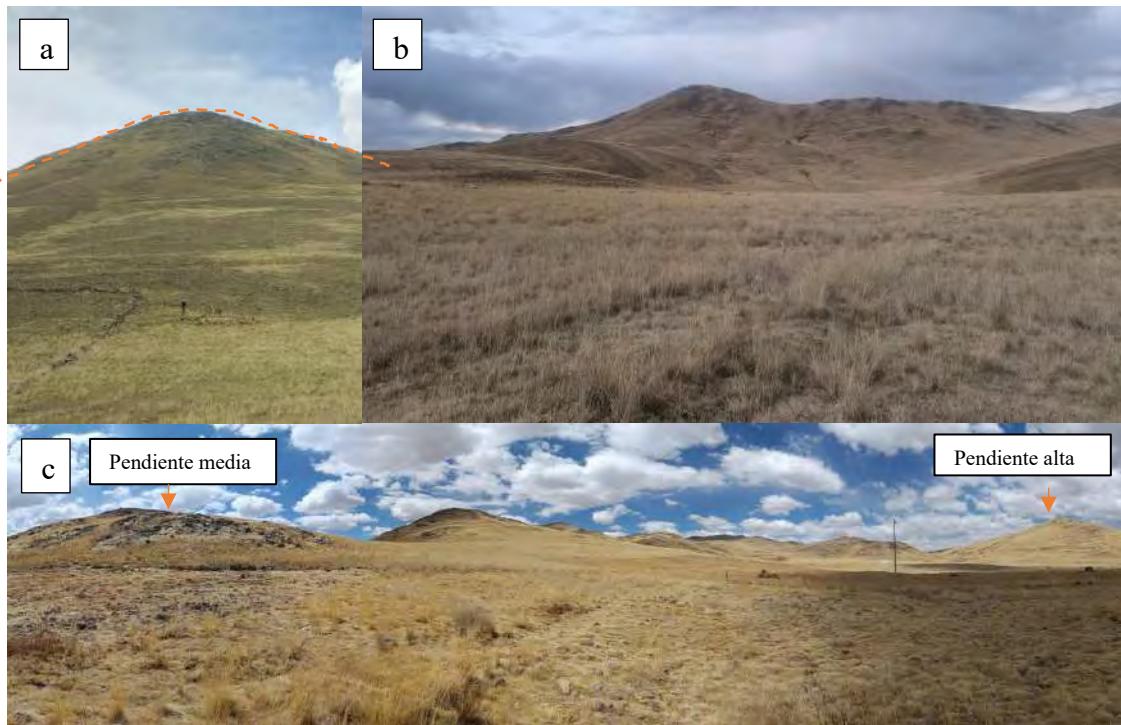
Colina alta de pendiente alta en Roca Intrusiva (Ca-Pa-Ri)

Corresponde a la superficie de terreno con altitudes aproximadas que van desde los 4040 hasta los 4290 m.s.n.m. La pendiente dominante se encuentra dentro del rango de 25 a 50 %. Se observan colinas hacia el lado norte de la cuenca, en el cerro Lequemarca, donde forman pequeñas cadenas con cimas redondeadas producto de la erosión (Ver fotografía 1). Las cimas presentan cierto redondeamiento debido a la erosión además de que la pendiente disminuye.

Ocupan una extensión de 183.53 has, representando un 12.9 % respecto al área total de la microcuenca. Litológicamente están asociadas a rocas intrusivas de la unidad Choquechambe, la superficie está cubierta por escasa vegetación y pequeños afloramientos de la misma roca.

Fotografía 1

Colinas altas de pendiente pronunciada y media, con afloramientos de la Unidad Choquechambe.



En la fotografía se observa en (a) colinas altas de pendiente pronunciada, con afloramientos rocosos pertenecientes a la Unidad Choquechambe (UTM: 244297 E – 8351719 N); en (b) colinas altas de pendiente alta; y en (c) una vista panorámica donde se distinguen ambas unidades geomorfológicas.

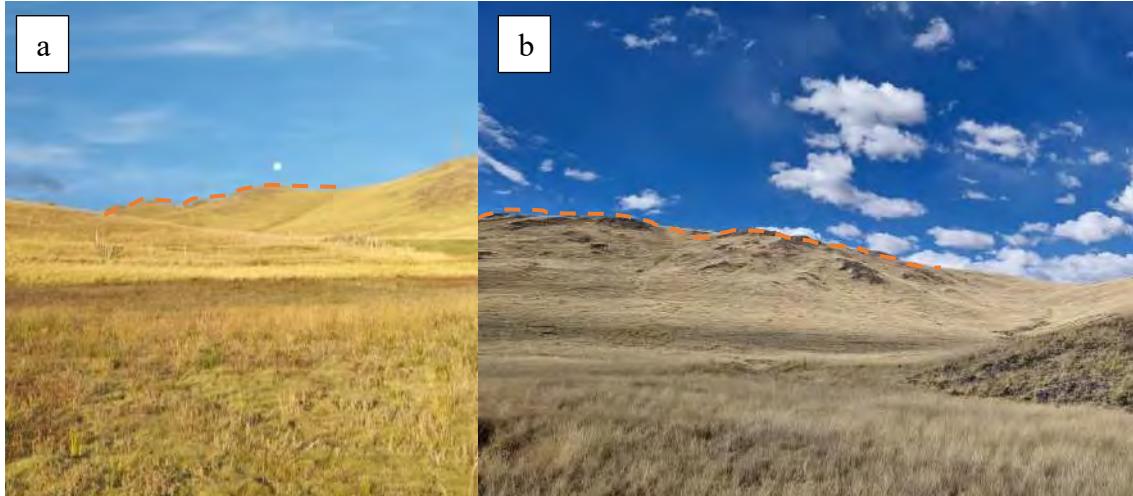
Colina alta de Pendiente Moderada en Roca Intrusiva (Ca-Pm-Ri)

Corresponde a la superficie de terreno con altitudes aproximadas que van desde los 4180 hasta los 4460 m.s.n.m. La pendiente dominante fluctúa en el rango de 15 a 25 %. Se observan colinas hacia el lado noreste de la microcuenca, en el cerro Marquiri y adyacentes a la parte superior de la quebrada Ccoloyo, formando pequeñas cadenas (ver fotografía 2). Las cimas se presentan medianamente redondeadas debido a la erosión y la pendiente ahí disminuye.

Ocupan una extensión de 300.45 has, representando el 21.20 % de la superficie total de la cuenca. Litológicamente están asociadas a rocas intrusivas de la unidad Choquechambe, la superficie está cubierta por escasa vegetación y pequeños afloramientos rocosos.

Fotografía 2

Cadena de colinas altas de pendiente moderada.



Vista de la unidad geomorfológica correspondiente a colinas altas de pendiente moderada: (a) cadena de colinas altas de pendiente moderada (UTM: 244762E – 8351762N); (b) vista complementaria de la misma unidad geomorfológica.

Colina baja en Roca sedimentaria (Cb-Rs)

Corresponde a la superficie de terreno con una altura que va desde los 3990 hasta los 4080 m.s.n.m y cuya pendiente dominante se encuentra en un rango de 15 a 25% (moderada). Se observan colinas hacia el lado sur y noroeste de la cuenca, vinculadas a la comunidad de Huisa y a los cerros de Huisajuluyo y Hunipampa, Forman pequeñas cadenas hacia el sur u noroeste de la microcuenca. Las cimas se presentan notoriamente redondeadas y las laderas presentan ondulaciones debido a procesos denudacionales y de erosión.

Ocupa una extensión de 192.66 hectáreas que equivale al 13.59 % del área total de la microcuenca. Litológicamente, está constituida por rocas sedimentarias correspondientes a calizas de la Formación Arcurquina (ver fotografía 3).

Fotografía 3

Colina baja, se observan afloramientos rocosos de calizas de la Formación Arcurquina.



Vista de la unidad geomorfológica correspondiente a colinas bajas conformada por calizas de la Formación Arcurquina, coordenadas UTM: 242675E - 8351549N.

4.2.2 Mesetas

Mesetas bajas en roca sedimentaria (Mb-Rs)

Corresponde a planicies elevadas relativamente planas, sus bordes están moderadamente escarpados y éstos los separan de las terrazas que se encuentran en la parte baja (ver fotografía 4). Debido a la fuerte erosión, en la microcuenca de Ccoloyo, las mesetas perdieron elevación, comprendiendo altitudes desde los 4020 hasta los 4060 m.s.n.m., se presentan con formas redondeadas con ondulaciones debido a la erosión y los procesos denudacionales. Se observan mesetas hacia el lado noroeste de la microcuenca, en los alrededores de la Quebrada Coloyo y el cerro Lequemarca. Esta unidad geomorfológica ocupa un espacio de 72.01 has que corresponde a un 5.08 % de la superficie total. Litológicamente están asociadas al Grupo Maure.

Fotografía 4

Mesetas bajas en roca sedimentaria del Grupo Maure.



Vista de la unidad geomorfológica correspondiente a mesetas bajas conformada por el Grupo Maure, coordenadas UTM: 242071E - 8351525N.

4.2.3 Planicies

Ocupa una superficie de 428.70 hectáreas, lo que representa el 30.25 % del área total de la microcuenca. Considerando el origen, la morfología del relieve, la pendiente y las características litológicas, se han identificado tres unidades geomorfológicas. Cada una de ellas presenta una superficie definida y su respectivo porcentaje con respecto al territorio de la cuenca, cuyo detalle se muestra en la Tabla 6.

Terraza (Te)

Corresponde a superficies planas que se encuentran a un nivel ligeramente más elevado que el nivel del río. Son terrazas degradacionales, ya que fueron formadas por la erosión del río en el basamento rocoso y por el depósito de sedimentos provenientes de las partes altas de las colinas y mesetas. Se encuentra a altitudes desde los 4010 hasta los 4020 m.s.n.m. Se observan terrazas hacia la parte media de la microcuenca, asociadas a los alrededores de la comunidad de Huisa Collana y a la margen intermedia de la quebrada Ccoloyo. Ocupan un espacio de 250.64 has y ello representa el 17.68 % del espacio total de la cuenca. Litológicamente están asociadas a las limoarcillitas del Grupo Maure (ver fotografía 5).

Fotografía 5

Terrazas en material sedimentario del Grupo Maure. (UTM: 241371E - 8351549N)



Terraza sedimentaria conformada por el Grupo Maure ubicadas en la parte media de la microcuenca

Terraza aluvio fluvial (T-alf)

Corresponde a superficies planas con pendientes de 5 a 8% ligadas a la acción aluvial y fluvial. Se observan hacia el lado noroeste de la microcuenca, en contacto con las colinas sedimentarias e intrusivas, principalmente en el sector de Chicta y la Quebrada Ccoloyo. Estas terrazas pueden ser afectados por flujo de detritos, erosión e inundación fluvial, reciben el aporte de estos mismos que a su vez son impulsados por acción de gravedad. Se encuentran en zonas más altas que las terrazas fluviales. Ocupan 55.65 has, lo que representa el 3.96 % de la superficie total. Se encuentran en contacto con las colinas sedimentarias e intrusivas.

Terraza fluvial (T-fl)

Son superficies llanas que se encuentran contiguo al cauce del río Ccoloyo y están en constante interacción con la red hidráulica. Se observan terrazas fluviales a lo largo de la quebrada Ccoloyo, principalmente en sectores próximos a Huisajuluyo (ver fotografía 6). El origen de esta geoforma se debe a la acumulación de sedimentos trasladados por el río Ccoloyo durante eventos fluviales. Ocupan 117.28 has, lo que representa el 8.28 % de la superficie total.

Cauce de quebrada (Ca-q)

El cauce de una quebrada es el lecho o canal natural por donde circula una corriente de agua, y su tamaño puede variar desde pequeños cursos hasta amplios valles fluviales. En el caso de la microcuenca del río Ccoloyo, estos cauces se observan siguiendo un recorrido de noreste a suroeste, asociados directamente al río Ccoloyo y sus afluentes (ver fotografía 6). Ocupan una superficie de 5.13 hectáreas, lo que equivale al 0.36 % del área total de la cuenca.

Fotografía 6

Se observa el cauce del río Ccoloyo, adyacentes a las terrazas fluviales. (UTM: 241565E - 8351168N)



Río Ccoloyo adyacente a terrazas fluviales

Planicie en roca sedimentaria (Pa-rs)

Estas geoformas corresponden a áreas de espacios ocupadas debido a la actividad minera (ver fotografía 7), en el caso de la microcuenca de Ccoloyo este espacio es usado como relave minero de la mina Tintaya. Se encuentran hacia el sureste de la cuenca y ocupan 239.95 has, lo que representa el 16.93 % de la superficie total.

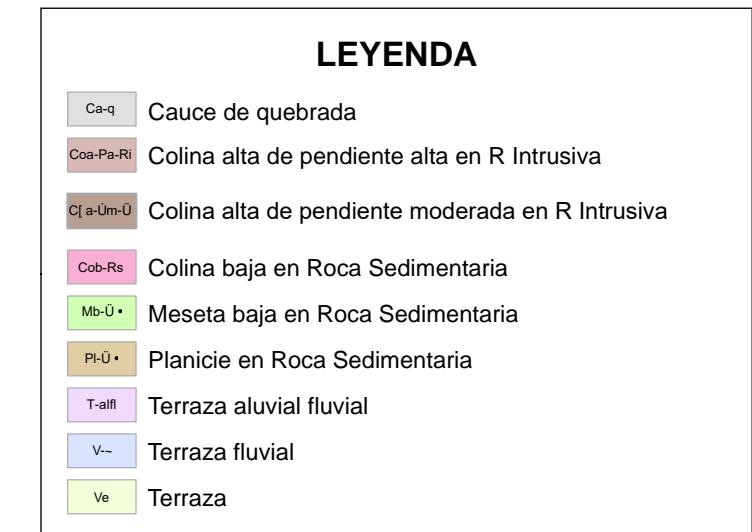
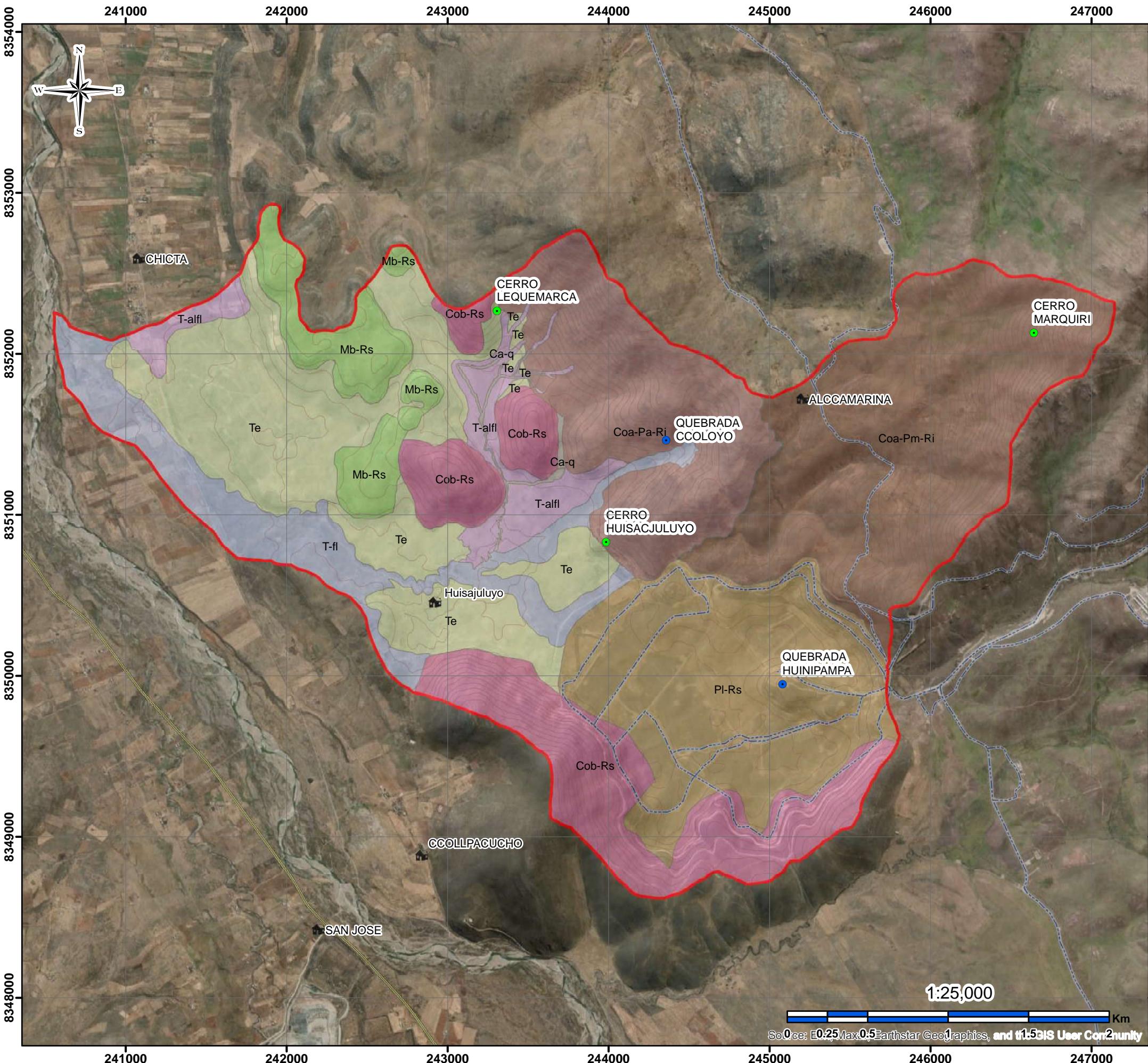
Fotografía 7

Planicie de la relavera de Hunipampa



Vista de la unidad geomorfológica planicie al sureste de la microcuenca Ccoloyo.

Figura 08
Mapa geomorfológico local de la microcuenca Ccoloyo



REFERENCIA GEOGRÁFICA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -69.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"		
MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL	ESCALA: 1/25,000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84	ZONA: 19L
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza		
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana		Figura 08

Capítulo V: Geología

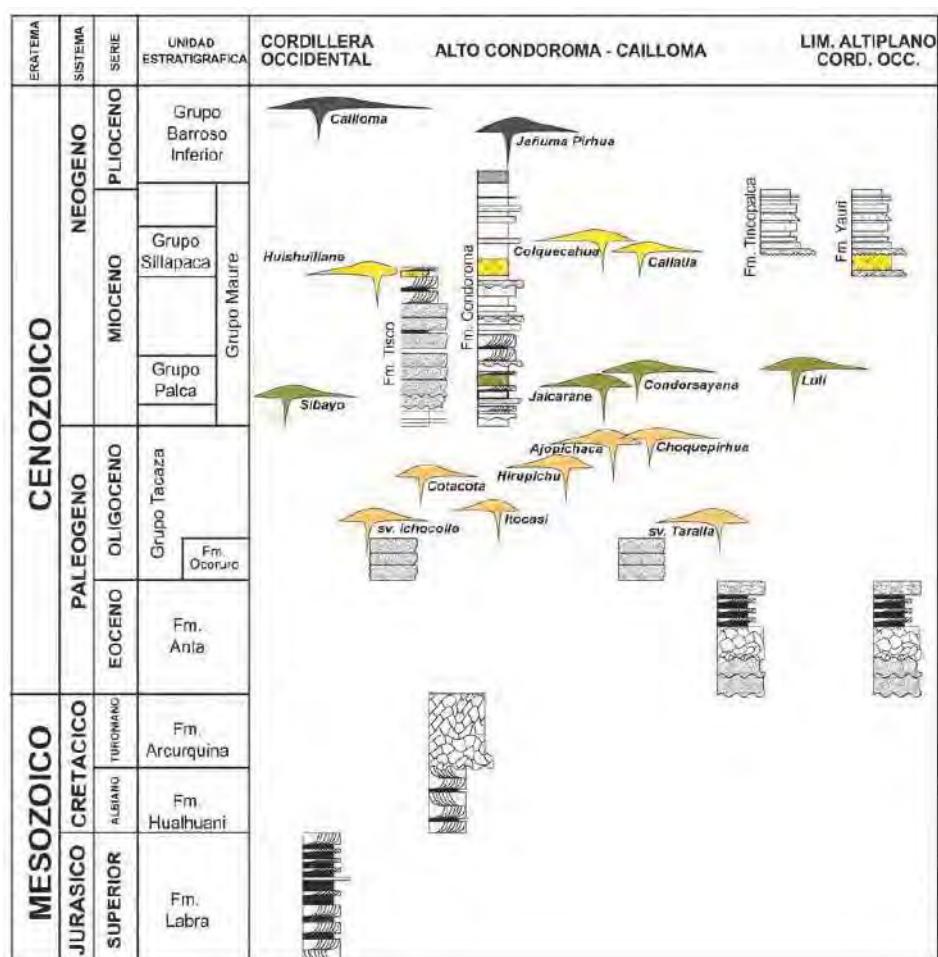
5.1 Geología regional

Según la cartografía del cuadrángulo de Condoroma elaborada por Cerpa et al (2011), la zona presenta unidades sedimentarias, volcánicas y plutónicas que registran una evolución geológica desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

A continuación, se muestra la columna estratigráfica regional del área de estudio, donde se resumen las unidades presentes, su edad y características principales, constituyendo la base para la interpretación geológica local.

Figura 9:

Estratigrafía del cuadrángulo de Condoroma.



Fuente: INGEMMET

Formación Arcurquina (Kis-ar) - Cretácico superior

Se trata de una secuencia calcárea compuesta principalmente por calizas de tonalidad gris a gris oscuro, acompañadas por dolomías en capas de espesor medio, así como margas y lutitas en proporciones menores. Estos materiales conforman un conjunto homogéneo que se distingue por su composición, textura y disposición estratigráfica. Se subdivide en tres:

- Miembro inferior: formado por estratos submétricos de calizas micríticas, que incluyen lentes y nódulos de chert.
- Miembro medio: estratos de calizas intercalados con delgadas capas pelíticas.
- Miembro superior: caracterizado por estratos métricos de calizas micríticas.

Grupo Maure (Nm-ma) - Neógeno mioceno

Este grupo está conformado por cuatro unidades denominadas Maure 1, Maure 2, Maure 3 y Maure 4. Las tres primeras están formadas por sedimentos de origen lacustre, mientras que la cuarta corresponde a depósitos piroclásticos.

- **Maure 1:** Compuesta por conglomerados polimíticos y areniscas arcósicas, con tonalidades marrón rojizo.
- **Maure 2:** Constituida por arenitas y limoarcillitas de color marrón rojizo.
- **Maure 3:** Integrada por limoarcillitas y dolomitas de color beige a gris blanquecino, con un alto contenido de diatomita.
- **Maure 4:** Formada por tobas cristalolíticas de composición riolítica o dacítica.

Unidad Choquechambe

Compuesto de afloramientos de rocas ígneas plutónicas como la diorita y la granodiorita, es un cuerpo de mayor extensión ubicado al noreste del cuadrángulo de

Yauri. Se estima que la edad de emplazamiento se encuentra entre el Cretáceo Superior y el Neógeno.

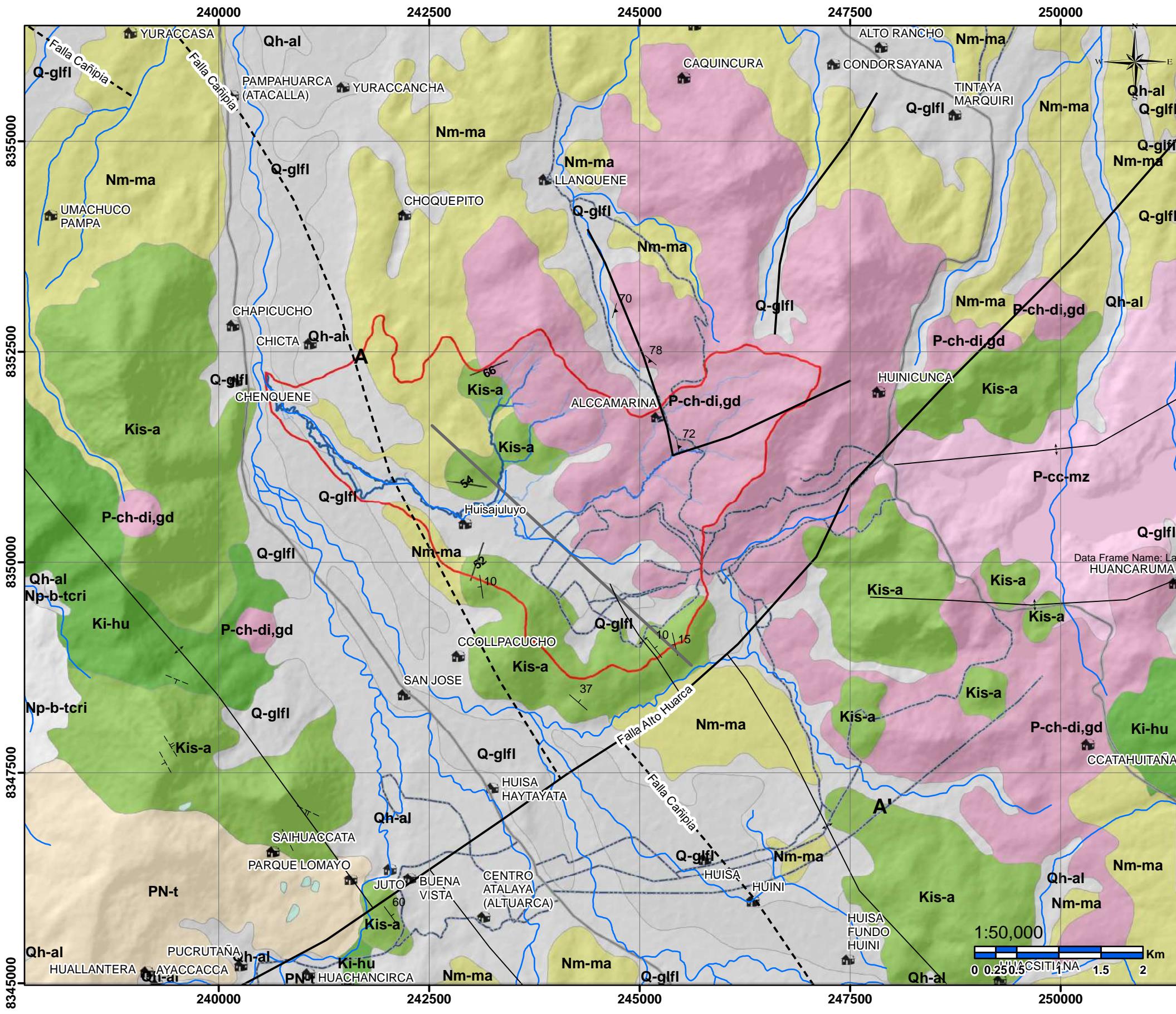
Depósitos Fluvioglaciares (Qh-flg)

Estos depósitos se originaron a partir de la erosión de materiales morrénicos y del sustrato formado por rocas pre-cuaternarias. Corresponden a conos aluviales que descienden desde las laderas de los valles, dando lugar a terrazas que rellenan tanto los fondos de los valles como las quebradas. Los depósitos fluvioglaciares están conformados por una mezcla de gravas subredondeadas, arenas gruesas y arcillas.

Depósitos Aluviales (Qh-al)

Este material se encuentra en lugares más o menos planos como: peneplanicies o pampas. Se encuentra circunscritas por lomadas o cadenas de montañas y en las partes correspondientes al fondo de los valles o ampliaciones debido a su conjunción, dando lugar así a las llanuras aluviales. Compuesto por gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa.

Figura 10
Mapa geológico regional de la microcuenca Ccoloyo



LEYENDA				
ERA	SISTEMA	SERIE	UNI. LITOESTRIGRÁFICA	ROCA INTRUSIVA
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito fluvial Q-fl	Ccello Cota P-ce/mz
			Depósito Aluvialfluvial Q-alfl	
	Neógeno	Mioceno	Gpo. Maure Nm-ma	
	Paleógeno	Oligoceno	Gpo. Tacaza PN-t	Unidad Choquechambe P-ch-di,gd
Mesozoico	Cretácico		Fm. Arcurquina Kis-a	
			Fm. Hualhuani Ki-hu	
	Inferior			

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -69.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

SIMBOLOGIA

- ↑ Buzamientos
- ↔ Pliegues
- - - Fallas
- Área de estudio
- Drenajes
- * Centros poblados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR
REGIÓN CUSCO"

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	DATUM: WGS84 ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 10

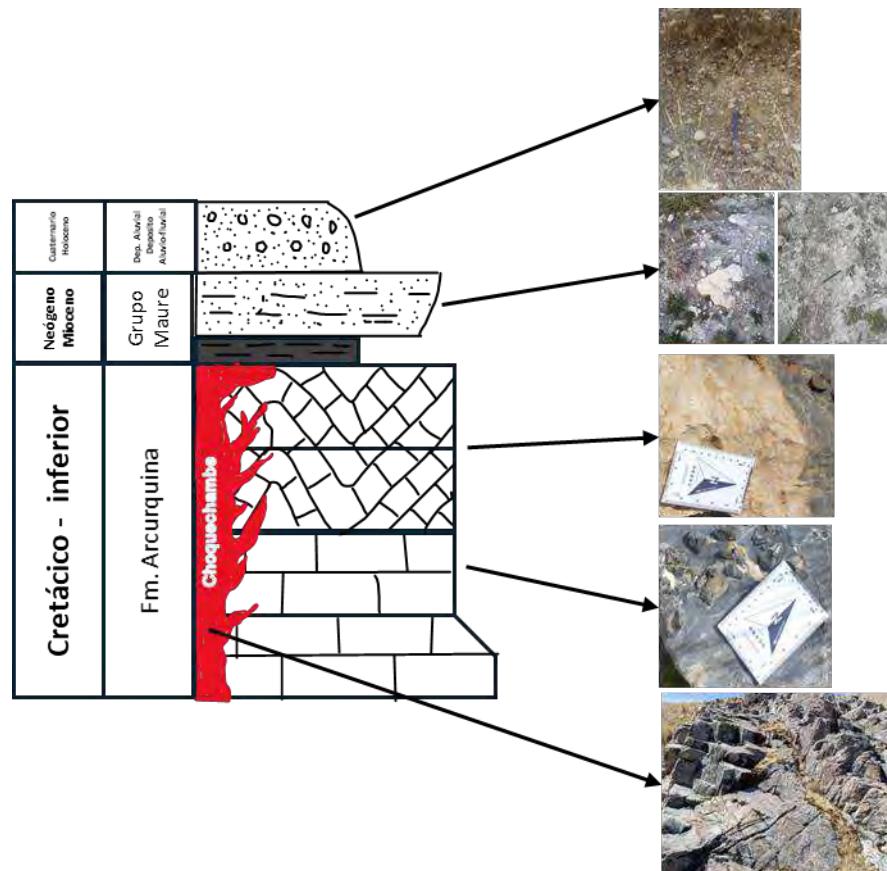
5.2 Geología local

A partir del trabajo de cartografía realizado en campo, se elaboró el mapa geológico local, tomando como base un mapa a escala 1:50,000 del cuadrángulo Yauri (30-T) del INGEMMET y los datos obtenidos durante el trabajo de campo, así como la descripción macroscópica de muestras.

Como resultado, se identificaron y mapearon las siguientes unidades geológicas locales: la Formación Arcurquina, el Grupo Maure, los depósitos cuaternarios (aluviofluviales y fluviales) y la Unidad Choquechambe. A continuación, se muestra una columna estratigráfica local en base a la interpretación de información registrada en campo.

Figura 11

Columna estratigráfica local



Fuente: Elaboración propia

La secuencia estratigráfica de las unidades geológicas locales, en orden cronológico, se presenta en la tabla 7

Tabla 7

Distribución de las unidades geológicas locales

Era	Sistema	Serie	Unidad litoestratigráfica	Caracterización litológica	Roca intrusiva	Símbolo	(ha)	(%)
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito Fluvial	Clastos subredondeados de matriz arenosa.		Q-fl	195.32	13.71
			Depósito			Q-alfl	108.29	7.6
			Aluviofluvial					
	Neógeno	Mioceno	Grupo Maure	Sedimentos lacustres, areniscas tobaceas, diatomitas, limoarcillitas.		Nm-ma	349.72	24.56
	Paleógeno			Granodiorita.	Unidad Choquechambe	P-ch-di, gd	579.88	40.72
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Formación Arcurquina	Calizas grises azulada con venillas de calcita y nodulos de chertz. Caliza recristalizada beige amarillenta.		Kis-a	190.64	13.39

Fuente: Propia

5.2.1 Formación Arcurquina (Kis-a)

Esta unidad geológica aflora en las zonas noroeste y sur de la microcuenca de Ccoloyo, donde conforma colinas bajas de considerable espesor. Abarca 190.64 ha, ocupando el 13.39 % del total del área.

Litológicamente, hacia la zona noroeste de la microcuenca, está compuesta por calizas de tonalidad gris azulada y de aspecto masivo; mientras que hacia la zona sur se evidencian también calizas micríticas de color gris blanquecino a beige (ver fotografía 8a). Asimismo, se observan laminaciones que ponen en evidencia la estratificación de la unidad (ver fotografía 8b).

Fotografía 8

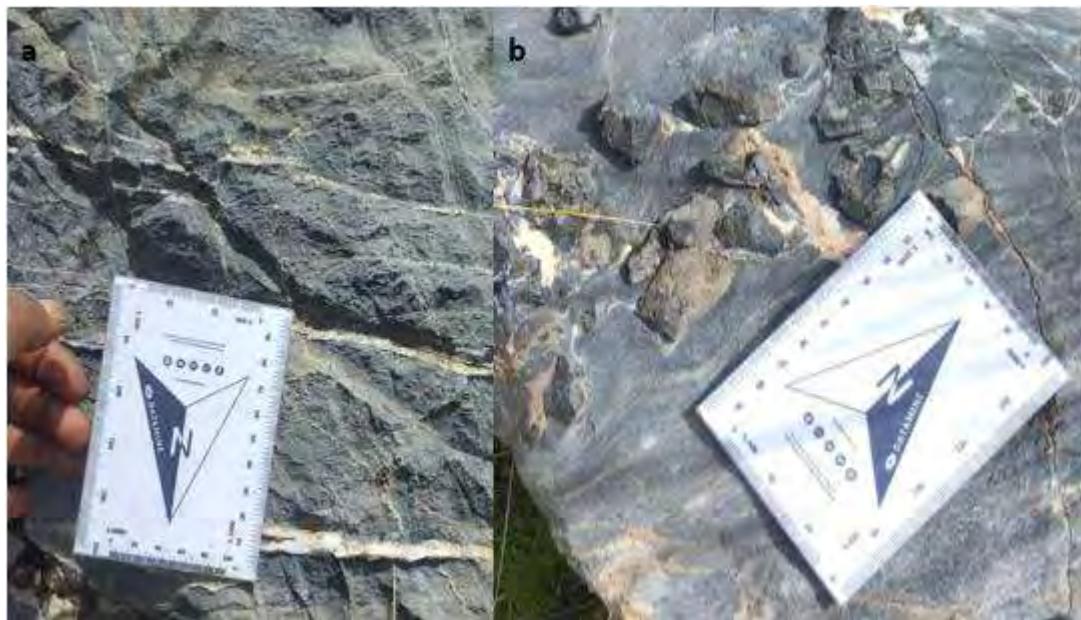
a) Afloramiento de calizas gris azuladas en noreste de la microcuenca Ccoloyo. b) Laminaciones horizontales que indican la estratificación.



Afloramiento de calizas al noreste de la microcuenca Ccoloyo, se observa además laminaciones horizontales. Este afloramiento presenta un azimut de N316/42.

Fotografía 9

a) Venillas de calcita en caliza b) Nódulos de chertz,



Afloramiento de calizas al sur de la microcuenca Ccoloyo, se evidencia un fracturamiento multidireccional rellenado por venillas de calcita con dirección N59/31. Además, se observa nódulos de chertz. Este afloramiento presenta un azimut de N63/35.

Tabla 8

Descripción petrológica macroscópica, muestra 1

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
MUESTRA	1	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Gris azulado		243216	8352289	4147
TIPO	Sedimentaria		ZONA	19 L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano fino 0.15 mm				
TEXTURA	Fina				
MATRIZ	Micrítica				
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Venillas de calcita				
NOMBRE	CALIZA				



Fuente: Propia

Tabla 9

Descripción petrológica macroscópica, muestra 2

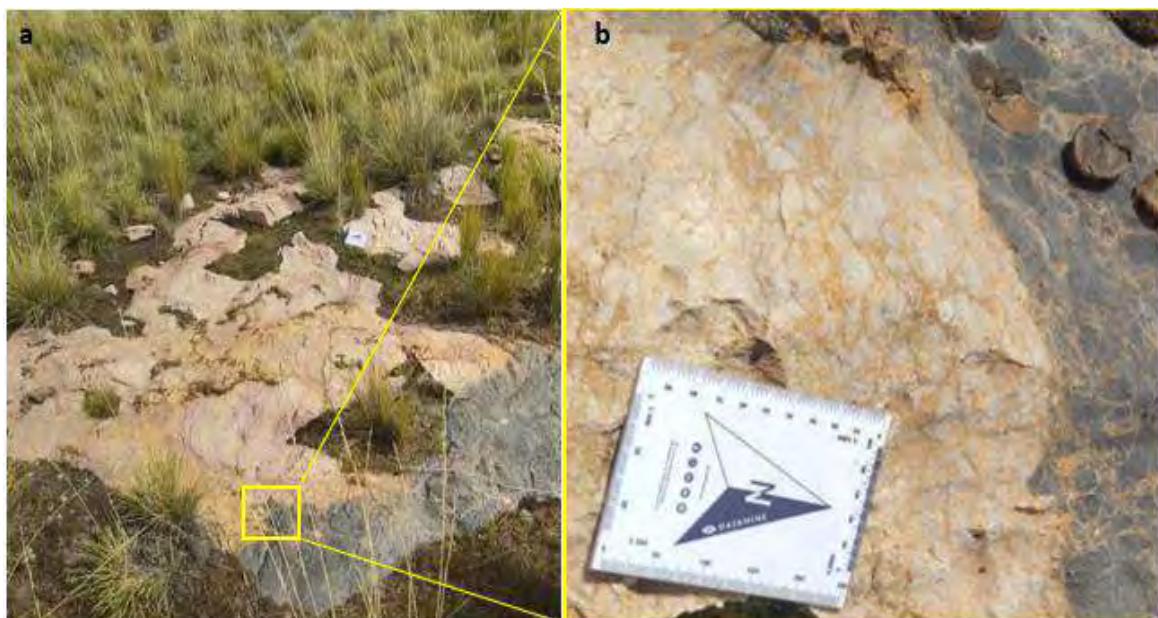
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
MUESTRA	2	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Gris azulado a blanquecino		243216	8352289	4147
TIPO	Sedimentaria		ZONA	19 L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano fino 0.15 mm				
TEXTURA	Fina				
MATRIZ	Micrítica				
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Venillas de calcita y recristalización				
NOMBRE	CALIZA				



Fuente: Propia

Fotografía 10

a) Afloramiento de caliza en proceso de recristalización. b) Caliza recristalizada a la derecha, a la izquierda caliza gris azulada con nódulos de chert.



En este afloramiento se observa contacto de alteración de la caliza, se evidencia un cambio tanto en su textura como en su coloración, las cuales pasan de un tono gris azulado a un color beige amarillento. Este afloramiento presenta un azimut de N341 con Bz 39

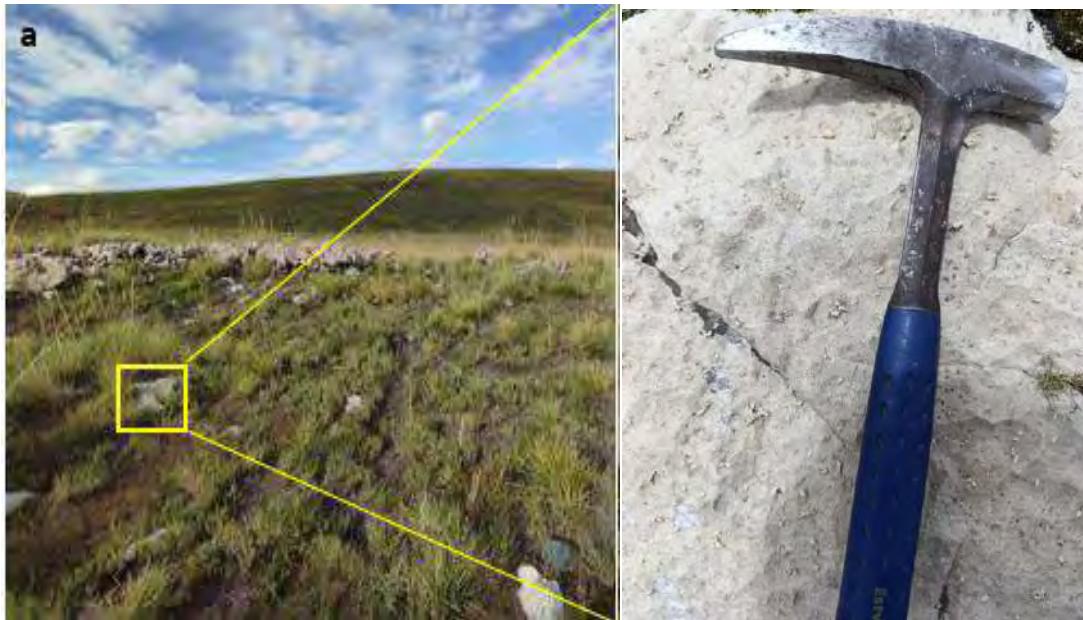
5.2.2 Grupo Maure (*Nm-ma*)

Esta unidad geológica aflora en la zona noroeste y sur de la microcuenca de Ccoloyo, en forma de mesetas bajas y terrazas. Abarca 349.72 ha, lo que representa un 24.56 % del total del área.

El Grupo Maure sobreyace a la formación Arcurquina. Litológicamente, hacia la zona noroeste de la microcuenca aflora el Maure III, está compuesta por limoarcillitas, estratos delgados de caliza y diatomitas de color gris blanquecina a beige con estratificación horizontal (ver fotografía 11); mientras que hacia la zona sur se evidencian el Maure II, compuesta por dolomitas de color gris blanquecino, arenas tufáceas gris blanquecinas, diatomitas y limoarcillas marrón rojizo (ver fotografía 12).

Fotografía 11

Diatomitas de Maure III.



Afloramiento de diatomitas al noroeste de la microcuenca Ccoloyo. En este afloramiento se evidencia también pequeños niveles de caliza con estratificación horizontal, con un azimut de

N272/7.

Fotografía 12

Sedimentos lacustres y diatomitas de Maure II



Afloramiento de sedimentos lacustres y diatomitas al sur de la microcuenca Ccoloyo. Este afloramiento presenta un azimut de N345 con Bz 8.

Tabla 10

Descripción petrológica macroscópica, muestra 3

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
MUESTRA	3	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Marrón blanquecino a beige		242666	8351310	4094.32
TIPO	Sedimentaria		ZONA	19 L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano fino 0.10 mm				
TEXTURA	Porosa				
COMPOSICIÓN	Sílice amorfa				
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Microfósiles de diatomeas				
NOMBRE	DIATOMITA				

Fuente: Propia

5.2.3 Depósito aluviofluvial (*Q-alfl*)

Estos depósitos afloran en la parte central de la microcuenca de Ccoloyo, en forma de terrazas. Abarca 108.29 ha, equivalente a un 7.6 % del total del área.

Los depósitos aluviofluviales presentes en el área de estudio se originaron como resultado de la disminución en la velocidad del flujo del río, lo que permitió la sedimentación de los materiales transportados. Litológicamente están conformados mayoritariamente por arenas, gravas y limos (ver fotografía 13).

Fotografía 13

Afloramientos de depósitos aluviofluviales en la microcuenca Ccoloyo



Afloramiento de depósitos aluviofluviales en la parte central de la microcuenca Ccoloyo.

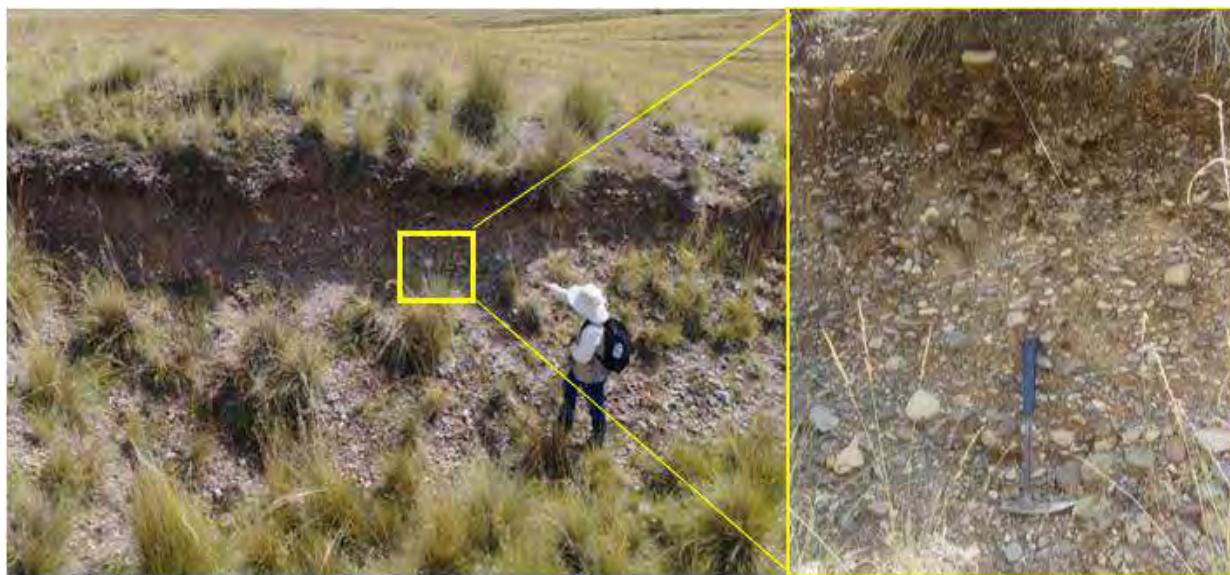
5.2.4 Depósito fluvial (*Q-fl*)

Estos depósitos afloran en la parte central de la microcuenca de Ccoloyo, formando terrazas. Abarca 195.32 ha, lo que representa un 13.71 % del total del área.

Litológicamente están constituidas por gravas polimícticas con clastos redondeados a subredondeados de buena clasificación y una matriz arenosa (ver fotografía 14).

Fotografía 14

Depósito fluvial.



Depósito fluvial a lo largo de la parte central de la microcuenca Ccoloyo. Se evidencia gravas de buena clasificación en una matriz arenosa.

5.2.5 Rocas ígneas

Unidad Choquechambe (P-ch-di, gd)

Esta unidad de rocas intrusivas aflora ampliamente hacia el norte y noreste de la cuenca, ocupando un área de 579.88 ha, lo que representa el 40.7% del espacio total.

Estas rocas ígneas son de textura fanerítica de color gris blanquecino con tonalidades oscuras. Presenta minerales leucocráticos como cuarzo (30%), plagioclasas (20%), feldespato potásico (5%) y máficos como la hornblenda (45%) que da como resultado que la roca corresponde a una Granodiorita (ver fotografía 15).

Los afloramientos de granodioritas de la Unidad Choquechambe se encuentran moderadamente fracturadas.

Fotografía 15

Afloramiento de granodioritas de la Unidad Choquechambe.



A la izquierda afloramiento de granodioritas de la Unidad Choquechambe. A la derecha muestras de mano.

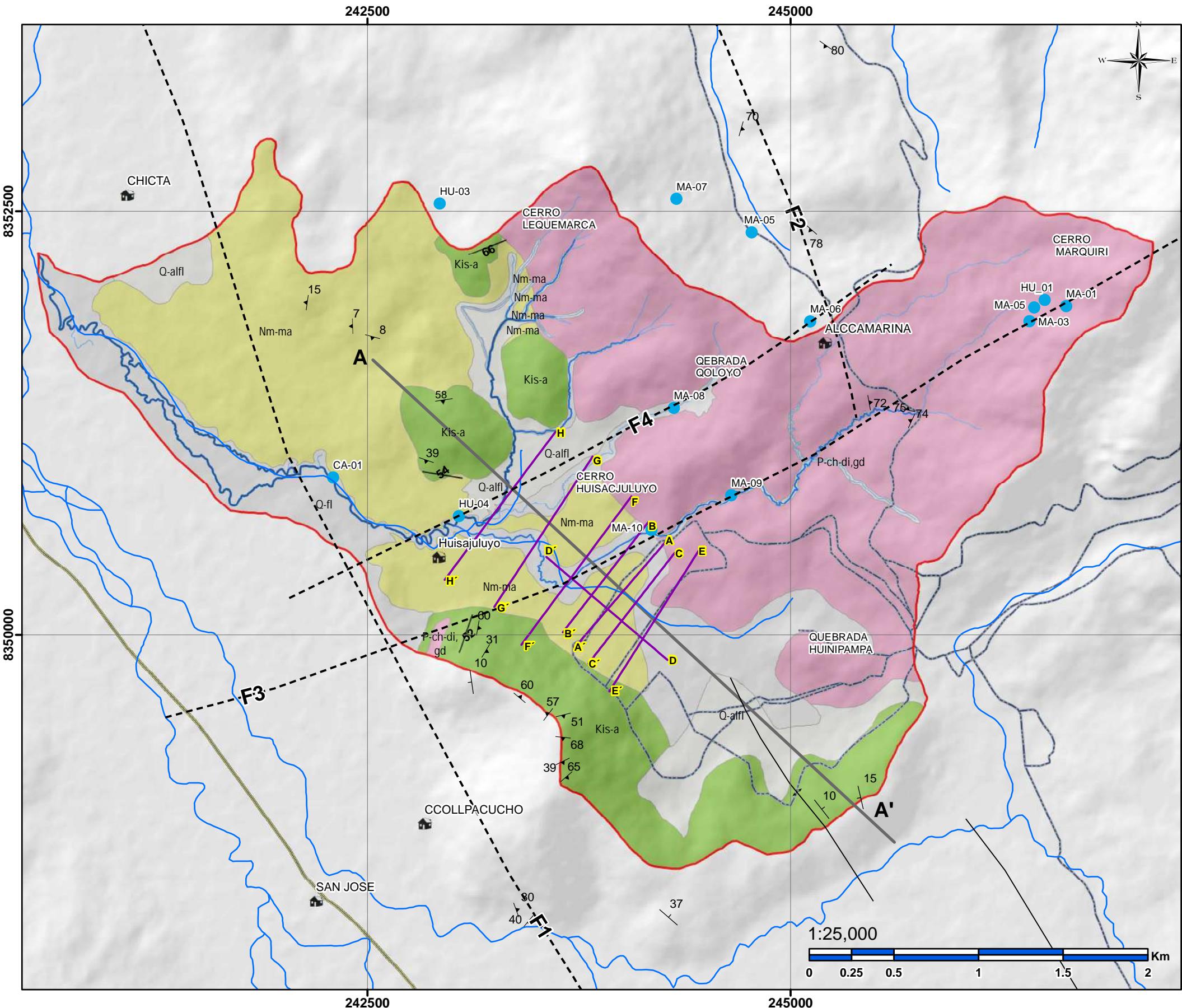
Tabla 11

Descripción petrológica macroscópica, muestra 4

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA					
MUESTRA	4	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Gris blanquecino		244519	8351827	4137
TIPO	Intrusivo		ZONA	19 L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.35 mm				
FORMA	Fenos subhédrales				
MINERALES	Cuarzo, feldespatos, plagioclasa, hornblenda				
PORCENTAJE	30%, 20 %, 5%, 45%				
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Alteración de plagioclasas				
NOMBRE	GRANODIORITA				

Fuente: Propia

Figura 12
Mapa geológico local de la microcuenca Ccoloyo



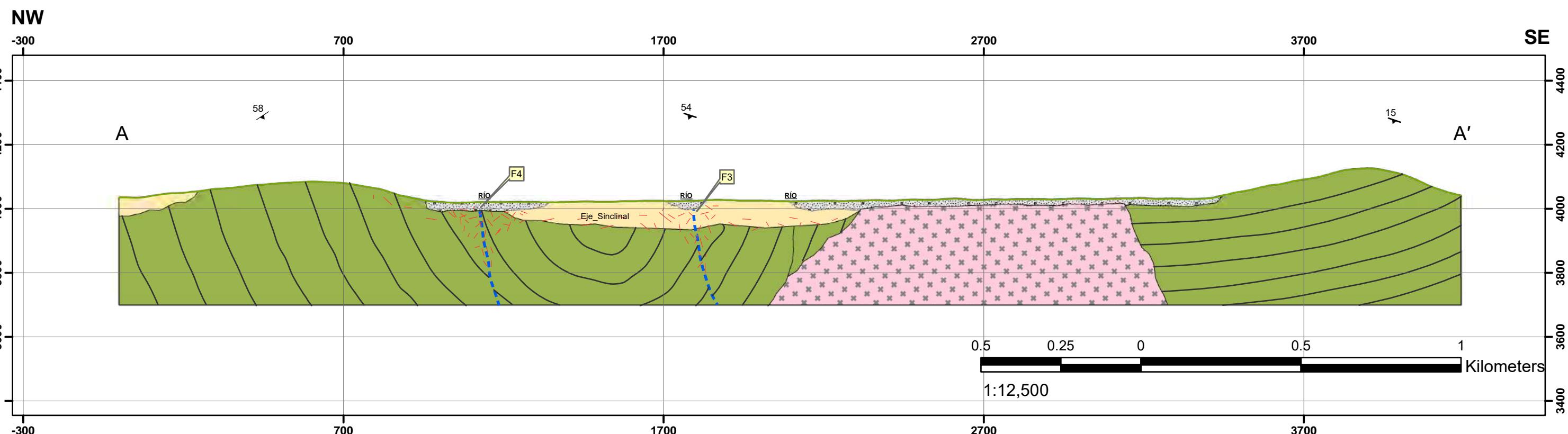
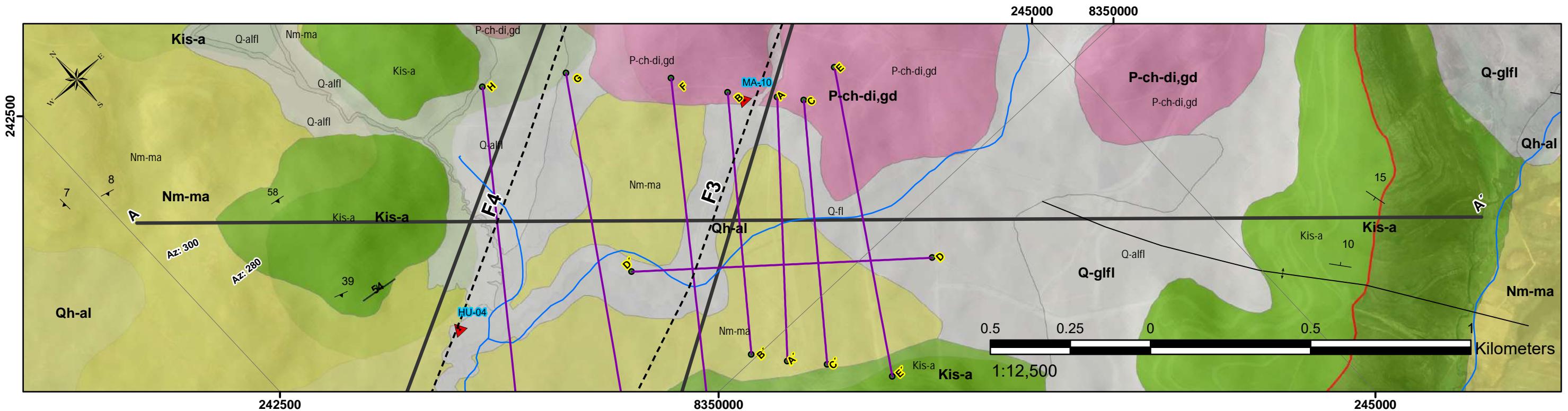
LEYENDA				
ERA	SISTEMA	SERIE	UNI. LITOESTRIGRÁFICA	ROCA INTRUSIVA
Cenozoico	Cuaternario	Holocene	Depósito fluvial Q-fl	
			Depósito Aluvialfluvial Q-alfl	
	Neógeno	Mioceno	Grupo Maure Nm-ma	
	Paleógeno			
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Fm. Areurquina Kis-a	Uni. Choquechambe P-ch-di,gd

SIMBOLOGIA	
↑ Buzamientos	Lineas_Geofisica
↔ Pliegues	Drenajes
Fallas	<ul style="list-style-type: none"> ● Inventario de manantiales de agua ★ Centros poblados
<ul style="list-style-type: none"> - - - F1 - - - F2 - - - F3 - - - F4 	■ Area de estudio

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.000
 False Northing: 10,000,000.000
 Central Meridian: -69.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"		
MAPA GEOLOGICO LOCAL	ESCALA: 1/25000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84	
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L	
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana		Figura 12

Figura 13
Sección geológica A - A'

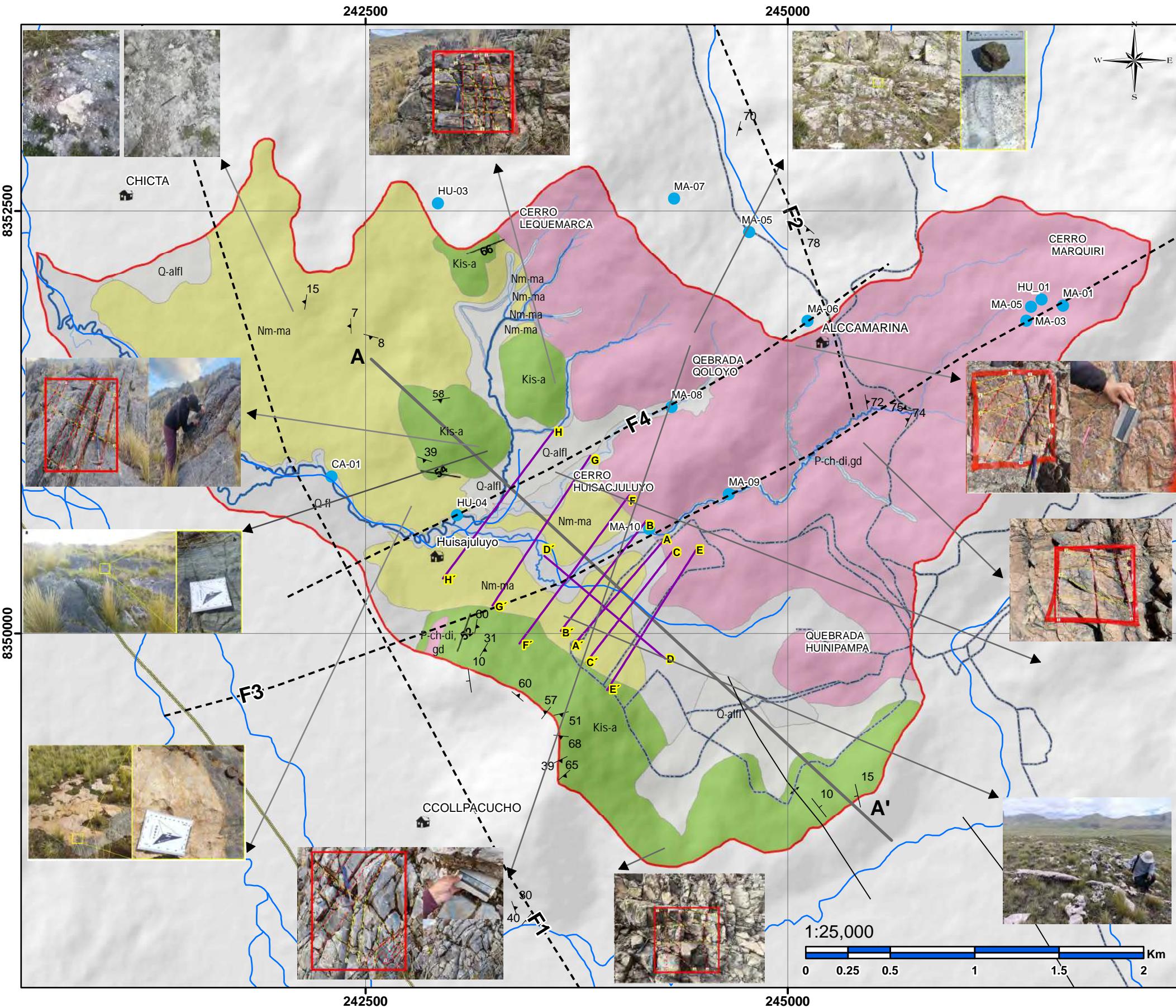


LEYENDA	
Unidades Litoestratigráficas	
	Depósito aluviofluvial
	Grupo Maure
	Choquechambe dior, gdior
	Formación Arcurquina

SIMBOLOGIA	
	Eje_Sinclinal
	Fallas inferidas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS:	
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"	
SECCION A-A'	ESCALA H/V: 1/12500
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 13

Figura 14
Mapa de ubicación de muestras y ventanas estructurales



Capítulo VI: Geología estructural

6.1 Geología estructural regional

La cuenca de estudio se localiza principalmente en el sector norte y noreste del cuadrángulo de Yauri, dentro de la provincia de Espinar (Cusco), y presenta una orientación general noroeste–sureste (NW–SE). Esta zona se encuentra conformada por rocas del Pérmico superior, que están limitadas por fracturas de orientación andina. Estas estructuras han sido cubiertas discordantemente por unidades más jóvenes, observándose en algunos sectores la reactivación de fallamientos antiguos de tipo normal, los cuales generan saltos verticales de escala decimétrica (De la Cruz, 1995).

En el ámbito de Espinar, los sucesivos esfuerzos compresivos asociados a la Fase Peruana y la Fase Incaica han generado deformaciones significativas. Entre las más destacadas se encuentran los plegamientos apretados, amplios y simétricos, que afectan principalmente a las secuencias de las formaciones Arcurquina y Muni, así como a depósitos del Grupo Puno. En otros sectores, la deformación se manifiesta en forma de estructuras monoclinales, como las identificadas en la Cordillera de Laramani (De la Cruz, 1995).

Los fallamientos juegan un papel esencial en el modelado estructural de la provincia de Espinar. Predominan los de orientación andina (NW–SE), aunque también se reconocen alineamientos NE, como el que sigue el valle del río Palpatamayo, que limita bloques paleozoicos de los adyacentes. En el sector meridional de la laguna Langui Layo, se observa un sistema de fallamiento en bloques, que pone en contacto rocas de diferentes edades: pérmicas (Grupo Mitu), cretácicas (Formaciones Arcurquina y Muni) y paleógenas (Grupo Puno) (De la Cruz, 1995).

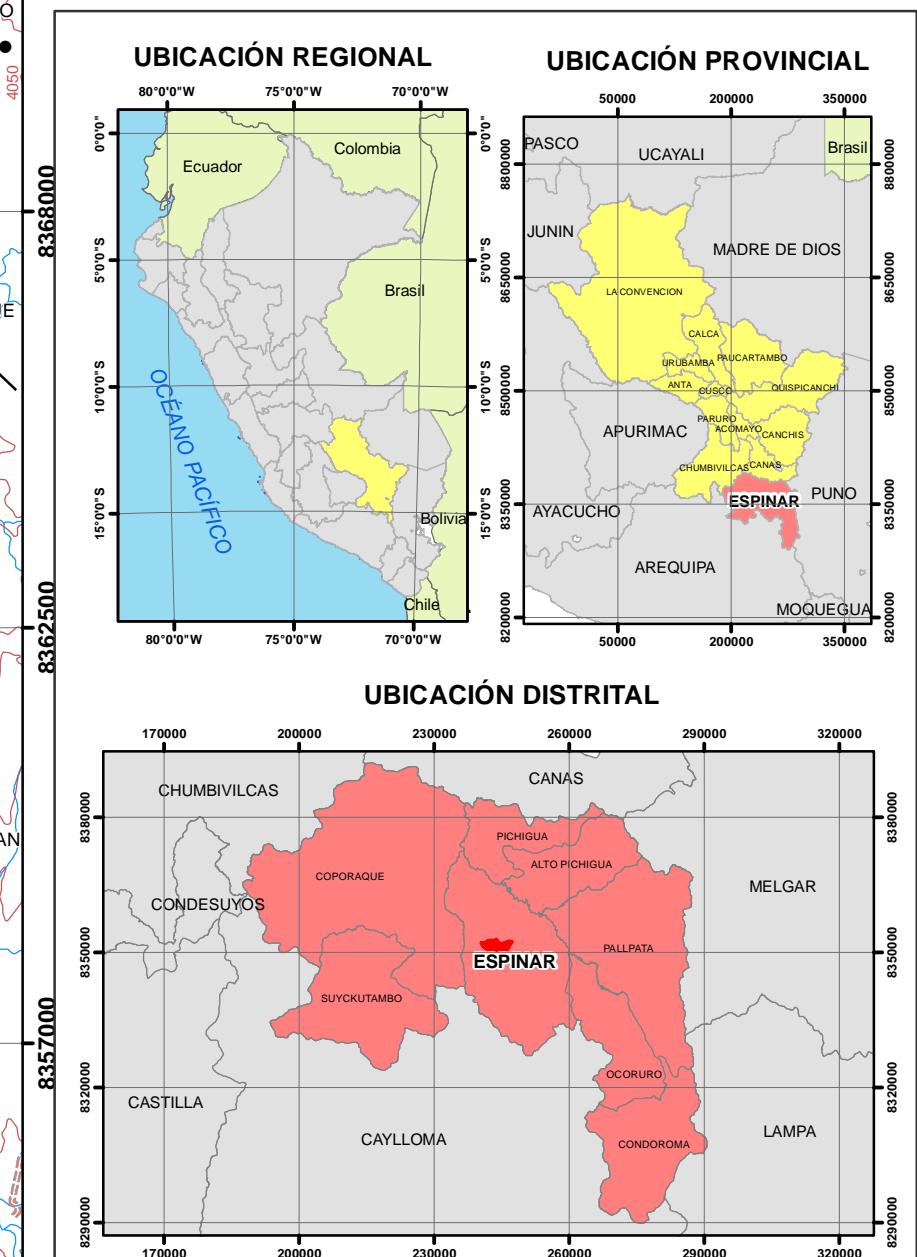
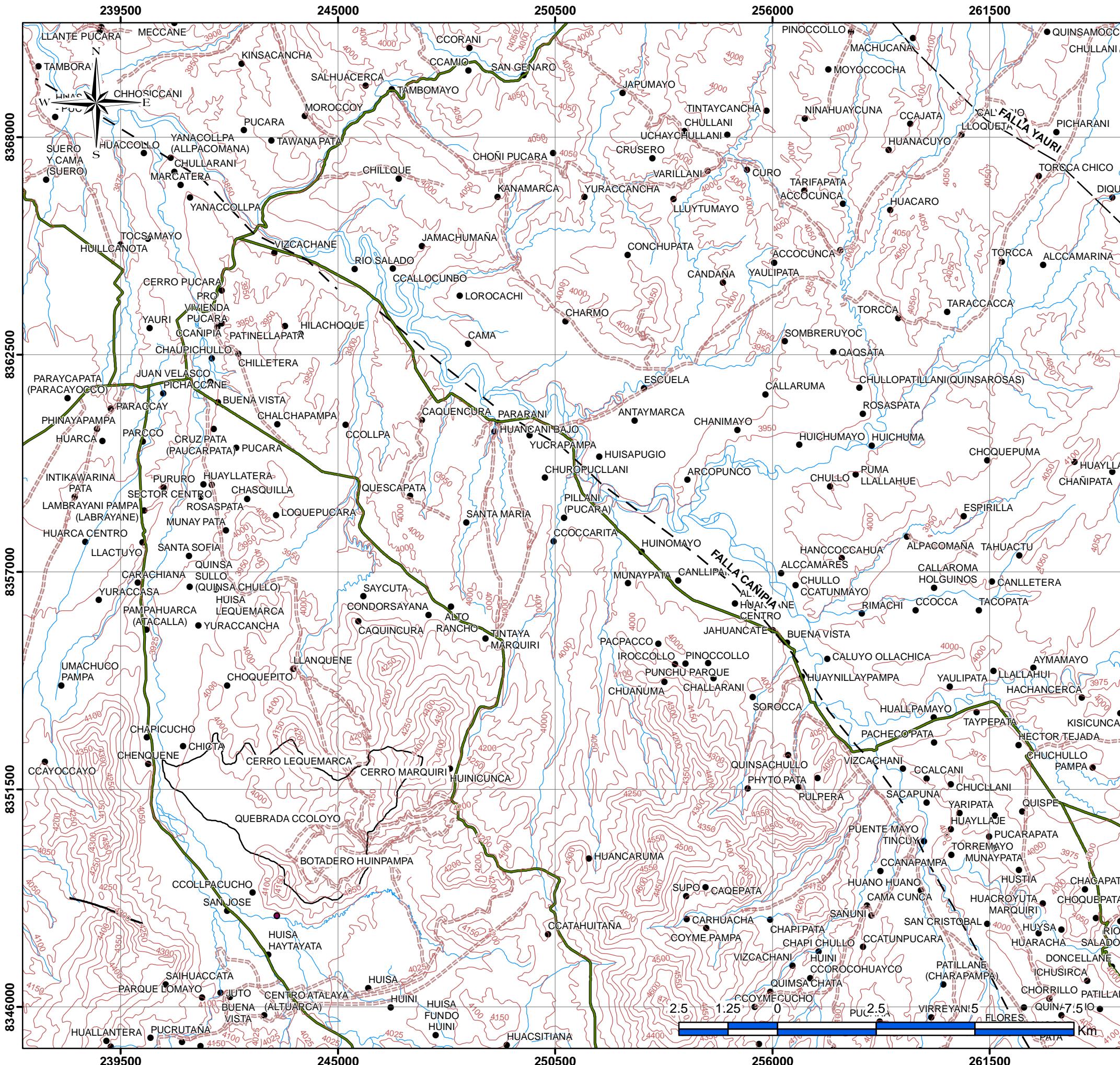
Falla Cañipia

La Falla Cañipia es una de las estructuras regionales más importantes en la provincia de Espinar. Presenta rumbo noroeste–sureste (NW–SE), concordante con la orientación andina, y se caracteriza por su gran extensión y continuidad. Esta falla ha actuado como un límite estructural que controla la compartmentación del basamento paleozoico y la disposición de las unidades mesozoicas y cenozoicas adyacentes. Además, su traza se asocia a una marcada lineación topográfica que influye en el drenaje superficial y, en ciertos sectores, constituye una zona de debilidad que facilita la infiltración y circulación de aguas subterráneas (De la Cruz, 1995).

Falla Yauri

La Falla Yauri, también de rumbo NW–SE, constituye otra estructura mayor que afecta al cuadrángulo de Yauri y sus alrededores. Su importancia radica en que ha condicionado la configuración tectónica local, generando contrastes de relieve y contactos tectónicos entre unidades de distinta edad. La reactivación de esta falla en diferentes fases tectónicas ha favorecido tanto el desarrollo de sistemas de bloques como la aparición de fracturas secundarias transversales. En el contexto hidrogeológico, la Falla Yauri puede actuar como un conducto preferencial para la circulación de agua en sus tramos abiertos, o como una barrera en sectores donde se encuentra sellada por material cataclástico y mineralizaciones secundarias (De la Cruz, 1995).

Figura 15
Mapa estructural regional de la microcuenca Ccoloy



Simbología

- jualla
 - — Falla inferida
 - Área de estudio
 - ▲ Falla inversa
 - Vía nacional
 - Trocha carrozable
 - Centros poblados
 - Red de drenaje
 - Falla normal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:
**"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA
DE ESPÍNAR, REGIÓN CUSCO"**

MAPA ESTRUCTURAL REGIONAL

ESCALA: 1/100000

P. V. and M. H. J. M. J. 46

DATUM: 19.06.2014

Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza

ZONA: 19L

Figura 15

6.2 Geología estructural local

La geología estructural de la microcuenca de Ccoloyo se caracteriza por evidencias de actividad tectónica que han dado lugar a la presencia de pliegues, fallas y fracturamientos. Estos rasgos estructurales pueden identificarse principalmente a través de cambios en el rumbo y buzamiento de las estratificaciones, así como por el desarrollo de lineamientos que marcan la deformación del área.

En el ámbito de la microcuenca se reconocen estructuras de primer y segundo orden, las cuales afectan principalmente a las unidades sedimentarias de la Formación Arcurquina y el Grupo Maure, así como a las rocas ígneas de la Unidad Choquechambe. Estas deformaciones se expresan en fracturas multidireccionales, venillas de calcita y planos de estratificación inclinados, mientras que en los depósitos cuaternarios (aluviofluviales y fluviales) la influencia tectónica es menos evidente, debido a su origen más reciente.

6.2.1 Plegamientos

Dentro de la geología estructural de la microcuenca de Ccoloyo se identificaron pliegues del tipo anticlinal y sinclinal, los cuales se manifiestan en la Formación Arcurquina. Estos pliegues se reconocen a lo largo de toda la microcuenca, donde las calizas muestran un arqueamiento hacia arriba, con estratos que se inclinan en direcciones opuestas desde un núcleo común. La presencia de anticlinales indica que la zona ha sido sometida a esfuerzos compresivos, los cuales han deformado las capas sedimentarias, generando estructuras que controlan la disposición de las estratificaciones y la distribución de fracturas asociadas. A continuación, se presentan los anticlinales y sinclinales identificados en la zona de estudio.

En la imagen se puede observar la dirección NW-SE la presencia de plegamientos, en la quebrada Ccoloyo teniendo como referencia las siguientes coordenadas UTM, 243120.27m E ;8352187.98m N; 4038m Cota; Zona 19S), lo cual se interpreta como una alineación regional típica

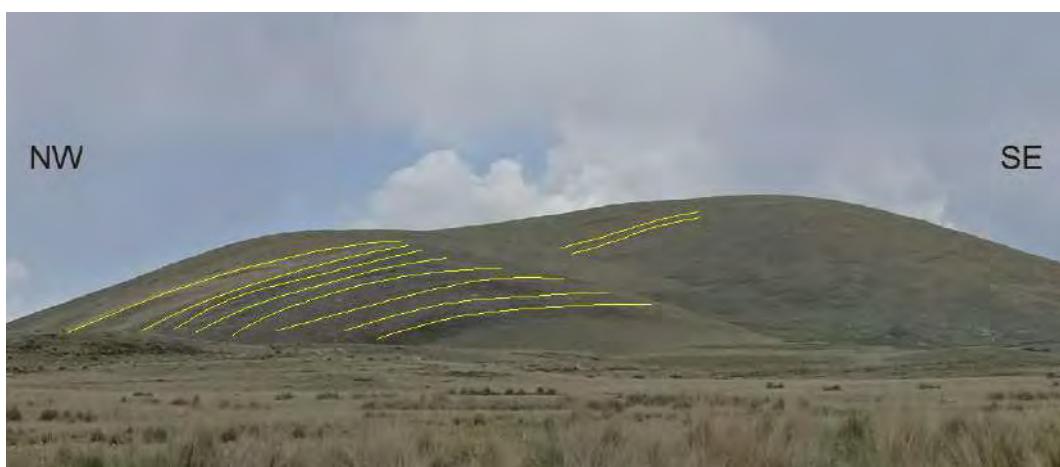
en la cordillera; presencia de anticlinales complejos con geometrías irregulares; los estratos han sido intensamente deformados y comprimidos; esto indica una zona con mayor actividad tectónica.

Fotografía 16: Plegamientos ubicado en 243120.27m E ;8352187.98m N; 4038m



En la fotografía 16 ubicada en la quebrada de Ccoloyo, se logra identificar lineamiento de los pliegues de un anticlinal con dirección NW-SE en proyección al eje de la charnela; esta imagen referencial se obtuvo en las siguientes coordenadas UTM 243396.15m E; 8351897.36m N; 3994m Elevación; Zona 19S, esta estructura refleja los efectos de la compresión tectónica andina que ha deformado los estratos sedimentarios Paleozoicos de la formación Arcurquina con una composición litológica de calizas.

Fotografía 17: Anticlinal ubicado en 243396.15m E; 8351897.36m N; 3994m



6.2.2 Fallas

Falla F1

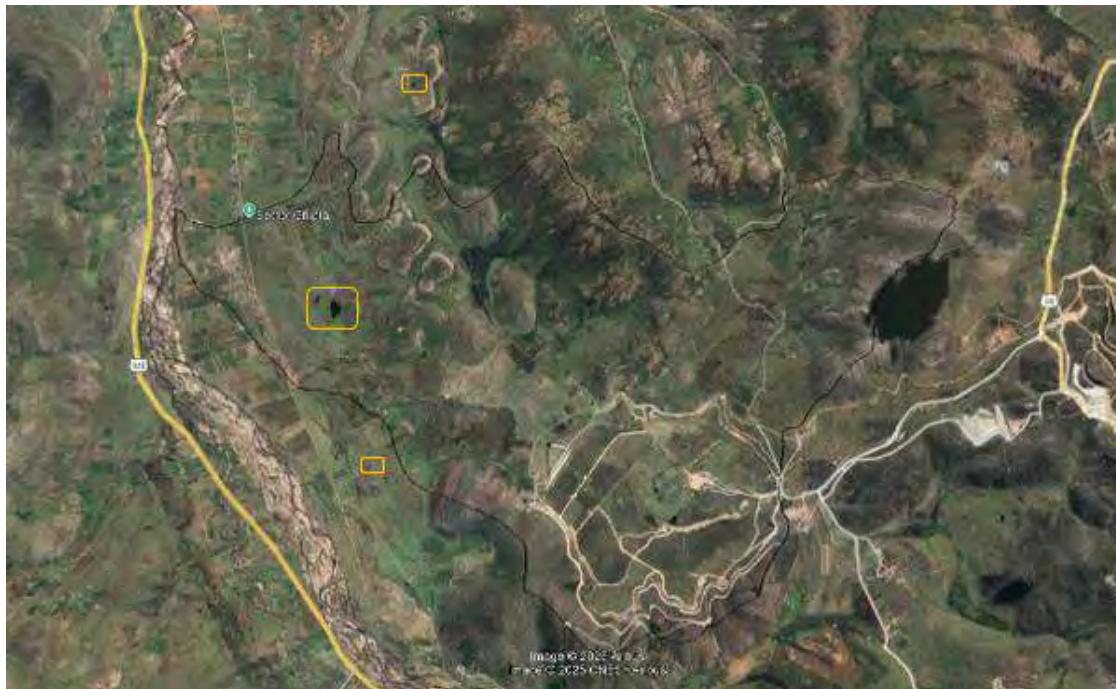
Si bien en el trabajo de campo no se identificaron evidencias estructurales directas y sólidas que confirmen la traza de la falla inferida, en la microcuenca se reconocieron dolinas (sinkholes) que constituyen un indicador indirecto de su presencia. Estas geoformas se desarrollan principalmente en las calizas de la Formación Arcurquina, y su distribución sugiere un control estructural que podría estar vinculado con la falla.

Las dolinas se definen como depresiones cerradas en el terreno, características de ambientes kársticos. Según Ford y Williams (2007), su origen puede estar asociado a diferentes procesos de disolución y colapso de cavidades subterráneas. En el caso del área de estudio, la morfología y disposición de las dolinas permiten interpretarlas como dolinas de colapso, formadas por el hundimiento repentino del techo de cavidades desarrolladas en las calizas. Este tipo de dolina refleja un proceso de karstificación avanzado y suele estar condicionado por la existencia de fracturas y planos de debilidad estructural.

La presencia de estas dolinas, junto con los registros geofísicos que muestran un alto grado de fracturamiento, constituye una evidencia indirecta que refuerza la hipótesis de la existencia de una falla activa en la zona de estudio.

Figura 16

Imagen satelital (Google Earth) con el alineamiento de dolinas en la microcuenca de Ccoloyo



Fotografía 18

Evidencia superficial de dolinas asociados a la traza de la falla inferida F1.



- **Falla F2**

La F2 se localiza en el sector este de la microcuenca Ccoloyo, presentando un rumbo predominante norte–sur. Se trata de una falla inferida, reconocida principalmente a partir de la interpretación estructural y de evidencias indirectas en campo.

Se observa fracturamiento intenso, lo que repercute en una calidad de roca de regular a muy mala en los tramos más afectados (ver fotografía 19).

- **Falla F3**

La F3 atraviesa la microcuenca Ccoloyo con un azimut aparente de N78°, se trata de una falla inferida reconocida partir de la interpretación estructural y por la presencia de manantes alineados a lo largo de la traza de la falla, lo que constituye un indicador hidrogeológico de la existencia de la estructura y confirma su influencia en la circulación de agua subterránea. (ver fotografía 19)

- **Falla F4**

La F4 atraviesa la microcuenca Ccoloyo con un azimut aparente de N80° y es paralela a la falla inferida F3, se trata de una falla inferida a partir de una interpretación satelital. (ver fotografía 19).

Al igual que la F3, se observa la presencia de manantes alineados a lo largo de la traza de la falla, lo que constituye un indicador hidrogeológico de la existencia de la estructura y confirma su influencia en la circulación de agua subterránea.

Fotografía 19

a) Falla inferida F2, ubicado al este de la microcuenca



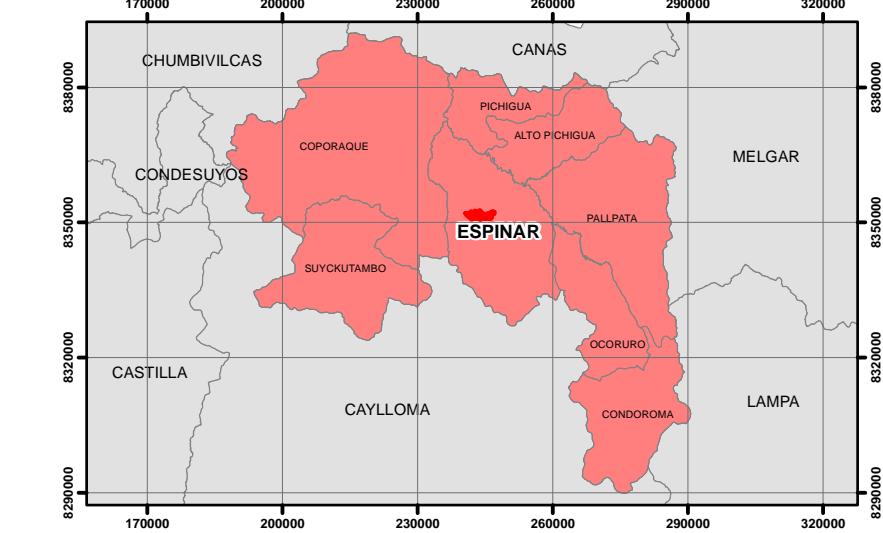
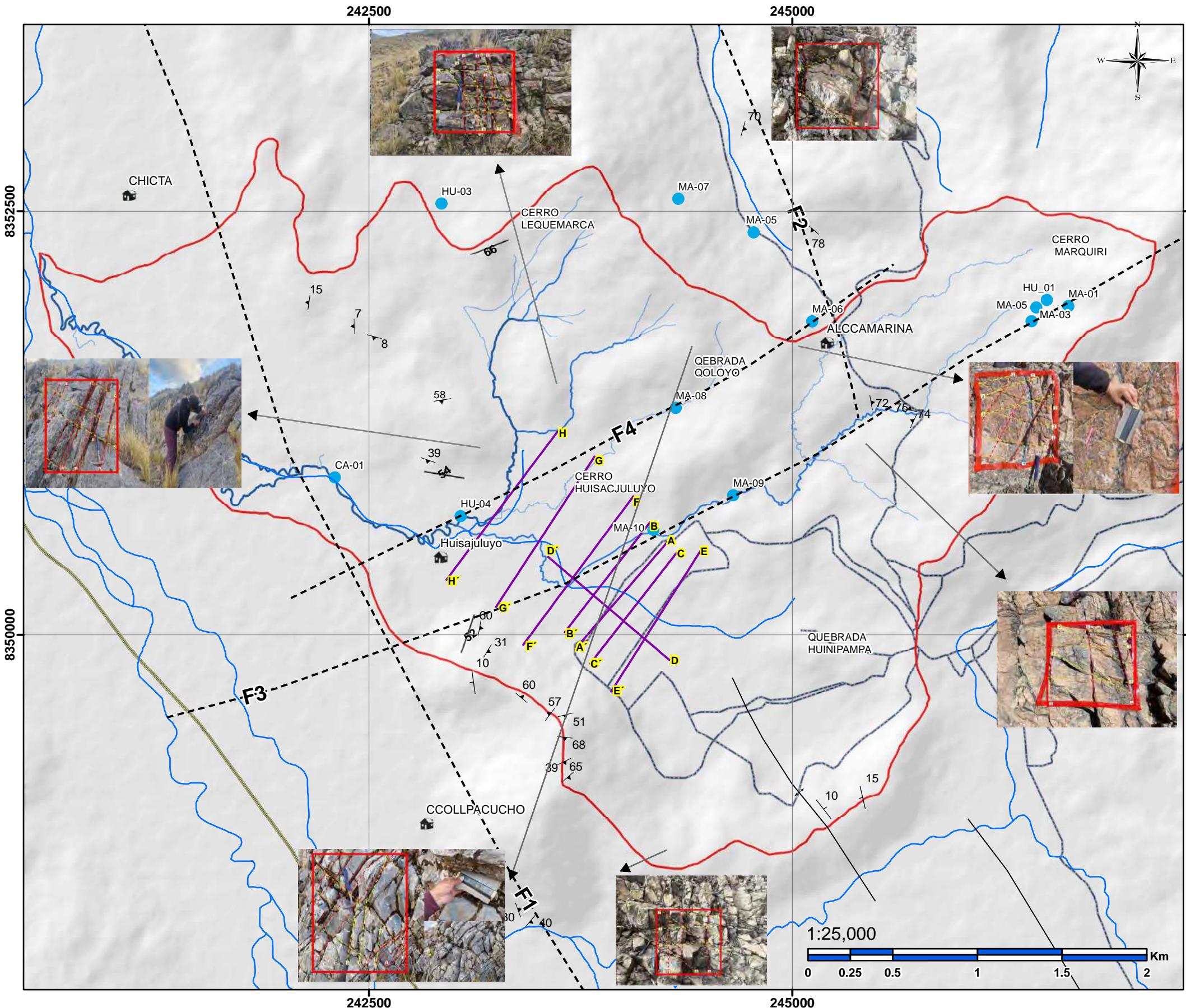
La fotografía corresponde a zonas altamente fracturadas vinculadas a la falla F2, donde se evidencia un alto grado de deformación tectónica. Todo ello sugiere que la F2 constituye una zona estructural de debilidad y permeabilidad elevada, con posible comportamiento tectónico activo o recurrente en el pasado.

b) Fallas inferidas F3 y F4, ubicadas en la parte central de la microcuenca



Fallas inferidas F3 y F4 paralelas con azimut entre N78-80 que atraviesan por la parte central de la microcuenca

Figura 17
Mapa estructural local de la microcuenca Ccoloyo



SIMBOLOGIA	
↑	Buzamientos
↔	Pliegues
---	Fallas
- - -	F1
- - -	F2
- - -	F3
- - -	F4
—	Lineas_Geofisica
—	Drenajes
●	Inventario de manantiales de agua
●	Centros poblados
■	Área de estudio

VENTANA	X	Y	RMR	Descripción
1	244928	8351701	61	Buena
2	243600	8351479	51	Regular
3	243459	8348301	40	Mala
4	243459	8348301	39	Mala
5	244255	8351922	57	Regular
6	243261	8351223	72	Buena
7	245143	8353538	63	Buena
8	245695	8351338	62	Regular

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS:		
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR"		
REGIÓN CUSCO"		
MAPA ESTRUCTURAL LOCAL	ESCALA: 1/25000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84	
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L	
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana		

Figura 17

6.3 Ventana estructural

El levantamiento de ventanas estructurales constituye una técnica de evaluación del macizo rocoso, en la que se seleccionan áreas específicas (generalmente de 1×1 m o 2×2 m) para registrar de forma detallada las discontinuidades y sus condiciones, lo que permite una estimación más precisa de la calidad geomecánica del macizo (ISRM, 1978, 2007).

Para este fin, se aplicará la Clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating) propuesta por Bieniawski (1989), que considera diversos parámetros geológicos y geotécnicos a fin de obtener un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso.

6.3.1 Parámetros del RMR

- **Resistencia de la roca intacta**

Corresponde a la capacidad del material rocoso sin discontinuidades de resistir esfuerzos, siendo determinada mediante ensayos de laboratorio como la compresión simple, la prueba de carga puntual, o mediante ensayos indirectos in situ, como el uso del martillo de Schmidt (Bieniawski, 1989; ISRM, 2007).

Tabla 12

Clasificación de resistencia de la roca intacta según RMR

Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM	Puntuación
> 250	R6	15
100 – 250	R5	12
50 – 100	R4	7
25 – 50	R3	4
5 – 25	R2	2
1 – 5	R1	1
< 1	R0	0

Fuente: Bieniawski (1989)

- **Índice de Calidad de la Roca (RQD)**

El RQD (Rock Quality Designation) es un parámetro propuesto por Deere (1963) que mide el porcentaje de testigos de perforación con longitudes mayores a 10 cm respecto al total recuperado. Un mayor valor de RQD refleja una roca masiva y competente, mientras que valores bajos indican una roca muy fracturada (Bieniawski, 1989).

Tabla 13

Clasificación de RQD según RMR

Rango (%)	Puntuación
90 – 100	20
75 – 90	17
50 – 75	13
25 – 50	8
< 25	3

Fuente: Bieniawski (1989).

- **Espaciamiento de discontinuidades**

Se refiere a la distancia media entre fracturas, juntas o planos de debilidad. A mayor espaciamiento, mejor comportamiento geomecánico del macizo; mientras que valores bajos evidencian fragmentación significativa (ISRM, 1978; Bieniawski, 1989).

Tabla 14

Clasificación de espaciamiento de discontinuidades según RMR

Rango (m)	Puntuación
> 2.0	20
0.6 – 2.0	15
0.2 – 0.6	10
0.06–0.20	8

< 0.06 0

Fuente: Bieniański (1989).

- **Condiciones de las discontinuidades**

Incluyen aspectos relacionados con:

- **Persistencia:** longitud o extensión visible de la discontinuidad.

Tabla 15

Clasificación de persistencia según RMR

Rango (m)	Puntuación
< 1	6
1 – 3	4
3 – 10	2
10 – 20	1
> 20	0

Fuente: Bieniański (1989).

- **Apertura:** separación entre las paredes de la discontinuidad.

Tabla 16

Clasificación de apertura según RMR

Rango (mm)	Puntuación
Cerrada	6
< 0.1	5
0.1 – 1.0	3

1.0 – 5.0	1
> 5.0	0

Fuente: Bieniawski (1989).

- **Rugosidad:** grado de irregularidad de las superficies.

Tabla 17

Clasificación de rugosidad según RMR

Condición	Puntuación
Muy rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente rugosa	3
Lisa o plana	1
Pulida	0

Fuente: Bieniawski (1989)

- **Relleno:** tipo de material presente en la abertura.

Tabla 18

Clasificación de relleno según RMR

Condición	Puntuación
Ninguno	6
< 5 mm (duro)	4
> 5 mm (duro)	2
< 5 mm (blando)	2

Condición	Puntuación
> 5 mm (blando)	0

Fuente: Bieniawski (1989)

- **Alteración:** grado de meteorización de las paredes de la discontinuidad. Estos factores inciden directamente en la resistencia al corte y en la estabilidad de bloques dentro del macizo (ISRM, 2007; Bieniawski, 1989).

Tabla 19

Clasificación de alteración según RMR

Condición	Puntuación
Inalterada	6
Ligeramente alterada	5
Moderadamente alterada	3
Muy alterada	1
Descompuesta	0

Fuente: Bieniawski (1989)

- **Condición del agua subterránea**

La presencia de agua en discontinuidades influye en la resistencia efectiva del macizo y en la presión de poro, afectando su comportamiento mecánico. La clasificación RMR contempla diferentes condiciones desde seco hasta fluyendo (Bieniawski, 1989; Hoek & Brown, 1980).

Tabla 20

Clasificación de agua subterránea según RMR

Condición	Puntuación
Seco	15
Húmedo	10
Mojado	7
Goteando	4
Fluyendo	0

Fuente: Bieniawski (1989)

6.3.2 Ventana estructural 1: Unidad Choquechambe

La ventana estructural analizada en la Unidad Choquechambe, constituida por granodioritas de textura fanerítica, presenta un macizo rocoso con un RQD de 70 %, lo que corresponde a una clasificación de calidad Buena. El RMR obtenido es 61, ubicando al macizo en la Clase III (calidad media a buena), lo que evidencia un comportamiento estructural competente, aunque con ciertas limitaciones asociadas a la presencia de discontinuidades (ver tabla 21).

El macizo presenta cuatro familias de discontinuidades, con una disposición que genera un grado de anisotropía estructural relevante para la caracterización geomecánica. Estas discontinuidades son de apertura milimétrica a subcentimétrica, localmente irregulares, con superficies parcialmente rugosas y sin relleno mineral significativo. Se observa una alteración moderada, la cual se manifiesta en un ligero cambio de coloración y debilitamiento localizado de las superficies de fractura, aunque sin comprometer de manera significativa la resistencia global de la roca intacta.

En términos hidrogeológicos, la ausencia de agua en las discontinuidades indica un macizo con baja permeabilidad efectiva en la zona evaluada. La circulación de agua subterránea estaría restringida, dependiendo casi exclusivamente de la conectividad estructural de las fracturas. Sin embargo, el grado de fracturación presente, combinado con la alteración moderada, puede

favorecer la generación de caminos preferenciales en sectores específicos si existiesen recargas locales.

Tabla 21

Descripción la ventana 1 de la Unidad Choquechambe.

REGISTRO DE MAPEO GEOMECÁNICO																																														
Descripción del proyecto:												Descripción de la Estación:																																		
Cliente:	No aplica											Código:	VENTANA 01																																	
Proyecto:	EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEAS											Zona:	19L																																	
Ubicación:	Unidad Choquechambe											Ubicación:	244928/8351701																																	
Mapeado por:	Dahize Moyan/Humayene Huamani											Alt. X Anch:	0.7X0.7																																	
Fecha:	14/08/2025											Buz. (*) / Dir. Buz. (*)																																		
Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)																																														
Resistencia de la Roca Intacta												Condición de Juntas																																		
Resistencia compresiva			RQD (%)			Espaciamiento			Persistencia			Abertura			Rugosidad			Relleno			Alteración			Agua subterránea																						
Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM	Puntuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción	Clase de Macizo																						
> 250	R6.0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	Correda	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Inalterada	6	Seco	15	81 - 100	Muy Buena	I																									
100 - 250	R5.0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	Rugosa	5	Rugosa	5	< 5 (duro)	4	Liger. alterada	5	Humedo	10	61 - 80	Buena	II																									
50 - 100	R4.0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	10 - 20	1	1.0 - 5.0	1	> 5 (duro)	3	Mojado	7	41 - 60	Regular	III																											
25 - 50	R3.0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	> 50	0	> 20	0	> 5.0	0	< 5 (blando)	1	Muy Alterada	1	21 - 40	Mala	IV																											
5 - 25	R2.0	2	< 25	3	< 0.06	0							> 5 (blando)	0	Descompuesta	0	Fluyendo	0	0 - 20	Muy Mala	V																									
1 - 5	R1.0	1																																												
< 1	RD.0	0																																												

Propiedades Promedio del Macizo Roco en la Estación:

RMR	GSI	Resistencia ISRM	RQD Estimado (%)	Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes
61	No aplica	R4	70	No aplica

N°	Tipo de Estucura	N° de juntas visto en la estructura mapeada	Buz. (*)	Dir. Buz. (*)	Puntuaciones de resistencia			Puntuaciones para la familia de juntas			Condición de Agua	Calculo de RMR	Comentarios	Registro Fotográfico									
					Resistencia compresiva	RQD	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad				Relleno	Alteración	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3					
1	JS	4	78	167	7	20	10	4	0	3	2	1	15	62	No presenta agua								
2	JS	4	82	93	7	17	8	4	1	5	2	3	15	62	No presenta agua								
3	JS	2	26	217	7	13	8	4	0	3	6	3	15	59	No presenta agua								
4	JS	1	81	143	7	20	10	4	0	3	0	3	15	62	No presenta agua								

6.3.3 Ventana estructural 2: Unidad Choquechambe

La segunda ventana estructural analizada en la Unidad Choquechambe corresponde a un macizo rocoso granodiorítico con un RQD general de 48 %, lo cual se clasifica como de calidad regular a deficiente. El RMR calculado es 51, valor que sitúa al macizo en la Clase III (calidad media) (ver tabla 22)

En este macizo se reconocieron tres a cuatro familias de discontinuidades con orientaciones predominantes de buzamiento entre 38° y 55°, y direcciones de buzamiento variables entre 142° y 302°. Las discontinuidades presentan espaciamientos reducidos (6–13 puntos en la evaluación), persistencia moderada y aberturas milimétricas, sin presencia significativa de rellenos minerales.

Las superficies son ligeramente rugosas, con evidencias de alteración leve a moderada, lo que reduce localmente la resistencia a lo largo de los planos de fractura.

En términos hidrogeológicos, no se registró agua en las discontinuidades durante la evaluación; sin embargo, este resultado responde a que la medición se realizó en temporada de estiaje. Dado el grado de fracturación y la presencia de varias familias estructurales, se infiere que el macizo puede comportarse como un acuífero temporal fisurado.

Tabla 22

Descripción la ventana 2 de la Unidad Choquechambe.

REGISTRO DE MAPEO GEOMECÁNICO																										
Descripción del proyecto:												Descripción de la Estación:														
Cliente:	No aplica												Código:	VENTANA 02												
Proyecto:	EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA												Zona:	19L												
Ubicación:	Unidad Choquechambe												Ubicación:	243600/8351479												
Mapeado por:	Dahize Moya/Mayume Huamani												Alt. X Anch:	1x1												
Fecha:	14/08/2025												Buz. (*) / Dir. Buz. (*)	325/76												
Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)																										
Resistencia de la Roca Intacta												Condición de juntas												RMR		
Resistencia compresiva	RMR	Runtuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Rod	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción	Clase de Macizo	
Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM																									
> 250	R6.0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	Cerrada	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Inalterada	6	Seco	15	81 - 100	Muy Buena	I					
100 - 250	R5.0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	Rugosa	5	Rugosa	5	< 5 (duro)	4	Liger. alterada	10	Humedo	61 - 80	Buena	II						
50 - 100	R4.0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	0.1 - 1.0	3	Lig. Rugosa	3	> 5 (duro)	3	Alterada	7	Mojado	41 - 60	Regular	III						
25 - 50	R3.0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	10 - 20	1	1.0 - 5.0	1	Lisa o plana	1	< 5 (blando)	2	Muy Alterada	4	Goteando	21 - 40	Mala	IV						
5 - 25	R2.0	2	< 25	3	< 0.06	0	> 20	0	> 5.0	0	Pulida	0	> 5 (blando)	0	Descompuesta	0	Fluyendo	0	Muy Mala	V						
1 - 5	R1.0	1																								
< 1	R0.0	0																								
Propiedades Promedio del Macizo Roco en la Estación:																										
RMR												GSI												Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes		
51												No aplica												48		
Nº	Tipo de Estructura	Nº de juntas u otra estructura mapeada	Buz. (°)	Dir. Buz. (°)	Orientación	Puntuaciones de resistencia			Puntuaciones para la familia de juntas:			Resistencia ISRM			R3-R4			RMR Estimado (%)			Comentarios			Registro Fotográfico		
						Rod	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Condición de RMR													
1	JS	4	55	161		7	6	8	4	0	3	2	3	15	48											
2	JS	4	38	302		7	13	8	4	0	1	2	4	15	51											
3	JS	3	45	142		7	13	10	4	0	1	2	1	15	53											
No se encontró nivel freático																										

6.3.4 Ventana estructural 3: Unidad Choquechambe

La ventana 3 de la Unidad Choquechambe corresponde a un macizo granodiorítico con RMR = 40 (Clase IV – pobre) y RQD ≈ 55 %. La resistencia de la roca intacta se ubica en R3 (25–50 MPa, ISRM) y GSI: no aplica por tratarse de evaluación mediante RMR (ver tabla 23).

Se reconocen dos juegos de juntas (JS), subverticales a muy inclinados (buz. 80–87°, dir. 65–155°), con espaciamiento reducido (~8 cm), persistencia media, aberturas milimétricas, baja

rugosidad y sin relleno, lo que favorece la desagregación de bloques. La tercera familia corresponde a una falla (F) con buz. 85° /dir. 113° , de muy baja calidad estructural (puntaje 23), que controla la reducción del índice global por actuar como plano de debilidad mayor y potencial corredor hidráulico.

Condición de agua. No se observó agua durante el levantamiento (estiaje). No obstante, la presencia de la falla sugiere permeabilidad secundaria elevada.

Tabla 23

Descripción la ventana 3 de la Unidad Choquechambe

REGISTRO DE MAPEO GEOMECANICO

Descripción del proyecto:

Cliente: No aplica

Proyecto: EVALUACION HIDROGEOLOGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRANEAS

Ubicación: Unidad Choquechambe

Mapeado por: Dahize Moymayume Huamani

Fecha: 14/08/2025

Descripción de la Estación:

Código: VENTANA 03

Zona: 19L

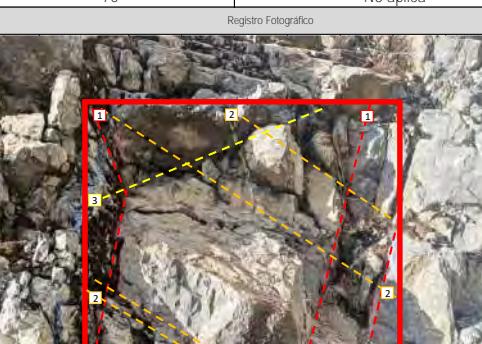
Ubicación: 243459 1883/8248300 849

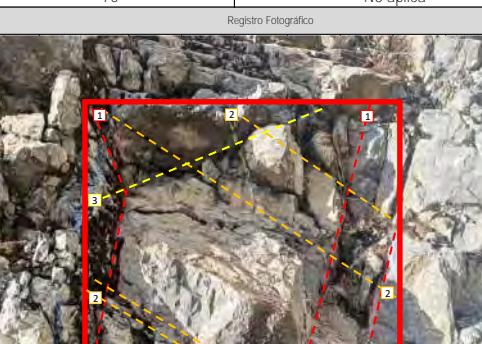
Alt. X Anch: 0.7X0.7

Buz. (°) / Dir. Buz. (°)

Resistencia de la Roca Intacta										Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)											
Resistencia compresiva		ROD (%)		Espaciamiento		Persistencia		Abertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Agua subterránea		RMR			
Compresión Simple (MPa)	Resistencia ISRM	Puntuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción	Clase de Macizo		
> 250	R6 0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	6	Cerrada	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Inalterada	6	15	81 - 100	Muy Buena	I
100 - 250	R5 0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	4	Rugosa	5	Rugosa	5	< 5 (duro)	4	Liger. alterada	5	10	61 - 80	Buena	II
50 - 100	R4 0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	2	0.1 - 1.0	3	Lig. Rugosa	3	> 5 (duro)	2	Ider. Alterada	3	7	41 - 60	Regular	III
25 - 50	R3 0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	10 - 20	1	1	1.0 - 5.0	1	Lisa o plana	1	< 5 (blando)	2	Muy Alterada	1	4	21 - 40	Mala	IV
5 - 25	R2 0	2	< 25	3	< 0.06	0	> 20	0	> 5.0	0	Pulida	0	> 5 (blando)	0	Descompuesta	0	Fleyendo	0	0 - 20	Muy Mala	V
< 5	R1 0	1																			
< 1	R0 0	0																			

Propiedades Promedio del Macizo Rocoso en la Estación:

RMR		GSI		Resistencia ISRM		ROD Estimado (%)		Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes									
40		No aplica		R3		70		No aplica									
Nº	Tipo de estructura	Nº de juntas con estructura magistral	Dir. Buz. (°)	Orientación	Puntuaciones de resistencia	Puntuaciones para la familia de juntas	Condición de Agua	Calculo de RMR	Comentarios		Registro Fotográfico						
													ROD	Espaciado	Persistencia	Abertura	Rugosidad
1	JS	3	87	155	4	13	8	4	0	3	0	1	15	48	No presenta agua		
2	JS	4	80	65	4	13	8	4	0	3	0	1	15	48	No presenta agua		
3	F	1	85	113	0	6	0	0	0	2	0	15	23	Falla			



6.3.5 Ventana estructural 4: Unidad Choquechambes

Corresponde a un macizo de la Unidad Choquechambe, caracterizado por una calidad deficiente de la roca. El valor de RMR es 39, clasificando al macizo en la Clase IV (pobre) según Bieniawski. El índice de calidad de testigos (RQD 50 %) refuerza esta clasificación. La resistencia de la roca intacta se ubica en el rango R3 (moderada, 25–50 MPa, ISRM).

Se identificaron tres familias estructurales:

- Dos familias de juntas con buzamientos de 90° y 24° , de espaciamiento reducido (6-17 cm), persistencia media y baja rugosidad, sin presencia de relleno.
 - Una familia de fallas (F) con buzamiento de 70° y dirección 138° , que constituye la discontinuidad más crítica, con bajo puntaje de resistencia (23 en RMR). Esta estructura debilita considerablemente el macizo, al actuar como plano de debilidad mayor y potencial vía de infiltración.

La condición hidrogeológica actual es de ausencia de agua visible; sin embargo, la presencia de fallas sugiere que el macizo puede comportarse como un medio altamente fracturado y permeable, facilitando la infiltración en periodos de recarga.

Tabla 24

Descripción la ventana 4 de la Unidad Choquechambe

REGISTRO DE MAPEO GEOMECÁNICO

Descripción del proyecto:

Cliente: No aplica

Proyecto: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEAS

Ubicación: Unidad Choquechambe

Mapeado por: Dahize Moyana Mayume Huamani

Fecha: 14/08/2025

Descripción de la Estación:

Código: VENTANA 04

Zona: 19L

Ubicación: 244928/8351701

Alt. X Anch: 1x1

Buz. (*) / Dir. Buz. (*)

Resistencia de la Roca Intacta										Clasificación Geomecánica RMR (Biemanski, 1989)									
Resistencia compresiva		RQD (%)		Espaciamiento		Persistencia		Abertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Agua subterránea		RMR	
Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM	Puntuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción	Clase de Macizo
> 250	R6.0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	Cerrada	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Seco	15	81 - 100	Muy Buena	I
100 - 250	R5.0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	Rugosa	5	Rugosa	4	< 5 (fino)	4	Liger. alterada	10	61 - 80	Buena	II
50 - 100	R4.0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	0.1 - 1.0	3	Lig. Rugosa	3	> 5 (fino)	2	Alterada	7	41 - 60	Regular	III
25 - 50	R3.0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	10 - 20	1	1.0 - 5.0	1	Lisa o plana	1	< 5 (blanco)	2	Muy Alterada	2	21 - 40	Mala	IV
5 - 25	R2.0	2	< 25	3	< 0.06	0	> 20	0	> 5.0	0	Ilulta	0	> 5 (blanco)	0	Descompuesta	0	0 - 20	Muy Mala	V
1 - 5	R1.0	1																	
< 1	R0.0	0																	

Propiedades Promedio del Macizo Rocoso en la Estación:

RMR			GSI			Resistencia ISRM			ROD Estimado (%)			Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes							
39			No aplica			R3			62			No aplica							
Nº	Tipo de Estru	Nr de unión en la	estru. mayor	Buz. (*)	Dir. Buz. (*)	Resistencia compresiva	RQD	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Condición de Agua	Cálculo del RMR	Comentarios	Registro Fotográfico		
																	Orientación	Puntuaciones de resistencia	Puntuaciones para la familia de juntas
1	JS	4	90	150		4	17	8	2	0	3	0	1	15	50	No presenta agua			
2	JS	4	24	184		4	6	8	4	0	5	0	1	15	43	No presenta agua			
3	F	2	70	138		0	6	0	0	0	0	2	0	15	23	Familia de fallas			

6.3.6 Ventana estructural 5: Formación Arcurquina

Se presenta un macizo rocoso con RQD de 85 %, clasificándose como un macizo de calidad Buena a Muy Buena. El RMR obtenido es 63, y calor de clase II (buena calidad), (ver tabla 25).

En este macizo se identificaron tres familias de discontinuidades, con buzamientos altos (78°–82°) y direcciones de buzamiento variables entre 50° y 340°. Estas presentan espaciamiento moderado a amplio (8–10 puntos), aberturas milimétricas y superficies de fractura con rugosidad baja a media. Localmente se observaron venillas con óxidos y venillas de calcita, las cuales llenan parcialmente algunos planos.

Hidrogeológicamente, aunque durante el levantamiento no se registró presencia de agua (condiciones de estiaje), la calidad del macizo y la presencia de venillas mineralizadas sugieren que este sector podría comportarse como un acuífero fisurado de baja a moderada capacidad de almacenamiento.

Tabla 25

Descripción la ventana 5 de la Formación Arcurquina

REGISTRO DE MAPEO GEOMECÁNICO																																			
Descripción del proyecto:												Descripción de la Estación:																							
Cliente:	No aplica											Código:	VENTANA 05																						
Proyecto:	EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEAS											Zona:	19L																						
Ubicación:	Formación Arcurquina											Ubicación:	244255/8351922																						
Mapeado por:	Dahlize Moyna/Mayume Huamani											Alt. X Anch:	Tx1																						
Fecha:	14/08/2025											Buz. (°) / Dir. Buz. (°)	63/125																						
Resistencia de la Roca Intacta												Clasificación Geométrica RMR (Bieniawski, 1989)																							
Resistencia compresiva	Rod (%)	Puntuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Abertura	Rugosidad	Relleno	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Clase de Macizo	Agua subterránea			RMR											
Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM	Puntuación	Rangos (%)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción															
> 250	R6.0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	Cerrada	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Inalterada	6	Seco	15	81 - 100	Muy Buena	I														
100 - 250	R5.0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	< 0.1	5	Rugosa	5	< 5 (duro)	4	Liger. alterada	5	Humedo	10	61 - 80	Buena	II														
50 - 100	R4.0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	0.1 - 1.0	3	Lig. Rugosa	3	> 5 (duro)	2	Rod. Alterada	3	Mojado	7	41 - 60	Regular	III														
25 - 50	R3.0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	10 - 20	1	1.0 - 5.0	1	Lisa o plana	1	< 5 (blando)	2	Muy Alterada	1	Goteando	4	21 - 40	Mal	IV														
5 - 25	R2.0	2	< 25	3	< 0.06	0	> 20	0	> 5.0	0	Pulida	0	> 5 (blando)	0	Déscompuesta	0	Fluyendo	0	0 - 20	Muy Mal	V														
1 - 5	R1.0	1																																	
< 1	R0.0	0																																	
Propiedades Promedio del Macizo Rocosos en la Estación:												RMR Estimado (%)													Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes										
RMR				GSI				Resistencia ISRM				RMR Estimado (%)				Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes																			
57				No aplica				R3				55				NO APLICA																			
Nº	Tipos de Estructura	Nº de juntas u otra estructura mapeada	Orientación	Puntuaciones de resistencia	Puntuaciones para la familia de juntas	Rod	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Condiciones de Agua	Calculo de RMR	Comentarios	Registro Fotográfico																			
1	JS	12	38	331	4	6	8	4	1	5	2	3	15	48	No se encontró nivel freático																				
2	JS	3	70	23	4	13	8	4	3	5	4	3	15	59	No se encontró nivel freático																				
3	JS	3	82	45	4	13	10	6	3	5	4	3	15	63	No se encontró nivel freático																				



6.3.7 Ventana estructural 6: Formación Arcurquina

La ventana estructural correspondiente a la Formación Arcurquina muestra un macizo rocoso constituido principalmente por calizas masivas de tonalidad gris a beige, con un RQD general de 55 %, lo que clasifica al macizo como de calidad regular. El RMR obtenido es 60, valor que lo sitúa en la Clase III (calidad media), indicando un macizo con fracturación significativa, aunque aún con un comportamiento estructural relativamente competente (ver tabla 26).

En esta estación se identificaron hasta 12 discontinuidades en un mismo plano y hasta 3 en otros sectores, con buzamientos entre 38° y 82° y direcciones variables entre 23° y 331° . Estas estructuras presentan espaciamiento reducido a moderado (6–13 puntos), persistencia media a alta y aberturas milimétricas, con superficies de fractura parcialmente rugosas. Se observaron rellenos carbonatados y óxidos en planos de fractura, asociados a procesos de circulación de fluidos. La alteración es moderada, manifestándose como cambios de coloración y debilitamiento local en los planos, sin comprometer totalmente la resistencia de la roca intacta.

Tabla 26 Descripción la ventana 6 de la Formación Arcurquina

6.3.8 Ventana estructural 7: Formación Arcurquina

La ventana estructural 7, ubicada en la Formación Arcurquina, está compuesta por calizas masivas que presentan un macizo rocoso con un RQD de 68 %, clasificándose como de calidad buena. El RMR obtenido es 72, lo cual corresponde a la Clase II (buena calidad), reflejando un macizo competente con fracturación controlada (ver tabla 27).

Se reconocieron dos familias principales de discontinuidades, con buzamientos de 34° y 60° y direcciones de buzamiento entre 181° y 300°. Estas discontinuidades presentan espaciamiento moderado a amplio (10–15 puntos), aberturas milimétricas a subcentimétricas y superficies de fractura rugosas a ligeramente irregulares. Los planos se encuentran localmente llenos con calcita, lo que indica circulación de fluidos previos y procesos de cementación secundaria. La persistencia es media a alta, pero la alteración es baja y restringida, lo cual contribuye a la estabilidad general del macizo.

En términos hidrogeológicos, no se encontró agua durante la evaluación por realizarse en época de estiaje. Sin embargo, la fracturación y la presencia de rellenos de calcita evidencian circulación de fluidos en el pasado, sugiriendo que este macizo puede funcionar como un acuífero fisurado temporal de baja a moderada transmisividad.

Tabla 27

Descripción la ventana 7 de la Formación Arcurquina

REGISTRO DE MAPEO GEOMECÁNICO																																					
Descripción del proyecto:										Descripción de la Estación:																											
Cliente:	No aplica									Código:	VENTANA 07																										
Proyecto:	EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEAS									Zona:	19L																										
Ubicación:	Formación Arcurquina									Ubicación:	245142.937/8353537.545																										
Mapeado por:	Dahize Myrna/Mayume Huamani									Alt. X Arch:	1X1																										
Fecha:	14/09/2025									Buz. (°) / Dr. Buz. (°)																											
Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)																																					
Resistencia de la Roca Intacta										Condición de juntas																											
Compresión simple (MPa)	Resistencia ISRM	Rodamiento	Rangos (%)	Puntuación	Espaciamiento		Persistencia		Abertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Agua subterránea		RMR																		
					Rangos (m)	Puntuación	Rangos (m)	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos (mm)	Puntuación	Condición	Puntuación	Rangos	Descripción	Clase de Macizo																		
> 250	R6.0	15	90 - 100	20	> 2.0	20	< 1	6	Cerrada	6	Muy Rugosa	6	Ninguno	6	Interiora	6	81 - 100	Muy Buena	I																		
100 - 250	R5.0	12	75 - 90	17	0.6 - 2.0	15	1 - 3	4	Rugosa	5	Rugosa	5	< 5 (duro)	4	Liger. alterada	5	61 - 80	Buena	II																		
50 - 100	R4.0	7	50 - 75	13	0.2 - 0.6	10	3 - 10	2	0.1 - 1.0	3	Lig. Rugosa	3	> 5 (duro)	2	Feder. Alterada	3	41 - 60	Regular	III																		
25 - 50	R3.0	4	25 - 50	6	0.06 - 0.20	8	10 - 20	1	1 - 5.0	1	Lisa o plana	1	> 5 (blando)	2	Muy Alterada	1	21 - 40	Mala	IV																		
5 - 25	R2.0	2	< 25	3	< 0.06	0	> 20	0	> 5.0	0	Pulida	0	> 5 (blando)	0	Descompuesta	0	0 - 20	Muy Mala	V																		
1 - 5	R1.0	1																																			
< 1	R0.0	0																																			
Propiedades Promedio del Macizo Rocoso en la Estación:																																					
RMR					GSI					Resistencia ISRM					RQD Estimado (%)			Orientación del Martillo Schmidt / N° de Rebotes																			
63					No aplica					R4					85.00			No aplica																			
N°	Tipo de Estructura	N° de juntas en la estructura mapeada	Orientación	Puntuaciones de resistencia	Puntuaciones para la familia de juntas	Condición de Agua	Cálculo de RMR	Comentarios	Registro Fotográfico																												
1	JS	3	82	340	7	17	10	4	0	5	0	1	15	59	No presenta agua																						
2	JS	3	80	50	7	20	8	4	0	5	0	3	15	62	No presenta agua																						
3	JS	2	78	110	7	20	10	4	1	3	6	3	15	69	No presenta agua																						

6.3.9 Ventana estructural 8: Formación Arcurquina

Presenta un macizo calcáreo con un RQD de 80 %, lo que lo clasifica como de calidad buena. El RMR calculado es 62, valor que ubica al macizo en la Clase II (buena calidad), lo que evidencia un comportamiento estructural competente, aunque condicionado por la presencia de varias familias de discontinuidades (ver tabla 28).

Se identificaron cuatro familias de discontinuidades con buzamientos altos (70°–74°) y direcciones variables entre 115° y 258°. Estas estructuras presentan espaciamiento moderado (8–10 puntos), aberturas milimétricas, persistencia media y superficies de fractura parcialmente rugosas. Se observaron rellenos carbonatados asociados a calcita y presencia localizada de óxidos, así como un grado de alteración moderada, particularmente en los planos de fractura.

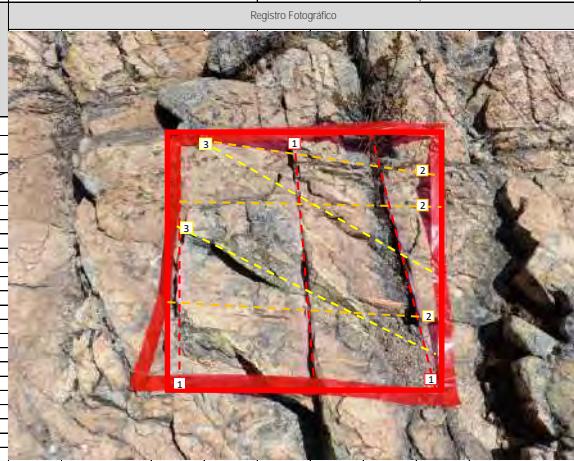
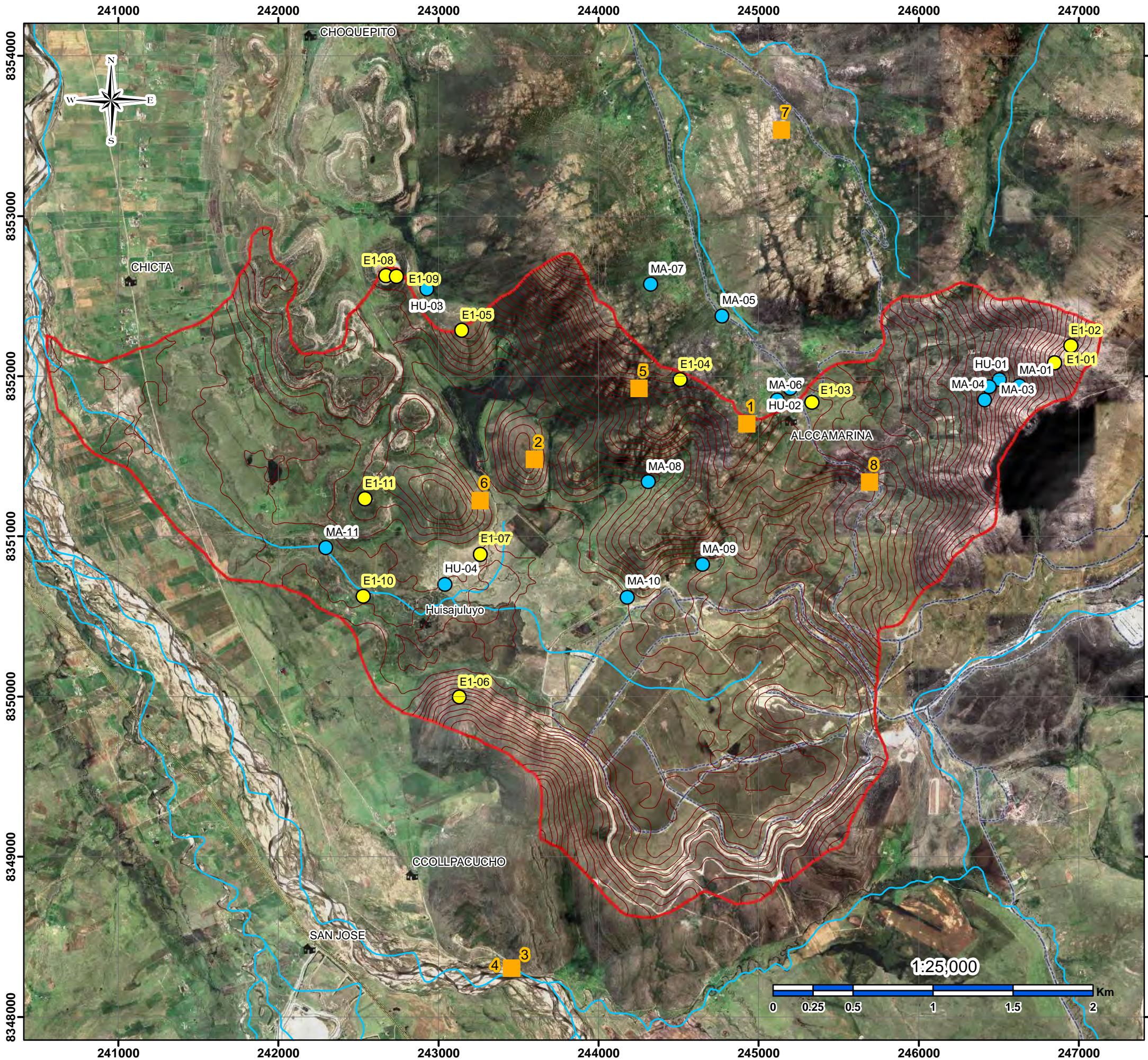


Tabla 28

Descripción de la ventana 8 de la Formación Arcurquina

Figura 18
Mapa de ubicación de ventanas estructurales de la microcuenca Ccoloyo



Capítulo VII: Hidrología

7.1 Morfometría de la cuenca

A continuación, se presenta una tabla que resume las principales características morfológicas de la microcuenca de Cocoloy.

Tabla 29

Morfometría de la cuenca

Parámetros de Forma	Símbolo	Unidad	Método	Valor
Área de la cuenca	A	Km ²	Automatizado	14.14
Perímetro	P	Km	Automatizado	20.54
Centroide Este	Xi	M	Automatizado	243982.11
Centroide Norte	Yi	M	Automatizado	8350986.1
Longitud axial	Lax	Km	Automatizado	6.50
Longitud de cauce principal	Lcp	Km	Automatizado	10.88
Ancho promedio	Ap	Km	$Ap = \frac{A}{Lax}$	2.18
Factor de forma	Ki		$Ki = \frac{A}{Lax^2}$	0.33
Coeficiente de compacidad	Kc		$Kc = 0.28 \frac{P}{A^{\frac{1}{2}}}$	1.53
Relación de elongación	Re		$Ei = 1.128 * \sqrt{\frac{A}{Lax}}$	1.66
Índice de circularidad	Ic		$Ic = 4\pi * \frac{A}{P^2}$	0.42
Lado mayor	L	Km	$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$	8.63
Lado menor	l	Km	$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$	1.64

7.1.1 Elementos de superficie

Entre los elementos superficiales considerados, el área de la microcuenca constituye un factor fundamental en el análisis hidrológico, ya que representa la extensión total del territorio evaluado, delimitado a partir de la línea divisoria de aguas (*divortium aquarum*).

Para determinar el área de la microcuenca de Ccoloyo, se utilizó el software ARCGIS, obteniéndose un valor de 14.14 km². De acuerdo con la metodología de priorización de cuencas por rangos de superficie propuesta por el DSMC-DGASI/Lima (1983) (ver tabla 29), esta zona se clasifica como una microcuenca, al superar el umbral de los 10 km².

7.1.2 Elementos de distancia

Los elementos de distancia considerados en la microcuenca incluyen Perímetro, Centroides, Longitud Axial, Longitud del Cauce Principal y Ancho Promedio, se presentan en la tabla 29.

Perímetro (P)

El perímetro representa la distancia lineal que delimita el contorno de la cuenca a partir del interfluvio o *divortium aquarum*, influyendo en la forma y el tiempo de concentración del escurrimiento. Para su cálculo, se utilizó el software ARCGIS, obteniendo un valor de 20.54 km.

Centroides (X, Y)

El centroide de la cuenca hidrográfica corresponde a su baricentro, es decir, el punto donde cualquier recta que lo atravesie separa la figura en 2 partes de proporciones iguales en términos de masa, área u otro criterio relevante. Con el uso de ARCGIS, se obtuvo que el centroide de la microcuenca tiene coordenadas UTM: (X, Y) = (243982.11, 8350986.12) m.

Longitud Axial y Longitud del Cauce Principal (Lax y Lcp)

- **Longitud axial (Lax):** Corresponde a la distancia lineal más extensa desde la desembocadura del sistema de drenaje hasta el punto más alejado.
- **Longitud del cauce principal (Lcp):** Se refiere al trayecto total del cauce principal a lo largo de la cuenca, siguiendo su curso desde el punto de origen hasta su desembocadura.

Ambos valores fueron obtenidos mediante ARCGIS, donde la longitud axial (6.50 km), y la longitud del cauce principal (10.88 km) representa su trayectoria real, considerando curvaturas y meandros.

Ancho Promedio (Ap)

El ancho medio de la microcuenca se determina al dividir su superficie total entre la longitud axial. En el presente análisis, este valor fue de 2.18 km.

7.1.3 Elementos de forma

Los parámetros morfométricos considerados son: factor de forma, coeficiente de compacidad, relación de elongación, índice de circularidad, así como los lados mayor y menor. Un resumen de estos elementos se presenta en la Tabla 29.

Factor forma (Ki):

Este parámetro caracteriza la configuración superficial de la microcuenca, incidiendo en el comportamiento del escurreimiento y en los picos de caudal. El factor de forma se define como la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la microcuenca (Horton, 1945), y su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$Ki = \frac{B}{Lax} = \frac{A}{Lax^2}$$

Donde:

B = Ancho promedio de la cuenca

Lax = Longitud axial de la cuenca

A = Área de la microcuenca

El factor forma calculado para la microcuenca de Ccoloyo es 0.33467456 y corresponde a una cuenca ligeramente alargada de acuerdo a la Tabla 30.

Tabla 30

Forma de la cuenca de acuerdo al valor del factor de forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy elongada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchados
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Perez (1979)

Coeficiente de compacidad (Kc):

También conocido como Índice de Gravelious, este parámetro sin unidades cuantifica la relación entre el perímetro real de la microcuenca y el perímetro de una circunferencia que tendría la misma superficie (Gravelious, 1914). Su valor se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\frac{1}{A^2}}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

El coeficiente de compacidad obtenido para la microcuenca Ccoloyo es de 1.52944465, lo que indica que presenta una forma que varía entre ovalada oblonga y rectangular oblonga, de acuerdo con los rangos establecidos por la (FAO, 1985). En cuencas con estas características, el escurrimiento superficial suele distribuirse de manera más progresiva hacia el cauce principal, disminuyendo la probabilidad de crecidas súbitas en comparación con cuencas de formas más circulares.

Tabla 31

Forma de una cuenca de acuerdo al índice de compacidad

Rangos de K	Clases de compacidad
<1.25	Redonda a oval redonda
0.25 a 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 a 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: FAO, 1985.

Relación de elongación (Re):

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie que la cuenca y la longitud total de esta (Schumm, 1956). Su expresión matemática se presenta a continuación:

$$Ei = 1.128 * \sqrt{\frac{A}{Lax}}$$

Donde:

A = Área de la cuenca

Lax = Longitud axial de la cuenca

La Relación de elongación calculada para la microcuenca de Ccoloyo es de 1.66370808.

Según Schumm (1956), valores menores a 1 reflejan cuencas con una morfología alargada, mientras que aquellos próximos mayores a 1 indican una configuración más circular. Este tipo de cuencas se caracteriza por una mayor concentración de caudales en cortos períodos de tiempo, ya que la precipitación que ocurre sobre la superficie de la cuenca tiende a llegar más rápidamente al cauce principal.

Índice de circularidad (Ic):

De acuerdo con Miller (1953), este índice representa la proporción entre el área de la cuenca y la de un círculo que tendría la misma longitud de perímetro. Su cálculo se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$Ic = 4\pi * \frac{A}{P^2}$$

Donde:

A = Área de la cuenca

P = Perímetro de la cuenca

El índice de circularidad obtenido para la microcuenca de Ccoloyo fue de 0.42117094, lo que indica que presenta una forma alargada, correspondiendo a la fase juvenil de evolución geomorfológica según la clasificación de López et al. (2015). Esto implica que la cuenca tiene un mayor control estructural y pendiente, favoreciendo un escurrimiento más rápido y concentrado hacia el cauce principal, lo que incrementa la probabilidad de crecidas repentinas en eventos de precipitación intensa.

Rectángulo equivalente (I y L):

El rectángulo equivalente consiste en una representación geométrica que convierte la forma irregular de una cuenca en un rectángulo, manteniendo su misma área, perímetro, distribución altitudinal y características de cobertura del terreno (Villón, 2002).

Se calculan el lado mayor (L) y el lado menor de la cuenca (I), representados por las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{k_c * \sqrt{p * A_c}}{2} * \left(\sqrt{l - \frac{4}{p * k_c^2}} \right)$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

Ac = Área de la cuenca

El rectángulo equivalente calculado para la microcuenca de Ccoloyo presenta un lado mayor de 8.6318879 km y un lado menor de 1.6381121 km, lo que refleja una morfología alargada de la cuenca. Esta representación geométrica permite simplificar el análisis de sus características hidrológicas y confirma la tendencia señalada por los índices morfométricos (elongación, compacidad y circularidad), en los que la cuenca muestra una forma oblonga y alargada. Desde el punto de vista hidrológico, esta morfología favorece un escurrimiento relativamente rápido hacia el cauce principal, aunque con menor concentración de caudales que en cuencas de forma circular.

7.1.4 Elementos de relieve

Estos elementos resultan esenciales, ya que el relieve de una cuenca tiene un impacto más determinante en su comportamiento hidrológico que su forma. A mayor pendiente, la escorrentía superficial tiende a generarse en lapsos más breves. La Tabla 32 presenta un resumen de los principales elementos del relieve de la cuenca.

Tabla 32

Resumen de los elementos de relieve

Elemento	Símbolo	Unidad	Valor
Altitud máxima	H_{max}	m.s.n.m.	4473
Altitud mínima	H_{min}	m.s.n.m.	3989
Altitud media	H_m	m.s.n.m.	4084.09
Mediana de la altitud	Ma	m.s.n.m.	4070
Línea de máxima pendiente	LMP	%	4.44
Declividad equivalente constante	S	%	12.8
Tiempo medio de traslado	T_m	Horas	3.2

Elevaciones del terreno:

En función del nivel del mar, la pendiente de la superficie de la cuenca se determina a partir de la diferencia entre sus altitudes máxima y mínima.

- Altura máxima (H_{max}): 4473 m s. n. m.
- Altura mínima (H_{min}): 3989 m s. n. m.

Altitud del Cauce Principal

La altitud del cauce principal se refiere a las cotas de mayor y menor elevación dentro de su trayecto (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987). Para la microcuenca de Ccoloyo, estos valores fueron obtenidos de manera automatizada mediante el software ArcGIS:

- Altitud mayor: 4399 m s. n. m.
- Altitud menor: 3990 m s. n. m.

Curva hipsométrica:

La curva hipsométrica (Strahler, 1952) es una herramienta que permite analizar cómo se distribuye la masa de la cuenca desde las zonas altas hasta las bajas. Para elaborarla, se representan en el eje vertical (ordenadas) las distintas altitudes de la cuenca en relación con su elevación máxima, mientras que en el eje horizontal (abscisas) se indican las proporciones del área que se encuentran por encima de cada una de esas altitudes, en relación con el área total de la cuenca.

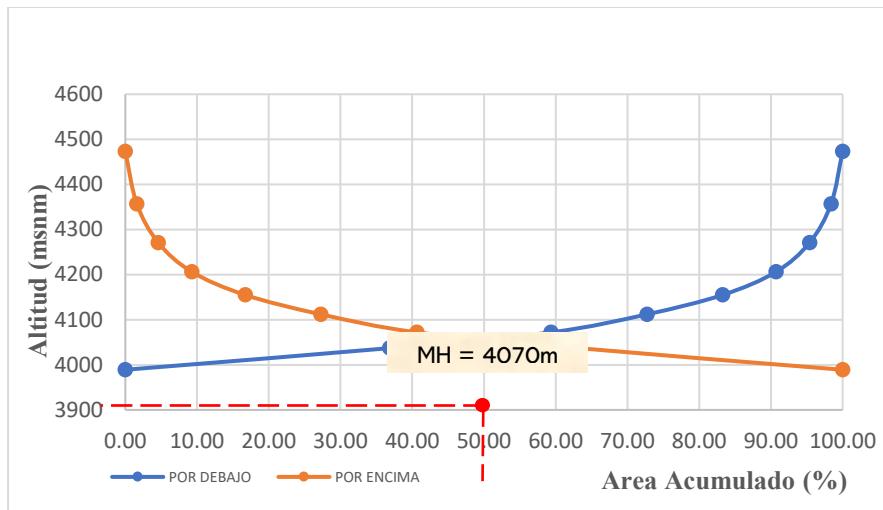
Tabla 33

Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica

Altitud m.s.n.m.	Áreas Parciales		Áreas acumuladas			
	Km ²	(%)	Por debajo		Por encima	
		(Km ²)	(%)	Km ²	(%)	
3989	0.00	0.00	0.00	0.00	14.14	100.00
4037	5.21	36.84	5.21	36.84	8.93	63.16
4072	3.18	22.52	8.39	59.36	5.75	40.64
4112	1.89	13.39	10.29	72.74	3.85	27.26
4155	1.49	10.54	11.78	83.29	2.36	16.71
4206	1.05	7.42	12.83	90.71	1.31	9.29
4271	0.66	4.70	13.49	95.41	0.65	4.59
4357	0.42	2.99	13.92	98.40	0.23	1.60
4473	0.23	1.60	14.14	100.00	0.00	0.00
.						

Figura 19

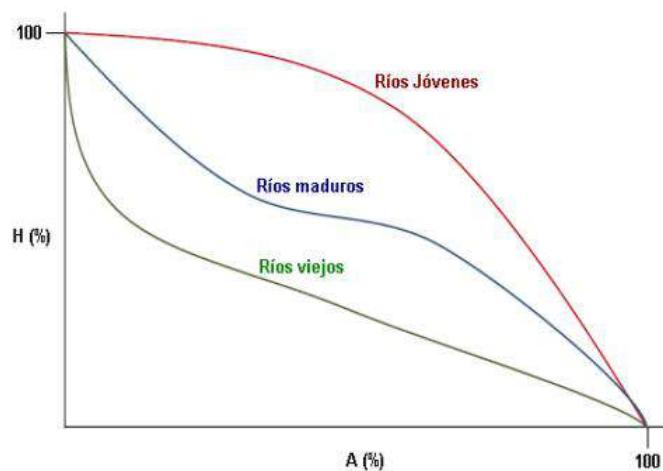
Curvas hipsométrica y mediana de la altitud de la microcuenca de Ccoloyo.



En la figura 19 se presenta la curva hipsométrica de la microcuenca de Ccoloyo, donde se observa una altitud mediana (MH) de 4070 m.s.n.m. La forma de la curva refleja un relieve relativamente equilibrado, con predominio de áreas intermedias y bajas pendientes, lo que indica que la cuenca se encuentra en un estado geomorfológico maduro ha avanzado. Este grado de evolución sugiere que el relieve ha alcanzado cierta estabilidad morfodinámica, con menor susceptibilidad a procesos intensos de erosión vertical y una mayor tendencia a la erosión lateral y la acumulación de sedimentos.

Figura 20

Curvas hipsométricas teóricas de Strahler



Fuente: Ibáñez et al. Morfología de las cuencas hidrográficas.

El análisis de la curva hipsométrica de la microcuenca de Ccoloyo, comparada con las tres curvas teóricas de Strahler (1952), indica que corresponde a una cuenca senil, tipo C. Este tipo de microcuenca se encuentra en una etapa avanzada de evolución geomorfológica, caracterizada por pendientes suaves, baja capacidad erosiva y una disminución en el transporte de sedimentos, lo que favorece la acumulación de materiales y la formación de llanuras aluviales.

Altitud media:

Corresponde al valor promedio de altitud representado en la curva hipsométrica. En este nivel, la mitad del área total de la cuenca se localiza por encima y la otra mitad por debajo de dicha altitud (Villón, 2002).

$$Hm = \frac{\sum(Ai * hi)}{A}$$

Donde:

Hi = Altitud media de cada área parcial

Ai = Área parcial

A = Área de la cuenca

El valor de altitud media (Hm) calculado para la microcuenca de Ccoloyo es de 4084.09 m.s.n.m.

Mediana de la altitud

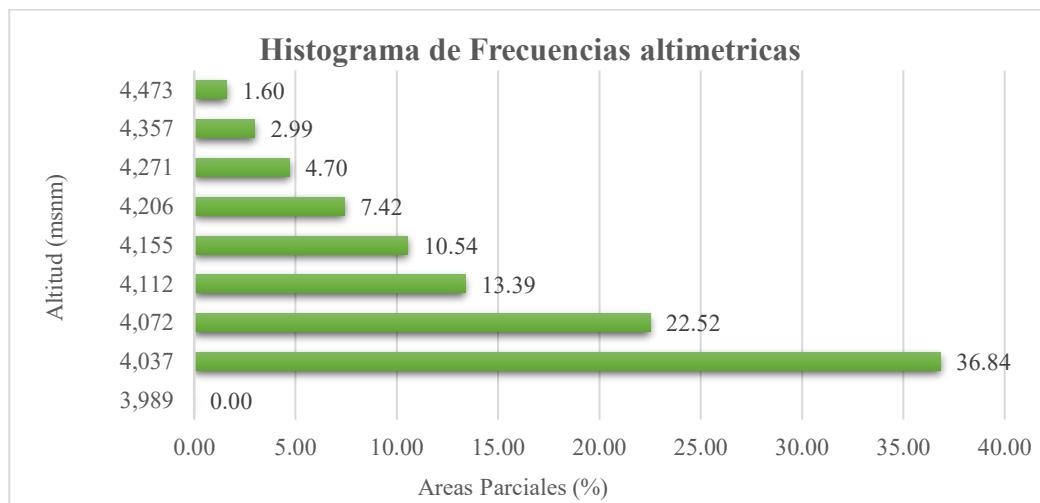
Este parámetro se obtiene a partir de una curva hipsométrica y corresponde a la cota de altitud que divide en dos partes iguales el área acumulada en porcentaje. En el caso de la microcuenca de Ccoloyo, la mediana de altitud es de 4070 m s. n. m.

Histograma de frecuencias altimétricas

El histograma de frecuencias altimétricas es una herramienta gráfica que refleja cómo se distribuye la superficie de la cuenca —en kilómetros cuadrados o en porcentaje— a lo largo de diferentes rangos de altitud. A partir de la división del terreno en intervalos altimétricos, se genera esta representación, que utiliza los mismos datos que la curva hipsométrica, pero ofrece una forma de visualización distinta (Ibáñez et al., 2011)

Figura 21

Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca de Ccoloyo



Según lo mostrado en la figura 21, se aprecia que la mayor proporción del área de la cuenca se concentra en los rangos altitudinales más bajos, específicamente entre los 4000 y 4080 m s.n.m., abarcando más del 59 % de la superficie total.

Altitud más frecuente

La altitud que más se observa es el valor con mayor representación en la curva de frecuencia de altitudes (Villón, 2002), es decir, la cota que se repite con mayor frecuencia dentro de la cuenca. Se obtiene a partir del histograma de frecuencia, considerando la cota media del

intervalo altitudinal con mayor ocurrencia (Ordoñez, 2011). Para la microcuenca de Ccoloyo, la altitud más frecuente corresponde a 4020 m s. n. m.

Declividad de los Terrenos

La velocidad de escurrimiento presente dentro del cauce principal y en toda la red de drenaje de la cuenca depende directamente de la declividad del terreno. A mayor declividad, mayor velocidad de flujo y mayor capacidad erosiva del sistema fluvial (Villalba & Huarcaya, 2016).

Desnivel Absoluto de la cuenca

El desnivel absoluto (Da) es la diferencia de la altitud máxima y mínima dentro de la cuenca, determinado por la ecuación:

$$Da = H_{max} - H_{min}$$

Aplicando los valores de la microcuenca de Ccoloyo:

$$Da = 4473 - 3989 = 484m$$

Por lo tanto, la microcuenca presenta un desnivel absoluto de 484 metros.

Línea de máxima pendiente (LMP)

Representa la dirección del mayor desnivel existente en la cuenca, es decir, la trayectoria en la que se produce la máxima diferencia altitudinal desde la divisoria hasta el cauce principal (Villón, 2002).

$$LMP = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_{cp}}$$

Donde:

$$H_{max} = 4473m$$

$$H_{min} = 3989m$$

$$L_{cp} = 10.88km$$

Para la microcuenca de Ccoloyo:

$$LMP = 0.484 \text{ km} / 10.88 \text{ km} = 0.04448$$

Este valor representa la inclinación promedio máxima entre la parte más alta y más baja de la cuenca, siguiendo la trayectoria del cauce principal. Un valor de 4.44 % indica que la cuenca tiene una pendiente moderada, lo que favorece un escurrimiento relativamente rápido hacia el cauce principal, aunque sin llegar a ser extremadamente abrupto. Esto significa que la energía del flujo es suficiente para generar procesos de erosión y transporte de sedimentos, pero con menor agresividad que en cuencas muy empinadas (>10 %).

Declividad equivalente constante (S)

Es el valor que expresa una pendiente única que representa el promedio ponderado de las diferentes pendientes de la cuenca. Se utiliza como simplificación para modelar el escurrimiento superficial (Villón, 2002; Ibáñez et al., 2011).

$$S = \frac{Da}{\sqrt{A}}$$

Donde:

$$Da = 484 \text{ m}$$

$$A = 14.14 \text{ km}^2$$

Este valor sintetiza todas las pendientes de la cuenca en un único parámetro promedio. El 12.8 % indica que la cuenca presenta un relieve relativamente inclinado, con predominio de pendientes intermedias a altas. Esto sugiere que el agua precipitada tenderá a escurrir de manera rápida, incrementando la energía erosiva de la escorrentía. Desde el punto de vista de la dinámica hidrológica, valores como este están asociados a cuencas con respuesta hidrológica rápida, es decir, mayor riesgo de crecidas súbitas.

Tiempo medio de traslado (Tm)

Es el tiempo promedio que tarda una partícula de agua precipitada en la cuenca en trasladarse desde el punto más alejado hasta la salida de la misma. Este parámetro depende de la pendiente, longitud y características de escurrimiento del cauce (Chow, Maidment & Mays, 1988).

Se aproxima al tiempo de concentración, utilizando la fórmula empírica de Kirpich (1940), adaptada en hidrología de cuencas:

$$Tm = 0.01947 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Este parámetro expresa el tiempo promedio que tarda el agua precipitada en la parte más lejana de la cuenca en llegar hasta la salida de la misma. Un Tm de 3.2 horas significa que la microcuenca de Ccoloyo responde de manera rápida a los eventos de lluvia, acumulando caudales en pocas horas. Hidrológicamente, este comportamiento está asociado a cuencas pequeñas y alargadas con pendientes marcadas, en las que los picos de caudal se presentan poco tiempo después de las precipitaciones, aumentando la susceptibilidad a inundaciones repentinas.

7.2 Información hidrometeorológica

En la zona de estudio no se identificaron estaciones meteorológicas activas, de acuerdo con la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Por esta razón, se recurrió al uso de estaciones ubicadas en las proximidades del área. Sin embargo, es importante señalar que algunas de estas estaciones cercanas ya no están operativas y carecen de registros completos. Ante esta limitación, se optó por utilizar estaciones meteorológicas alternativas que cuentan con series de datos hidrometeorológicos completas.

Tabla 34

Coordenadas de la estación meteorológicas

Nombre	Región	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altura
Kayra	Cusco	Cusco	San Jerónimo	13°33"25's	71°52"31'w	3219
Sicuani	Cusco	Canchis	Sicuani	14°14"14.5's	71°14"12.1'w	3568
Pomacanchi	Cusco	Acomayo	Pomacanchi	14°1"41's	71°34"22'w	3690
Yauri	Cusco	Yauri	Espinar	14°48"10.5's	75°25"50.7'w	3916
Caylloma	Arequipa	Caylloma	Caylloma	15°11"19.78's	71°46"12.69'w	4318

Fuente: Modificado de Chara Holguín y Soncco Mamani 2020.

Chara Holguín y Soncco Mamani (2020) obtuvieron datos mediante la regionalización de la precipitación a partir de las estaciones indicadas en la Tabla 34. No obstante, no todas las estaciones contaban con registros mensuales completos de precipitación, e incluso algunas presentaban información fragmentada por años, debido a que actualmente se encuentran fuera de funcionamiento. Por lo que completaron con la estación que tiene los datos mensuales completos siendo la estación Kayra que vendría a ser la estación índice, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

7.2.1 Precipitación

Se llevó a cabo la regionalización de la precipitación, mediante un análisis que relaciona los valores de precipitación con la altitud, lo cual permite estimar la precipitación en áreas o puntos específicos donde no se dispone de datos registrados.

Tabla 35

Coordenadas de la estación meteorológicas

Nombre	Altitud media msnm	Precipitación Media anual msnm
Kayra	3219	673.2
Sicuani	3574	726.9
Pomacanchi	3690	799.1

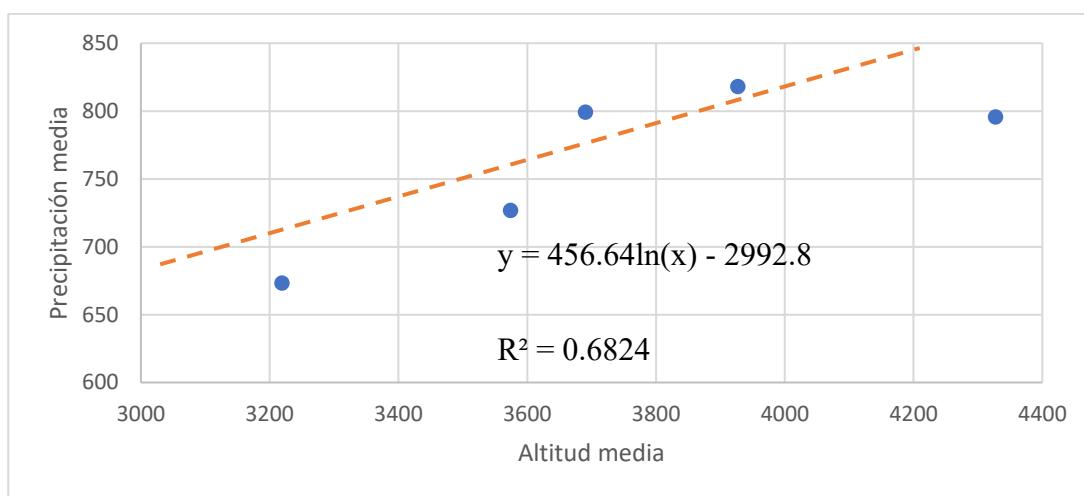
Yauri	3927	818.1
Caylloma	4327	795.7
Suma	18737	3813
Promedio	3747.4	762.6

Fuente: Chara Holguin y Soncco Mamani 2020.

Se obtuvo la relación logarítmica para la regionalización de la precipitación. Además, esta tiene una mejor correlación entre estaciones. Además, de un mejor ajuste estadístico.

Figura 22

Regresión logarítmica



Fuente: Modificado de Chara Holguin y Soncco Mamani 2020

Tabla 36

Precipitaciones regionalizadas

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	156.5	157.6	138.0	58.1	20.0	0.0	0.5	2.6	12.0	32.8	47.5	107.0	732.6
2	1965	102.0	156.4	137.3	55.7	4.1	0.4	3.2	1.6	34.3	45.0	50.1	193.3	783.4
3	1966	117.2	182.3	99.5	18.1	33.0	0.0	0.0	2.3	22.9	96.9	105.7	119.7	797.6
4	1967	103.6	154.5	210.6	46.3	14.4	0.7	18.8	18.8	41.3	63.9	46.9	124.6	844.4

“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO”

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
5	1968	240.0	160.3	166.4	36.2	11.7	5.8	22.6	14.8	22.6	88.8	124.8	96.6	990.5
6	1969	176.7	168.3	118.8	56.4	2.6	2.8	7.0	4.6	16.0	40.1	85.0	126.7	805.1
7	1970	223.9	191.0	143.4	64.1	6.9	0.3	3.4	3.9	50.9	40.9	44.3	182.0	954.9
8	1971	179.4	257.5	115.0	52.4	4.1	0.7	0.0	2.7	3.0	23.2	29.7	141.2	808.9
9	1972	230.4	148.5	159.3	57.8	5.3	0.0	10.4	17.7	28.8	46.1	57.8	137.5	899.7
10	1973	277.7	218.4	185.9	122.0	14.4	0.3	6.5	9.1	30.9	39.4	83.2	124.3	1112.1
11	1974	242.2	241.1	127.4	52.5	3.3	13.5	1.6	61.4	16.7	27.2	43.4	93.9	924.2
12	1975	193.3	206.4	146.4	71.6	34.0	3.5	0.0	3.1	27.7	47.9	48.9	167.4	950.3
13	1976	199.4	172.5	163.0	41.2	15.4	16.2	2.1	16.0	53.7	16.7	33.6	93.0	822.6
14	1977	95.3	243.6	126.4	28.6	8.6	0.0	4.5	0.5	29.4	55.8	104.7	99.7	797.1
15	1978	270.6	88.7	104.0	59.8	4.7	2.3	1.4	1.0	16.4	35.1	108.5	120.3	812.8
16	1979	183.9	126.2	158.6	46.4	6.8	3.2	1.0	13.0	22.6	50.1	56.1	129.3	797.1
17	1980	159.6	188.5	136.9	39.2	7.4	5.5	11.1	7.1	21.1	58.1	64.3	119.2	818.0
18	1981	207.6	146.9	189.1	42.9	14.4	4.3	0.4	12.8	23.9	71.7	75.1	126.0	915.2
19	1982	173.7	125.6	193.8	40.9	1.9	5.4	2.4	3.9	19.9	63.6	71.6	105.6	808.3
20	1983	204.4	146.3	152.7	30.8	5.0	5.6	0.8	2.9	23.2	30.0	45.5	140.1	787.4
21	1984	192.9	161.7	127.6	82.3	6.0	2.1	2.3	13.6	10.3	70.4	122.0	120.6	911.9
22	1985	150.9	182.2	128.2	63.0	28.3	12.7	1.2	15.3	33.8	73.5	192.4	123.7	1005.2
23	1986	188.0	146.4	155.5	88.8	9.0	2.5	1.7	10.0	19.6	50.6	85.7	143.8	901.6
24	1987	299.9	117.5	55.7	35.7	13.0	5.5	15.8	0.3	22.2	45.7	97.0	149.3	857.6
25	1988	268.5	183.1	145.6	92.2	5.6	1.0	2.0	0.1	11.1	17.2	32.4	107.2	866.1
26	1989	174.9	146.2	160.3	62.3	8.7	7.3	0.4	7.0	27.5	63.3	60.5	118.0	836.3
27	1990	138.4	170.9	143.5	61.5	20.1	21.8	0.2	7.3	13.6	67.7	75.2	133.3	853.5

“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA
COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO”

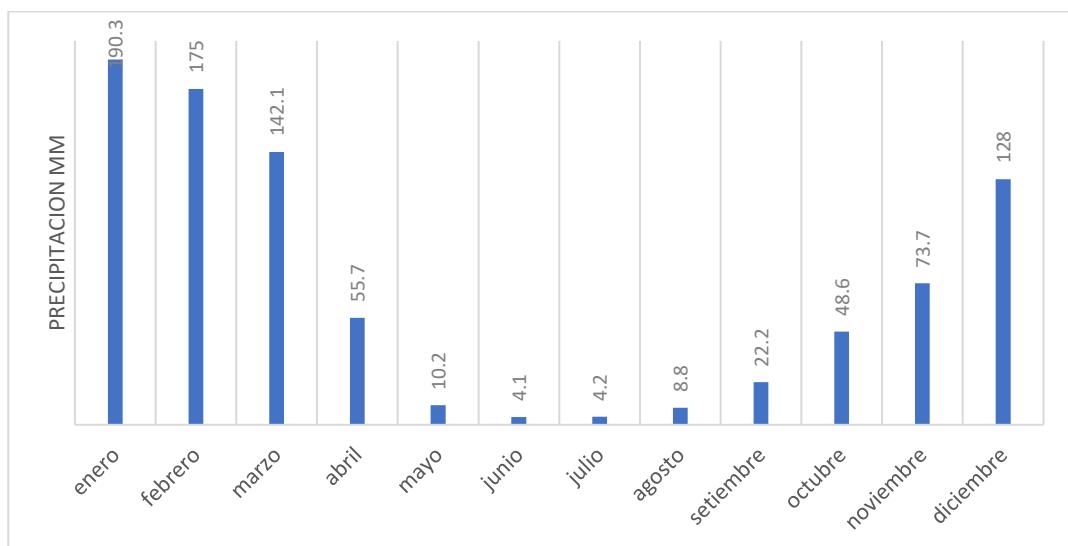
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
28	1991	190.0	189.6	154.8	55.6	12.3	19.1	1.1	6.4	36.1	36.5	54.9	127.5	884.0
29	1992	137.2	108.7	95.6	33.4	2.1	13.1	0.6	38.4	6.6	61.5	78.7	78.0	653.9
30	1993	246.8	117.8	140.9	87.0	4.7	2.3	2.4	14.5	15.0	82.5	146.8	160.6	1021.4
31	1994	235.7	212.5	151.7	62.9	11.2	0.6	0.2	0.5	19.0	30.4	64.7	125.9	915.3
32	1995	145.2	138.2	186.4	48.0	8.1	0.7	1.8	2.6	23.3	30.4	77.9	138.0	800.5
33	1996	196.9	190.4	89.7	64.4	13.3	2.5	0.0	18.3	19.8	48.7	54.8	130.6	829.3
34	1997	222.8	209.6	142.1	41.5	8.4	0.0	1.8	25.1	38.7	33.9	118.4	112.3	954.6
35	1998	191.9	149.7	101.9	18.4	0.2	1.3	0.0	4.6	1.3	49.4	63.3	97.2	679.2
36	1999	163.8	226.3	146.7	90.9	8.9	7.3	0.5	1.0	42.8	46.3	35.0	133.7	903.1
37	2000	197.5	211.4	159.5	28.2	13.2	6.8	2.5	11.8	13.1	81.7	34.6	138.7	898.9
38	2001	285.3	242.9	212.6	73.2	21.7	1.6	13.3	10.3	18.3	41.2	67.6	120.0	1107.8
39	2002	132.4	252.8	153.7	85.5	20.6	1.8	24.1	3.9	33.4	79.3	95.2	143.4	1026.2
40	2003	166.2	176.6	188.5	50.1	8.4	5.0	0.1	7.1	17.1	28.8	50.0	133.7	831.5
41	2004	219.0	188.2	90.5	49.6	5.5	6.7	15.1	15.0	32.1	27.2	52.7	103.4	805.1
42	2005	115.2	169.9	136.3	49.6	1.9	0.6	0.7	3.1	7.1	47.9	58.9	151.9	743.0
43	2006	242.2	181.8	190.6	73.2	1.9	4.9	0.8	7.5	16.4	58.0	90.4	120.1	987.9
44	2007	157.3	136.7	165.1	59.0	7.8	0.0	4.4	0.0	11.1	39.8	79.0	108.3	768.6
45	2008	186.9	136.0	97.4	11.5	6.4	2.7	0.1	1.3	5.3	59.0	47.3	146.1	700.3
46	2009	128.1	142.4	131.1	36.1	9.6	2.4	8.2	6.3	21.1	22.8	227.4	112.3	847.9
47	2010	252.8	158.8	143.9	65.5	9.0	0.2	1.6	4.9	10.3	41.4	55.4	157.6	901.4
48	2011	185.1	224.4	127.0	67.2	7.6	1.7	3.6	3.4	57.7	24.6	49.4	149.1	900.8
49	2012	192.6	243.6	116.3	70.0	7.4	2.3	1.1	0.8	14.0	40.0	86.2	138.9	913.3
50	2013	227.8	139.3	129.1	26.6	6.9	7.0	1.3	12.6	9.1	47.5	60.7	158.2	826.0

Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
51	2014	165.1	151.2	113.4	36.7	7.2	1.6	3.8	3.5	34.2	63.1	63.0	145.5	788.3
52	2015	182.6	167.1	133.9	81.0	14.2	3.5	7.6	8.2	12.3	25.8	46.8	138.1	821.2
53	2016	172.6	228.8	137.2	76.9	3.3	0.1	4.9	3.3	14.1	59.2	54.4	89.3	844.1
54	2017	184.3	167.1	146.0	57.2	21.4	1.3	2.1	8.0	14.7	58.0	72.1	110.2	842.5
Media		190.3	175.0	142.1	55.7	10.2	4.1	4.2	8.8	22.2	48.6	73.7	128.0	862.78

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020.

Figura 23

Comportamiento de la precipitación mensual



La precipitación anual estimada mediante regionalización, basada en los datos de las estaciones meteorológicas consideradas para el área de estudio, alcanza un valor de 862.882 mm/año. La figura precedente indica que el mayor registro de precipitación mensual ocurre en enero, con 190.3 mm, mientras que el menor se presenta en junio, con apenas 4.1 mm.

7.2.2 Temperatura

Para regionalizar la temperatura media mensual, se aplicó un modelo de regresión lineal que relaciona la temperatura con la altitud. Como resultado, se estimó una temperatura media mensual de 2.5 °C para la zona de estudio.

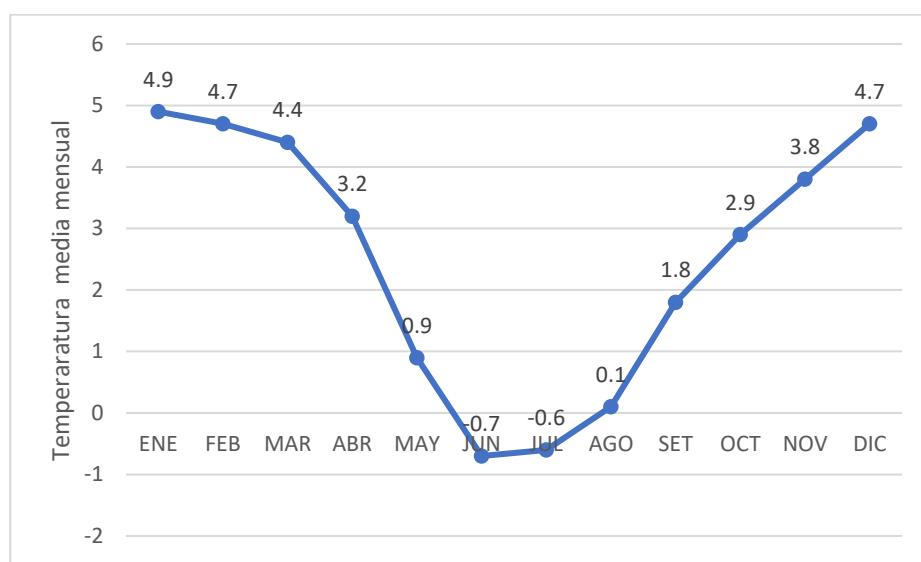
Tabla 37

Regionalización de la temperatura por regresión lineal simple

ESTACION	ALTITUD msnm	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
Kayra	3219	13.4	13.5	13.2	12.2	10.7	9.6	9.3	10.6	12.2	13.4	13.8	13.5
Sicuani	3574	12.3	12.2	11.8	10.7	8.6	7.5	7.2	8.6	10.6	11.8	12.2	12.3
Pomacanchi	3690	11	10.7	10.6	9.9	8	7.4	7.2	8.4	9.8	11.3	11.6	11.4
Yauri	3927	9	8.8	8.8	7.8	5.5	3.4	3.4	4.3	6.6	8	9	9
Caylloma	4327	6.9	6.9	6.4	5.1	3.2	2	1.9	2.8	4.1	5.2	5.9	6.7
Promedio	3747.4	10.5	10.4	10.2	9.1	7.2	6	5.8	6.9	8.7	9.9	10.5	10.6
Desv. Estándar	412.5	2.6	2.6	2.6	2.8	2.9	3.2	3.1	3.2	3.2	3.3	3.1	2.7
Coefic.	A	33.84	34.12	34	33.99	33.44	33.78	32.77	35.47	37.56	39.28	38.35	35.08
Coefic.	B	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Coefic.	R	-0.99	-0.98	-0.99	-0.99	-0.99	-0.96	-0.97	-0.97	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98
		4.9	4.7	4.4	3.2	0.9	-0.7	-0.6	0.1	1.8	2.9	3.8	4.7
													2.5

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

Figura 24
Comportamiento de la temperatura media mensual



Fuente: Modificado Chara Holguín y Soncco Mamani 2020.

Según los resultados Resumen de hidrogeología obtenidos de la regionalización de la temperatura, la temperatura media mensual más alta se registra en enero con 4.9 °C, mientras que la más baja ocurre en junio, alcanzando -0.7 °C.

Tabla 38

Regionalización de la temperatura máxima media mensual regionalizada

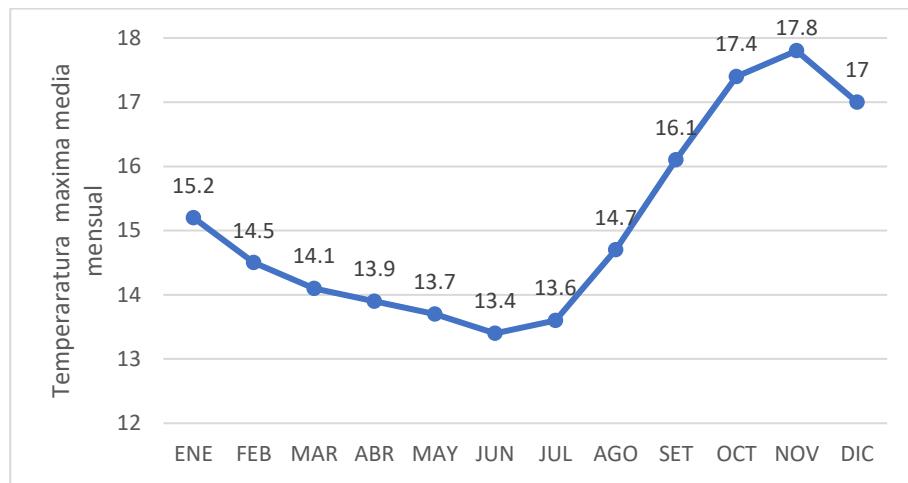
ESTACION	msnm.	ALTITUD												
		TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
KAYRA	3219	19.8	19.8	20	20.5	20.8	20.5	20.3	21	21.2	21.5	21.5	20.5	20.6
SICUANI	3574	22.3	22.2	22	21.9	21.5	21.3	21.3	22.3	23.4	23.9	23.6	23	22.4
POMACANHI	3690	19.5	19.3	19.2	19.1	19	19.1	19.1	20.4	20.8	21.7	21.5	20.9	20
YAURI	3927	16.5	15.9	16.2	16.3	16.3	16	15.8	16.4	17.5	18	18.5	17.4	16.7
CAYLLOMA	4327	16.6	16.1	15.8	15.8	15.7	15.3	15.5	16.7	17.7	18.9	19.1	18.3	16.8
Promedio	3747.4	18.9	18.7	18.6	18.7	18.7	18.5	18.4	19.4	20.1	20.8	20.8	20	19.3
Desv. Est.	412.5	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.6	2.6	2.5	2.3	2.1	2.2	2.5
Coeficiente.	<i>a</i>	34.734	36.2855	37.4719	38.666	39.3946	39.6885	38.6487	38.5937	36.891	34.8248	33.6282	32.5528	36.788
Coeficiente	<i>b</i>	-0.0042	-0.0047	-0.005	0.0053	-0.0055	-0.0057	-0.0054	-0.0051	0.0045	-0.0037	-0.0034	-0.0033	-0.0047
Coeficiente	<i>r</i>	-0.712	-0.734	-0.787	-0.833	-0.878	-0.877	-0.852	-0.801	-0.737	-0.66	-0.676	-0.623	-0.777
		15.2	14.5	14.1	13.9	13.7	13.4	13.6	14.7	16.1	17.4	17.8	17	15.1

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

La temperatura máxima media o promedio anual regionalizada para el área de estudio es de 15.1°C.

Figura 25

Comportamiento de la temperatura máxima media mensual



Fuente: Modificado de Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

De acuerdo con la figura 25 sobre la temperatura máxima media mensual, el valor más alto se registra en noviembre con 17.8 °C, mientras que el más bajo se presenta en junio con 13.4 °C.

Tabla 39

Regionalización de la temperatura mínima media mensual

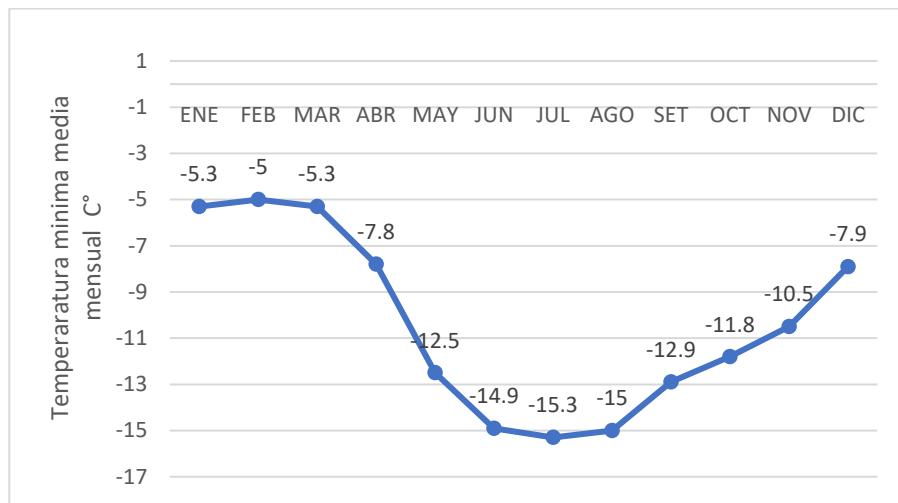
ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL													MEDIA
		msnm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
			C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	
Kayra	3219	7.3	7.3	6.6	4.3	1	-0.9	-1.5	0.5	3.5	5.4	6.1	6.7	3.9	
Sicuani	3574	2.3	2.2	1.5	-0.6	-4.4	-6.3	-6.8	-5.1	-2.3	-0.2	0.8	1.7	-1.4	
Pomacanchi	3690	2.5	2.4	2.1	0.5	-2.9	-4.3	-4.6	-3.7	-1.1	0.9	1.7	2.1	-0.4	
Yauri	3927	1.7	1.7	1.5	-0.9	-6	-9.8	-9.8	-8.3	-4.8	-2.4	-1	0.5	-3.1	
Caylloma	4327	-2.7	-2.4	-3	-5.6	-9.5	-11.1	-11.8	-11.2	-9.4	-8.5	-7.4	-5.2	-7.3	
Promedio	3747.4	2.2	2.2	1.7	-0.5	-4.4	-6.5	-6.9	-5.6	-2.8	-1	0	1.2	-1.7	
Desv. Estándar	412.5	3.6	3.4	3.4	3.5	3.9	4.1	4.1	4.5	4.7	5.1	4.9	4.3	4.1	
Coefic.	A	33.45	32.361	31.311	30.331	29.651	28.629	28.047	33.886	39.39	44.156	43.841	38.894	34.496	
Coefic.	B	-0.0083	-0.008	-0.0079	-0.0082	-0.0091	-0.0094	-0.0093	-0.0105	0.0113	-0.012	-0.0117	-0.0101	-0.0097	
Coefic.	R	-0.966	-0.961	-0.953	-0.959	-0.969	-0.937	-0.944	-0.972	0.981	-0.981	-0.979	-0.977	-0.978	
		-5.3	-5	-5.3	-7.8	-12.5	-14.9	-15.3	-15	-12.9	-11.8	-10.5	-7.9	-10.3	

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

La temperatura mínima media anual regionalizada para la zona de estudio es de -10.3 °C.

Figura 26

Comportamiento de la temperatura mínima media mensual

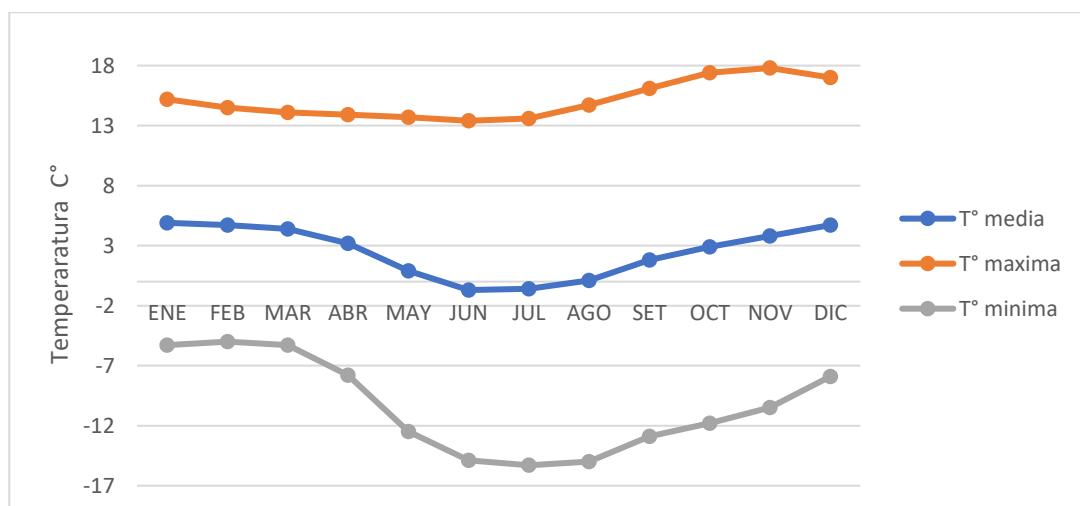


Fuente: Modificado de Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

Según la figura 26 sobre la temperatura mínima media mensual, el valor más alto se registra en febrero con -5.0°C , mientras que el valor más bajo se presenta en junio con -15.3°C .

Figura 27

Comportamiento de las temperaturas media, máxima y mínima media mensual



Fuente: Modificado de Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

La figura 27 presenta temperatura media, así como los valores máximos y mínimos registrados en el área de estudio, evidenciando además la correlación existente entre estas 2.

7.2.3 *Humedad relativa*

Para llevar a cabo la regionalización de la humedad relativa media mensual, se aplicó un modelo de regresión lineal que relaciona la humedad relativa con la altitud, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 40

Regionalización de la humedad relativa media mensual

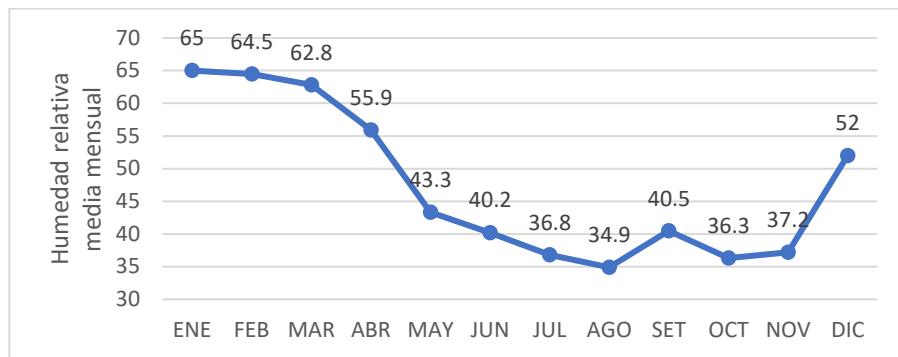
msnm.	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY JUN		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
3219	74	74.8	75.3	73.3	69.6	65	65.1	64.3	64.9	63.4	66.6	70.4	68.9
3574	66	55.7	62.2	56.7	54.8	53.7	53.7	53.2	53.6	51.6	57.4	60	56.6
3927	75.6	77.8	77.2	75	70	67.2	64.6	63.1	62.5	64.1	63.3	70.4	69.2
4327	64.1	63.1	61.8	55	42.9	38.9	36.7	35.1	41.3	35.7	38.4	51.8	47.1
3761.8	69.9	67.9	69.1	65	59.3	56.2	55	53.9	55.6	53.7	56.4	63.2	60.4
474.9	5.7	10.3	8.2	10.6	13.1	13	13.3	13.5	10.7	13.3	12.6	9	10.7
A	91.1066	82.0985	95.9625	103.5946	127.4847	124.462	132.6917	134.8882	119.9372	127.7661	138.416	110.6078	115.7513
B	-0.0056	-0.0038	-0.0071	-0.0103	-0.0181	-0.0182	-0.0206	-0.0215	-0.0171	-0.0197	-0.0218	-0.0126	-0.0147
R	-0.467	-0.174	-0.412	-0.46	-0.659	-0.665	-0.739	-0.759	-0.762	-0.704	-0.822	-0.665	-0.654
	65	64.5	62.8	55.9	43.3	40.2	36.8	34.9	40.5	36.3	37.2	52	47.5

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

La humedad relativa media anual regionalizada para el área de estudio es de 47,5 %. Según la figura siguiente, el mayor valor de humedad relativa media mensual se registra en enero con un 65 %, mientras que el valor más bajo se presenta en agosto con 34,9 %.

Figura 28

Comportamiento de la humedad relativa media mensual



Fuente: Modificado de Chara Holguin y Soncco Mamani 2020

7.2.4 Evaporación

La estimación de la evaporación media mensual se obtuvo mediante un modelo de regresión lineal que relaciona la evaporación con la altitud, como se detalla en la tabla 41.

Tabla 41

Regionalización de la evaporación media mensual

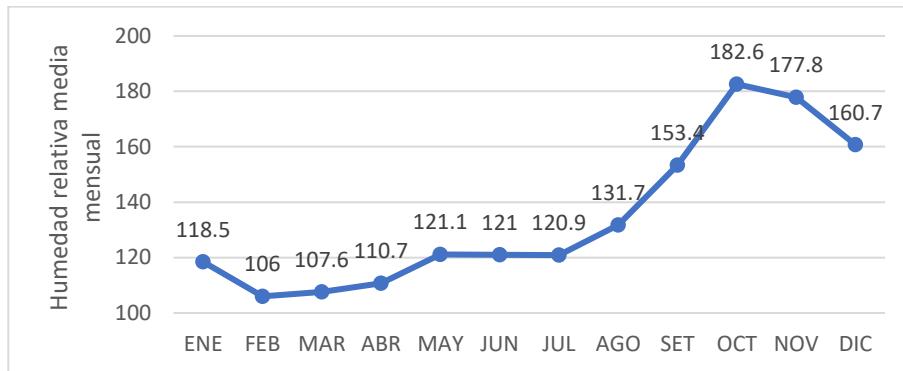
Estacion	ALTITU D msnm	EVAPORACION MEDIA MENSUAL												MEDI A C°
		ENE	FEB	MAR	ABR	MA Y C°	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	
KAYRA	3219	87.6	66.9	81.3	87.1	75.5	86.4	76.8	109.4	110.9	109.5	107.9	84.2	90.3
SICUANI	3574	81.5	70.7	79.1	95	111.9	120.2	137.3	127.9	127	127.4	110.6	99.3	107.3
POMACANCH I	3690	70	70.8	82	84.1	100.1	123.8	122	138.1	110	129.2	105.1	93.1	102.4
CAYLLOMA	4327	117.9	99.4	103.8	107.5	107.8	106.8	102.4	121.8	146.6	167.3	168.2	147.2	124.7
Promedio	3702.5	89.2	77	86.6	93.4	98.8	109.3	109.6	124.3	123.6	133.3	123	105.9	106.2
Desv. Estándar	462	20.5	15.1	11.6	10.4	16.3	16.9	26.1	12	17.2	24.3	30.2	28.2	14.3
Coefic.	A	-	37.230 7	3.691 8	25.525 2	11.153 5	63.297 6	65.553 3	95.104 3	6.500 1	60.591 3	92.848 4	109.488 4	4.6085
Coefic.	B	0.031 1	0.0308 4	0.022 4	0.0183 0.0237	0.0124 0.0119	0.0119 0.0079	0.0079 0.031 6	0.031 6	0.0524 0.058 3	0.058 3	0.0582 0.0582	0.0299	
Coefic.	R	0.703	0.945	0.893	0.811	0.672	0.339	0.21	0.303	0.85	0.995	0.89	0.955	0.968
		118.5	106	107.6	110.7	121.1	121	120.9	131.7	153.4	182.6	177.8	160.7	134.3

Fuente: Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

Para determinar la evaporación del área de estudio da como resultado una media de 134.3 mm/mes, que viene a representar la evaporación anual

Figura 29

Comportamiento de la evaporación media mensual



Fuente: Modificado de Chara Holguín y Soncco Mamani 2020

La figura 29 indica que el valor más alto de evaporación media mensual se registra en octubre, con 182 mm/mes, mientras que el valor más bajo ocurre en febrero, con 106 mm/mes.

Capítulo VIII: Geofísica

8.1 Generalidades

La prospección geofísica es un conjunto de estudios, trabajos y operaciones, que se realizan en el campo, utilizando técnicas directas e indirectas, teniendo como resultado la localización de acuíferos presentes dentro de una determinada zona de estudio, que posteriormente serán utilizados para captar aguas subterráneas, para consumo humano o para riego y otros.

8.2 Descripción del método geofísico

La Tomografía Eléctrica (TME) es una técnica geoeléctrica que facilita el análisis de la resistividad eléctrica de los componentes subterráneos mediante el suministro controlado de corriente continua a través de un conjunto de electrodos situados en la superficie (o entre sondeos).

El procedimiento genera representaciones (2D o 3D) que muestran cómo varía la resistividad eléctrica en el suelo, facilitando la obtención de datos sobre la litología y el nivel de humedad del terreno. Así, la tomografía eléctrica se considera una herramienta eficaz para abordar cuestiones de ingeniería, ambientales y relacionadas con la minería.

La técnica de tomografía eléctrica consiste en aplicar una corriente continua controlada al suelo y registrar la variación de potencial que surge en una serie de electrodos situados en la tierra o en un sondeo. La resistividad aparente, que se entiende como el promedio de resistividad de un medio uniforme con la misma resistencia al flujo de corriente, se determina a partir de la cantidad de corriente inyectada, la diferencia de voltaje generada y un coeficiente geométrico del aparato de medición. Al reunir automáticamente un gran volumen de datos (miles de mediciones), es factible conseguir una distribución densa de lecturas que posibiliten, a través de un proceso de inversión, crear modelos de resistividades en 2D o incluso en 3D del substitujo.

8.2.1 *Equipos*

En el trabajo de tesis se utilizó el equipo de marca GEOGIGA ELECTRIC, equipo de la corporación GEOGIGA con más de 15 años comercializando equipos de tecnología en Geoeléctrico.

Dentro de los equipos de instalación se tiene lo siguiente:

- **Electrodos:** Consta de 60 unidades de electrodos, con aleación de hierro y cobre, la finalidad de los electrodos es de transmitir un voltaje hacia la profundidad de la corteza terrestre donde se instala el equipo.
- **Batería;** Batería consta de variedad de voltajes como de 24v, 48 v y de 90 v.
- **Cables de conexiones;** Cables de cobre para extender hasta los 240 metros de distancia.
- **Aditivos para el correcto uso del equipo:** Agua con sal para la mayor conductividad en los electrodos, recomendados en terrenos áridos y secos para que pueda ayudar a la conductividad.
- **Otros instrumentos adicionales:** Comba, alicates, voltímetros, botellas con agua y sal, guantes para seguridad, casco y lentes.

8.2.2 *Software*

Para llevar a cabo el análisis de los datos, se empleó el programa Res2DInv, el cual transforma y procesa sin dificultad los datos de resistividad (Electrical Resistivity Tomography, ERT) y polarización inducida (Induced Polarization, IP) con solo unos pocos clics. Esto nos facilita el procesamiento y la interpretación de la información geofísica de forma rápida y eficaz.

8.3 Trabajo de campo

Se realizaron un total de 08 líneas de tomografías eléctricas (ver tabla 42), que se codificaron con las iniciales LT-HU para cada una de las líneas, donde se obtuvieron perfiles

geoeléctricos que permitieron identificar la secuencia estratigráfica, el grosor del subsuelo y, principalmente, establecer los límites con características hidráulicas del subsuelo.

Cabe mencionar que para la zona de estudio se utilizó el método Wenner. Además, las distancias entre electrodos de corriente y potencial se definieron en función a la profundidad de exploración requerida y al área libre disponible. En la tabla 42 se especifican las coordenadas de los ensayos de los perfiles de tomografía eléctrica de inicio y fin. (ver ubicación de perfiles en mapa geológico local – figura 12)

Tabla 42

Coordenadas de las líneas de tomografías eléctricas de inicio y fin

Línea Tom.	Longitud (m)	Coordenadas UTM			
		Este (inicio)	Norte (inicio)	Este (final)	Norte (inicio)
LT-HU-01	830	244262	8350548	243723	8349923
LT-HU-02	1190	244159	8350664	243655	8350015
LT-HU-03	1190	244316	8350484	243807	8349831
LT-HU-04	1190	244274	8349851	243558	8350459
LT-HU-05	1440	244456	8350494	243930	8349665
LT-HU-06	1260	244060	8350817	243410	8349941
LT-HU-07	1260	243831	8351052	243250	8350165
LT-HU-08	1440	243611	8351198	242957	8350325

Fuente: Propia

8.4 Descripción de las secciones geofísicas

Las líneas geofísicas se encuentran ubicados a lo largo de la microcuenca en el cual presentan topografías casi llanas, atraviesa de Noreste a Suroeste a diferencia de la línea LT-HU-04 que atraviesa de forma perpendicular de SE a NW a las líneas paralelas antes mencionadas. Están ubicadas en la parte central del área de estudio.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-01

La línea LT-HU-01, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 830 m, como se muestra en la tabla 42 y la figura 30.

En los primeros 5 a 10 metros de profundidad, las resistividades varían entre 30 y 100 Ohm.m, indicando la presencia de depósitos superficiales cuaternarios y niveles de material removido antrópicamente debido a la actividad minera de Tintaya, incluyendo depósitos de relaves.

A partir de los 10 metros, las resistividades disminuyen a un rango de 7 a 30 Ohm.m, sugiriendo la presencia de zonas saturadas y húmedas dentro de los depósitos cuaternarios, que posiblemente forman parte de acuíferos libres. El nivel freático se encuentra entre 5 y 10 metros a lo largo de toda la sección.

Desde los 40 metros a profundidad, en la progresiva 0 a 500 metros, se registran resistividades entre 30 y 100 Ohm.m, asociado a rocas fracturadas o altamente alteradas.

A una profundidad aproximada de 100 metros, las resistividades aumentan a un rango de 100 a 500 Ohm.m, indicando la presencia de un basamento de rocas fracturadas en el extremo inferior izquierdo de la sección, mientras que, hacia el extremo derecho, los valores más altos podrían estar relacionados con la presencia de rocas calizas.

Finalmente, en el centro de la sección, se observan resistividades menores de 7 a 30 Ohm.m a una profundidad de 120 metros, lo que sugiere la presencia de un acuífero confinado.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 7-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre los 5-10m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m, corresponden a las calizas de la

formación Arcurquina; mientras que las resistividades más altas entre 100 a 500 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-02

La línea LT-HU-02, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 830 m, como se muestra en la tabla 42 y la figura 31.

En los primeros 5 a 15 metros de profundidad, las resistividades varían entre 30 y 100 Ohm.m, indicando la presencia de depósitos superficiales cuaternarios y materiales removidos antrópicamente por la actividad minera de Tintaya, incluyendo relaves y pozas.

A partir de los 10 metros, las resistividades disminuyen a un rango de 5 a 30 Ohm.m, evidenciando zonas saturadas y húmedas dentro de los depósitos cuaternarios. Estos niveles podrían formar parte de acuíferos libres, con un nivel freático entre 5 y 10 metros en toda la sección.

Desde los 20 metros de profundidad, entre las progresivas 0 y 346 metros, se observan resistividades de 30 a 100 Ohm.m, lo que sugiere la presencia de rocas fracturadas o altamente alteradas.

A unos 60 metros de profundidad, las resistividades aumentan a un rango de 100 a 230 Ohm.m, indicando la existencia de un basamento de rocas fracturadas en el extremo inferior izquierdo de la sección. Hacia el extremo derecho, los valores más altos podrían estar relacionados con rocas calizas. Entre las progresivas 400 y 550 metros, se identifican zonas de resistividades bajas, que se proyectan a mayor profundidad, posiblemente asociadas a fracturamiento intenso o zonas de falla.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 7-30 Ohm.m, el nivel freático se

ubica entre los 5-10m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m, corresponden al grupo Maure; mientras que las resistividades más altas entre 100 a 230 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-03

La línea LT-HU-03, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 830 m, como se muestra en la tabla 42 y la figura 32.

En los primeros 5 a 10 metros de profundidad, las resistividades varían entre 150 y 200 Ohm.m, lo que indica la presencia de depósitos superficiales cuaternarios y materiales removidos antrópicamente debido a la actividad minera de Tintaya, incluyendo el cuerpo del dique de relaves mineros.

A partir de los 10 metros, las resistividades disminuyen a un rango de 6 a 30 Ohm.m, evidenciando la presencia de zonas saturadas y húmedas dentro de los depósitos cuaternarios. Estos niveles podrían formar parte de acuíferos libres, con un nivel freático entre 5 y 10 metros a lo largo de toda la sección.

Desde los 20 metros a profundidad, se observan resistividades de 30 a 150 Ohm.m, lo que sugiere la presencia de rocas fracturadas o altamente alteradas. Además, entre las progresivas 540 y 640 metros, se identifican resistividades bajas proyectadas a mayor profundidad, posiblemente asociadas a zonas de fracturamiento intenso o fallas geológicas.

A una profundidad aproximada de 40 metros, las resistividades aumentan a un rango de 150 a 380 Ohm.m, lo que indica la presencia de un basamento de rocas fracturadas en el extremo inferior izquierdo de la sección. Hacia el extremo derecho, los valores más altos podrían estar relacionados con rocas calizas meteorizadas.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 6-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre los 5-10m. Las resistividades entre 30-150 Ohm.m, corresponden al grupo Maure y a las calizas de la formación Arcurquina; mientras que las resistividades más altas entre 150-380 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-04

Ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, esta línea tiene una longitud de 950 m, como se muestra en la tabla 42 y la figura 33.

En los primeros 5 a 10 metros de profundidad, las resistividades varían entre 30 y 50 Ohm.m, indicando la presencia de depósitos superficiales cuaternarios. Entre las progresivas 150 y 350 metros, los valores de resistividad aumentan ligeramente a un rango de 30 a 150 Ohm.m, lo que sugiere depósitos removidos antrópicamente debido a la actividad minera de Tintaya. Estos materiales, que forman parte de la presa de relaves, se extienden hasta aproximadamente 20 metros de profundidad.

A partir de los 10 metros, las resistividades disminuyen a un rango de 2 a 30 Ohm.m, evidenciando zonas saturadas y húmedas dentro de los depósitos cuaternarios. Estos niveles podrían formar parte de acuíferos libres, con un nivel freático entre 5 y 10 metros a lo largo de toda la sección.

Desde los 40 metros a profundidad, entre las progresivas 500 y 950 metros, se observan resistividades de 30 a 50 Ohm.m, posiblemente asociadas a rocas fracturadas o altamente alteradas. Entre las progresivas 540 y 640 metros, las resistividades bajas proyectadas a mayor profundidad podrían indicar una zona de mayor fracturamiento o fallas geológicas.

En la progresiva 0 a 500 metros, a partir de los 40 metros de profundidad, las resistividades aumentan a un rango de 100 a 220 Ohm.m, lo que sugiere la presencia de un basamento de rocas

fracturadas. En la parte central e inferior de la sección, se observa una continuidad de resistividades bajas, posiblemente asociada a fracturamiento intenso o una zona de falla.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 2-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre los 5-10m. Las resistividades entre 30-50 Ohm.m, corresponden al grupo Maure; mientras que las resistividades más altas entre 100-220 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-05

Ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 990 m, tal como se muestrea en la tabla 42 y figura 34.

Superficialmente hasta los 5 a 10 metros de profundidad presentan resistividades de 30 a 150 Ohm.m presentan depósitos superficiales cuaternarios y niveles de depósitos removidos entrópicamente como parte de procesos de la actividad minera de Tintaya (Cuerpo del dique de relaves mineros) a lo largo de toda la sección con un espesor de 20 metros aproximadamente.

A partir de los 20 metros aproximadamente hasta los 80 metros las resistividades disminuyen en un rango de 3-30 Ohm.m teniendo zonas saturadas y húmedas de los depósitos cuaternarios, estos niveles posiblemente forman parte de los acuíferos libres siendo su nivel freático a los 20 metros a lo largo de toda la sección por encontrarse encima del dique de relaves en esta línea. Estas resistividades bajas estarían asociado también a la influencia de metales mediante la infiltración hacia el subsuelo de la presa de relaves.

A partir de los 80 y 100 metros de profundidad en esta sección se observan resistividades de 30 – 150 Ohm.m que posiblemente estaría asociado a rocas fracturadas o muy alteradas como zona de transición hacia las rocas fracturadas, asimismo en las progresivas 600 a 700 metros se

proyectan resistividades bajas a profundidad asociado a una zona de mayor grado de fracturamiento o zonas de falla.

A la profundidad de los 120 metros aproximadamente se encuentra resistividades de 150-680 Ohm.m correspondiente a un basamento de rocas fracturadas abarcando la parte central inferior de la sección, asimismo hacia el extremo derecho a estas profundidades las resistividades aumentan asociando posiblemente a rocas calizas meteorizadas.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 3-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre los 5-10m. Las resistividades entre 30-150 Ohm.m, corresponden al grupo Maure en la parte central y en el extremo derecho a las calizas de la formación Arcurquina; mientras que las resistividades más altas entre 150-680 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-06

La línea LT-HU-06, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene un tendido de 1,080 metros, como se muestra en la tabla 42 y la figura 35.

En los primeros 5 a 10 metros de profundidad, las resistividades varían entre 30 y 100 Ohm.m, señalando la presencia de depósitos superficiales cuaternarios con un espesor aproximado de 20 metros en toda la sección. La existencia de bofedales genera niveles de resistividades bajas debido a la presencia de zonas saturadas. Sin embargo, al inicio de la sección, las resistividades aumentan con valores de 100 a 318 Ohm.m, proyectándose a mayor profundidad, lo que sugiere la presencia de afloramientos de rocas fracturadas.

Entre los 20 y 80 metros a profundidad, las resistividades disminuyen a un rango de 5 a 30 Ohm.m, indicando zonas saturadas y húmedas dentro de los depósitos cuaternarios. Estos niveles

posiblemente corresponden a acuíferos libres, con un nivel freático a los 10 metros y, en algunas zonas, muy cercano a la superficie.

Desde los 80 metros de profundidad, las resistividades aumentan a un rango de 30 a 100 Ohm.m, lo que sugiere una zona de transición hacia rocas fracturadas o altamente alteradas. Entre las progresivas 600 y 700 metros, se proyectan resistividades bajas a mayor profundidad, posiblemente asociadas a una zona de oquedades.

A una profundidad de 100 metros, las resistividades alcanzan valores de 150 a 318 Ohm.m, lo que indica la presencia de un basamento de rocas fracturadas en la parte inferior izquierda de la sección. En el extremo derecho, a profundidades de 150 metros, las resistividades disminuyen, lo que podría estar asociado al límite superior de un acuífero confinado.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 5-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre 1- 10m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m, corresponden al grupo Maure; mientras que las resistividades más altas entre 100-318 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe. Entre la progresiva 600-700 m se identifica un karst correspondiente a calizas de la formación Arcurquina.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-07

La línea LT-HU-07, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 1080 m. (ver figura 36)

Superficialmente a lo largo de la sección los niveles de resistividades bajas se manifiestan debido a que superficialmente existen zonas de bofedales y ríos teniendo existencia de zonas saturadas, en el inicio de la sección las resistividades aumentan y se proyectan a profundidad con valores de 100 – 240 ohm.m que estaría asociado a afloramiento de rocas fracturadas.

A lo largo de la sección se encuentran valores entre 6 a 30 ohm.m y 30 a 100 ohm.m que está compuesto de depósitos cuaternarios y rocas muy fracturadas como parte de un acuífero libre.

Hacia la zona inferior izquierda se encuentran resistividades altas con continuidad a profundidad que esté asociado a presencia de rocas fracturadas.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 6-30 Ohm.m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m, corresponden al grupo Maure que se encuentra altamente fracturado; mientras que las resistividades más altas entre 100-240 Ohm. indican la presencia del intrusivo Choquechambe.

Línea de tomografía eléctrica LT-HU-08

La línea LT-HU-08, ubicada en la parte central de la microcuenca Ccoloyo, tiene una longitud de 1080 m (ver figura 37)

Superficialmente hasta los 5 a 10 metros de profundidad presentan resistividades entre 30 a 100 Ohm.m presentan depósitos superficiales cuaternarios a lo largo de toda la sección. Superficialmente los niveles de resistividades bajas se manifiestan debido a que existen zonas de bofedales y zonas de cauce fluvial teniendo existencia de zonas saturadas, en el inicio de la sección a partir de los 15 metros de profundidad las resistividades aumentan y se proyectan a profundidad con valor de 100 – 173 ohm.m que estaría asociado a afloramiento de rocas fracturadas.

A partir de los 10 metros aproximadamente hasta los 80 metros las resistividades disminuyen en un rango de 6-30 Ohm.m teniendo zonas saturadas y húmedas de los depósitos cuaternarios, estos niveles posiblemente forman parte de los acuíferos libres siendo su nivel freático a los 10 metros y en algunas zonas superficialmente.

A partir de los 80 metros de profundidad en esta sección se observan resistividades de 30 – 100 Ohm.m que posiblemente estaría asociado a rocas fracturadas o muy alteradas como zona de transición hacia las rocas fracturadas de basamento.

En las progresivas de 0 a 450 metros a partir de los 80 metros existen resistividades relativamente altas que está asociado a rocas fracturadas.

A la profundidad de 220 metros las resistividades disminuyen siendo un posible límite superior de un acuífero confinado.

De acuerdo a lo descrito, esta sección evidencia depósitos superficiales cuaternarios hasta 100 m de profundidad caracterizado por su resistividad baja de 6-30 Ohm.m, el nivel freático se ubica entre los 1-10m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m, corresponden al contacto entre las calizas de la formación Arcurquina y el intrusivo Choquechambe.

Figura 30
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-01



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-01

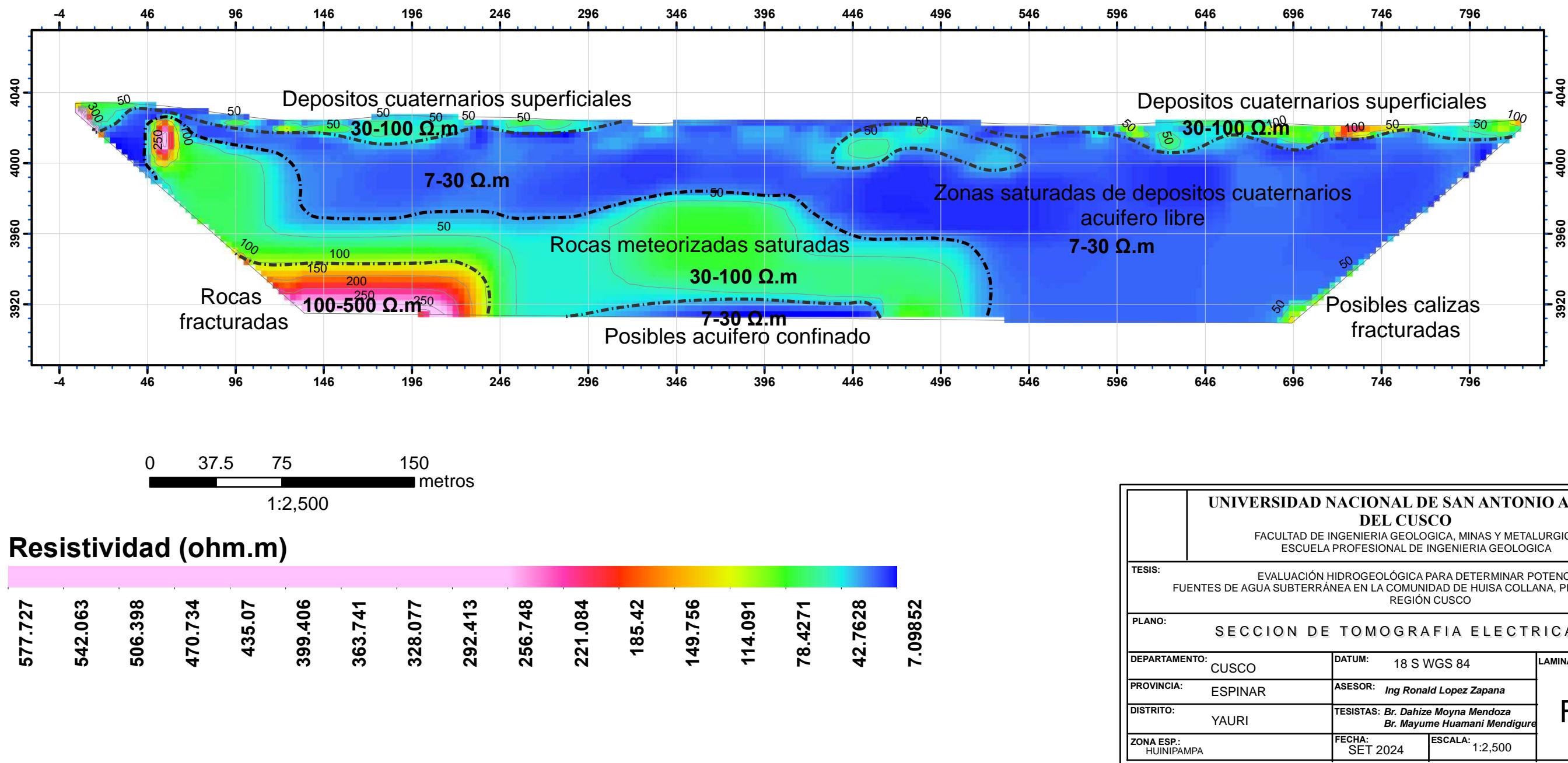


Figura 31
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-02



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-02

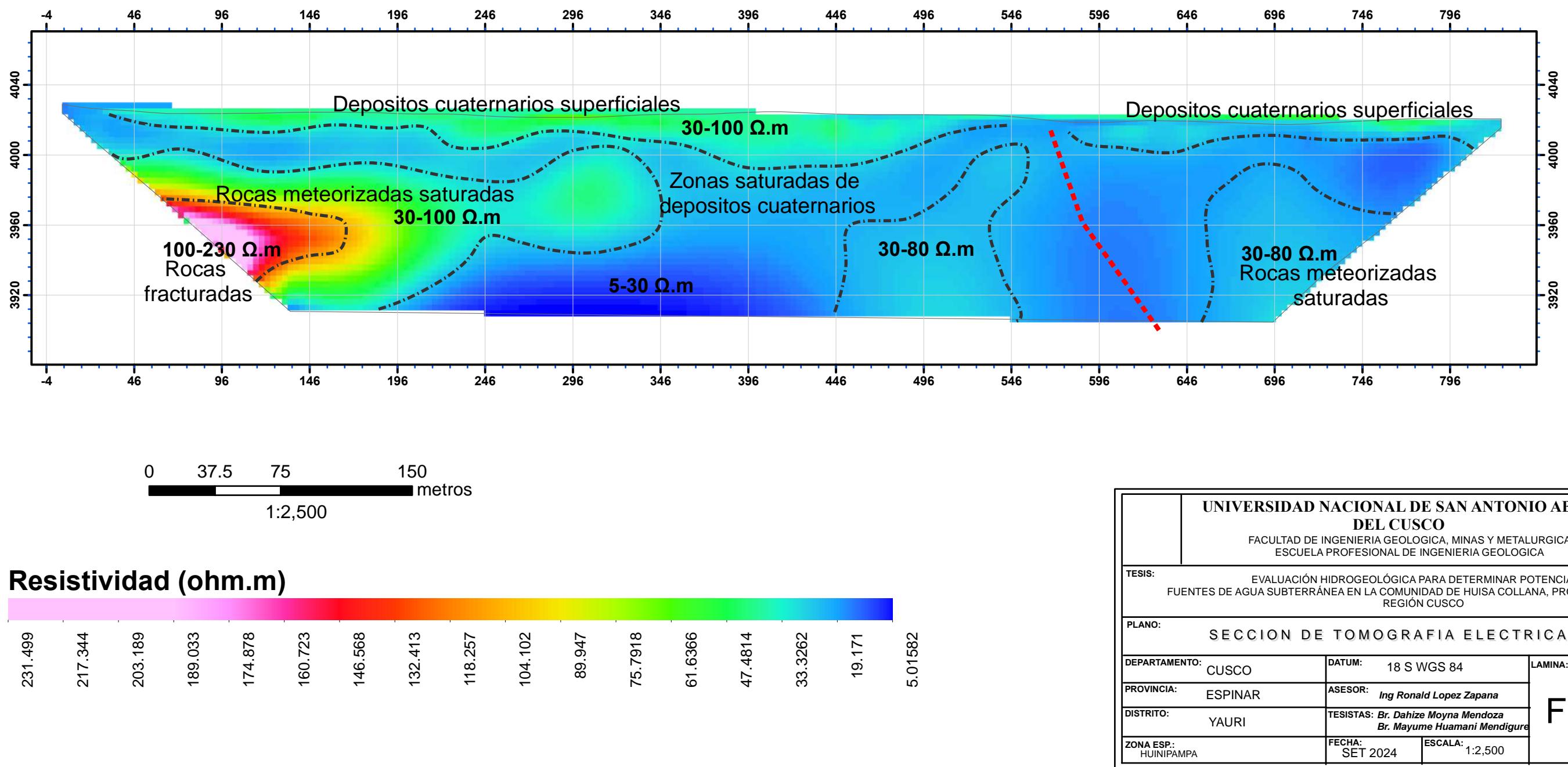
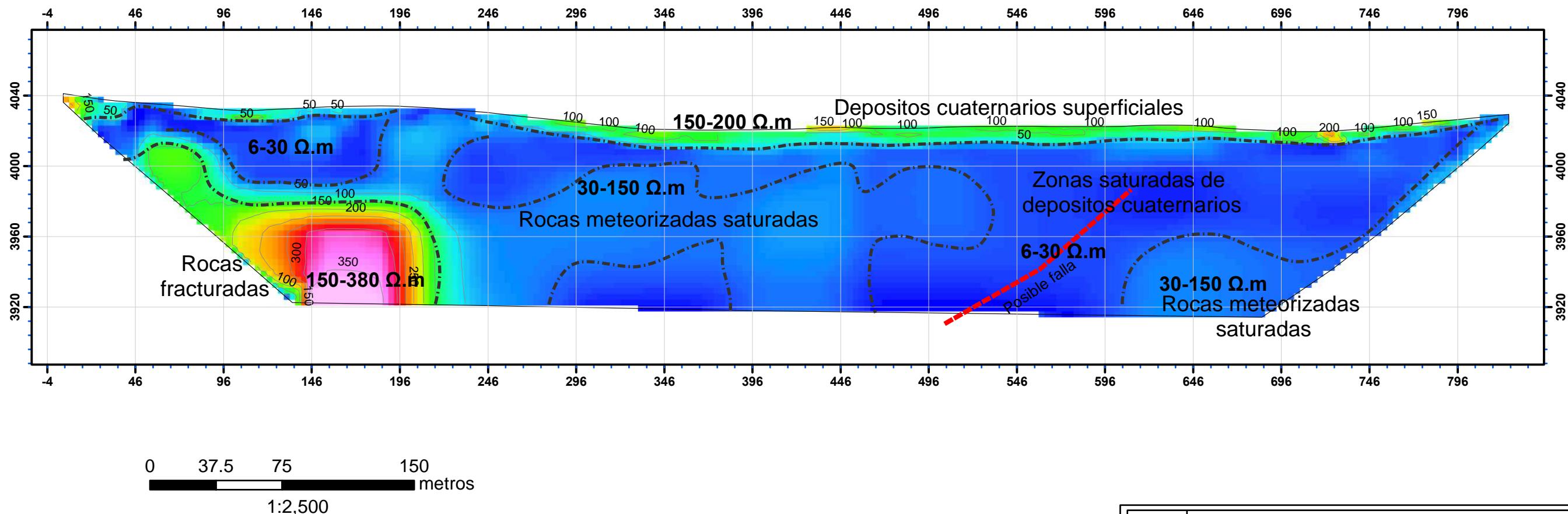


Figura 32
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-03



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-03



Resistividad (ohm.m)

387.794 363.985 340.176 316.366 292.557 268.748 244.939 221.129 197.32 173.511 149.702 125.892 102.083 78.2739 54.4647 30.6555 6.84623

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
TESIS:	EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUIDSA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO	
PLANO:	SECCION DE TOMOGRAFIA ELECTRICA LT-HU-03	
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM: 18 S WGS 84
PROVINCIA:	ESPINAR	ASESOR: Ing Ronald Lopez Zapana
DISTRITO:	YAURI	TESISTAS: Br. Dahize Moyna Mendoza Br. Mayume Huamani Mendigure
ZONA ESP.:	HUINIPAMPA	FECHA: SET 2024
	ESCALA: 1:2,500	

Figura 32

Figura 33
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-04



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-04

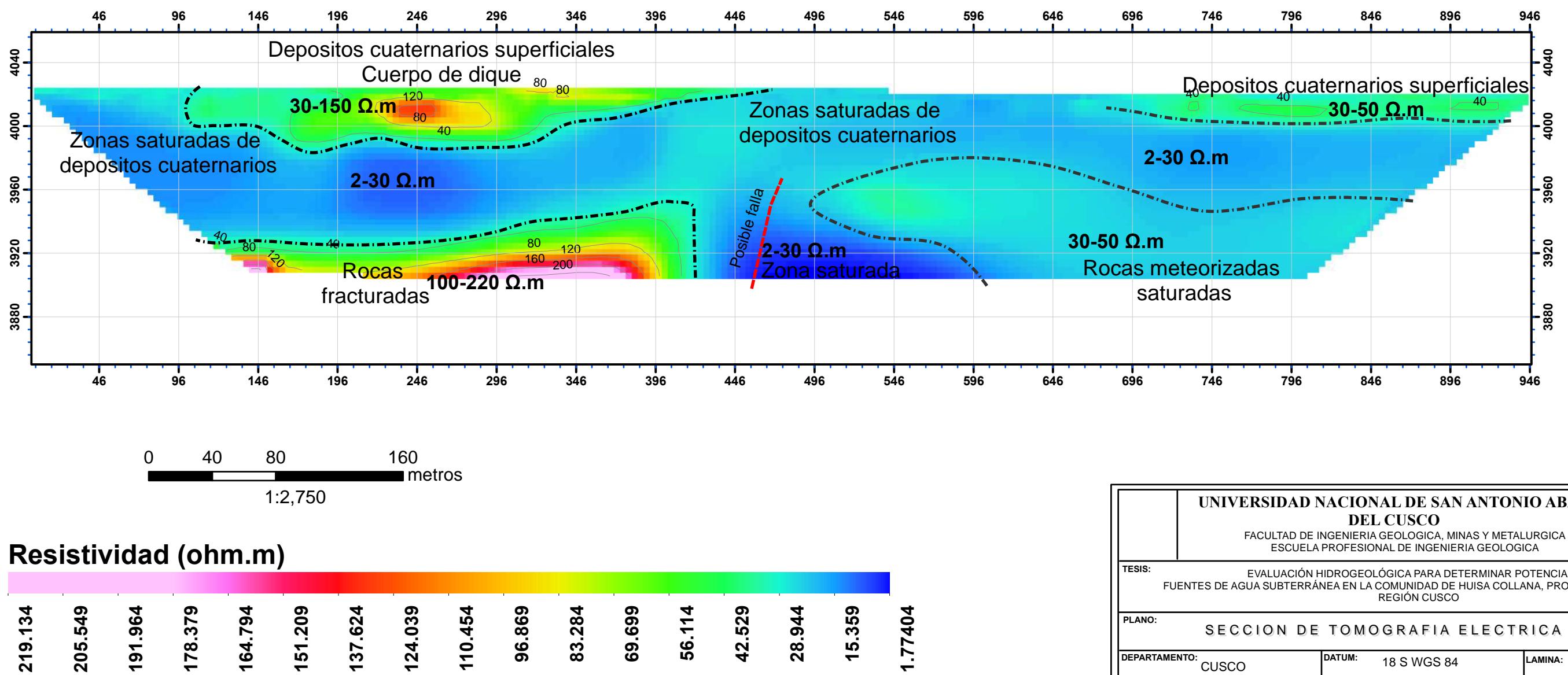


Figura 33

Figura 34
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-05



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-05

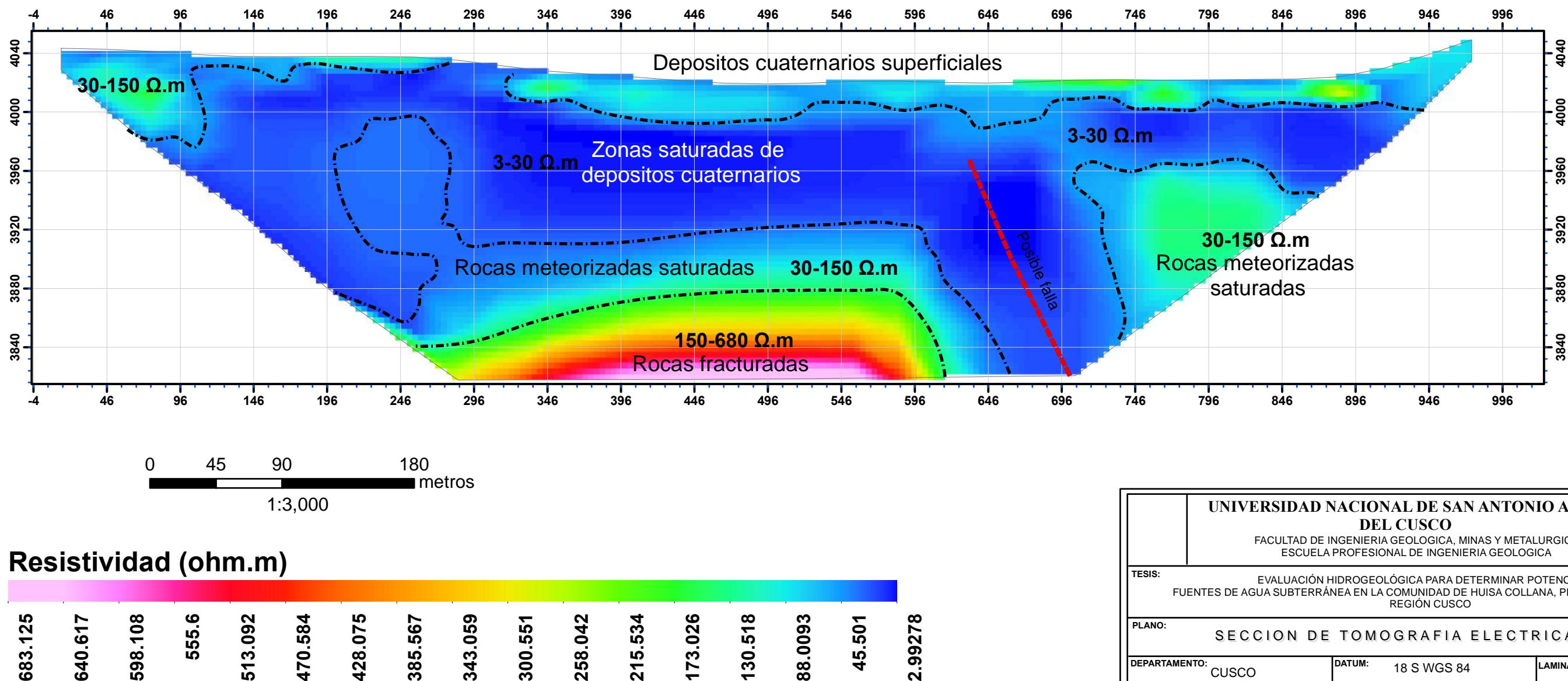
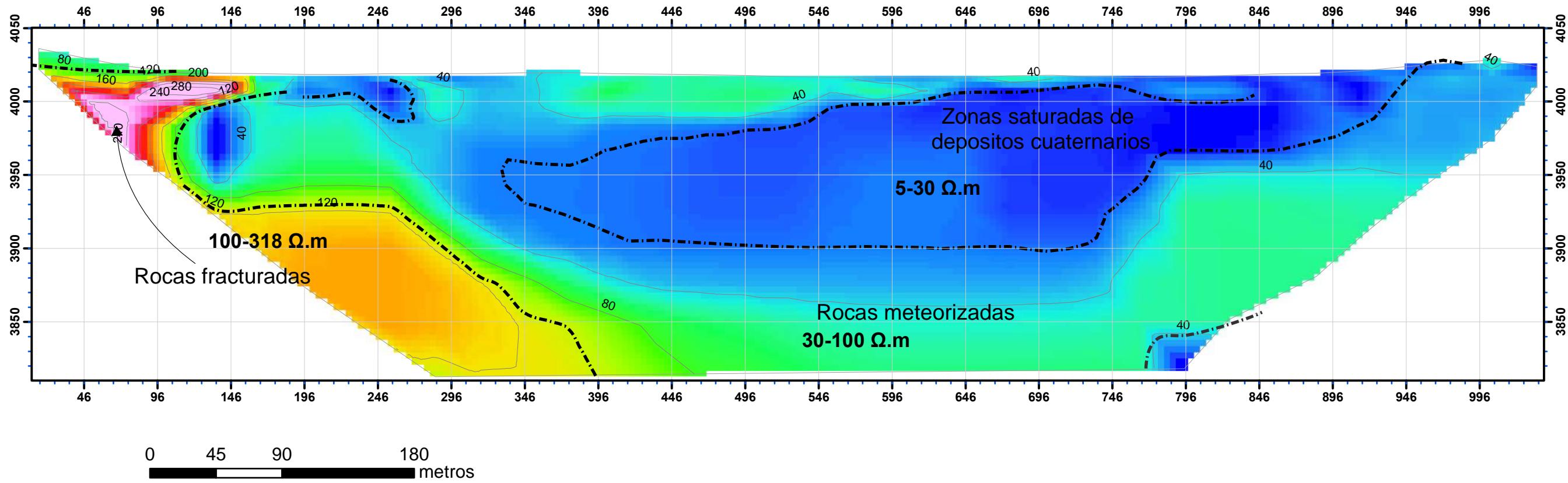


Figura 34

Figura 35
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-06



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-06



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

TESIS: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUIDSA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO

PLANO: SECCION DE TOMOGRAFIA ELECTRICA LT-HU-06

DEPARTAMENTO: CUSCO DATUM: 18 S WGS 84 LAMINA:

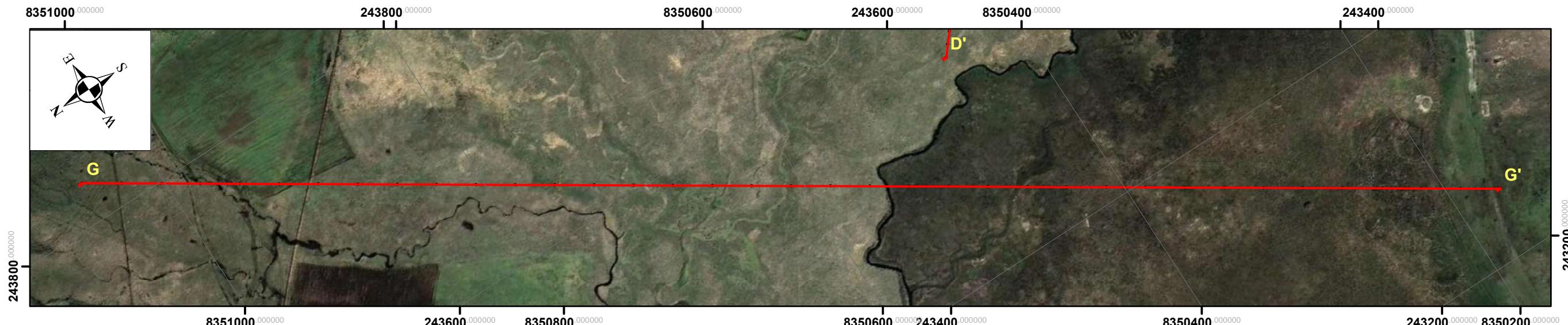
PROVINCIA: ESPINAR ASESOR: Ing Ronald Lopez Zapana

DISTRITO: YAURI TESISTAS: Br. Dahize Moyna Mendoza
Br. Mayume Huamani Mendigure

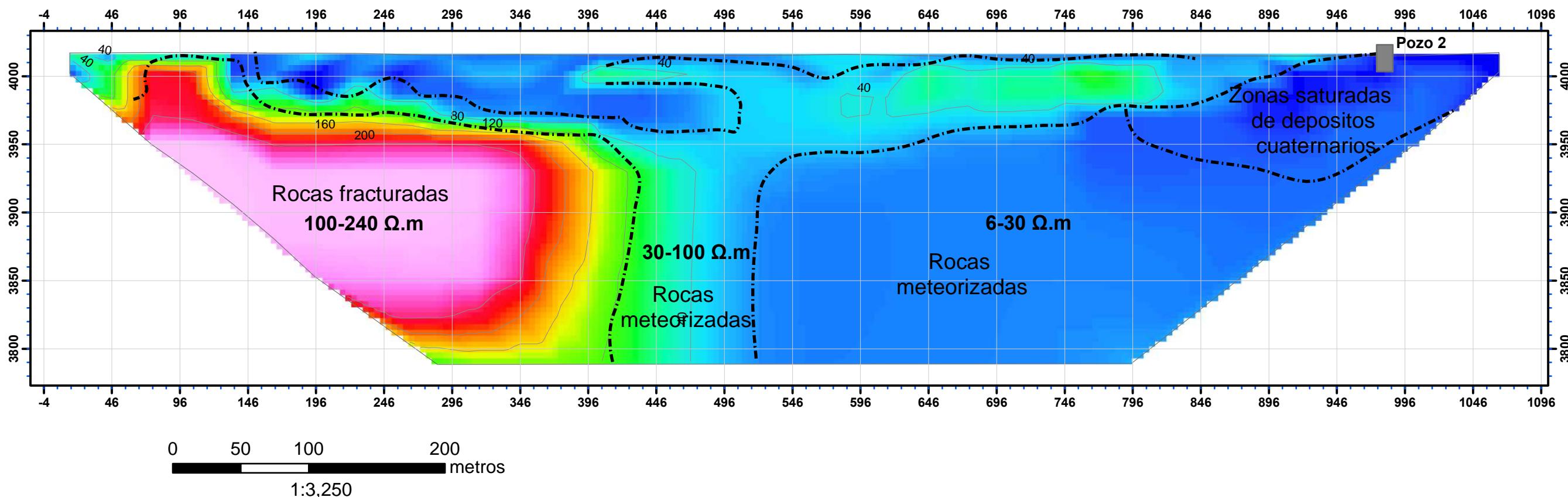
ZONA ESP: HUINIPAMPA FECHA: SET 2024 ESCALA: 1:3,000

Figura 35

Figura 36
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-07



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-07



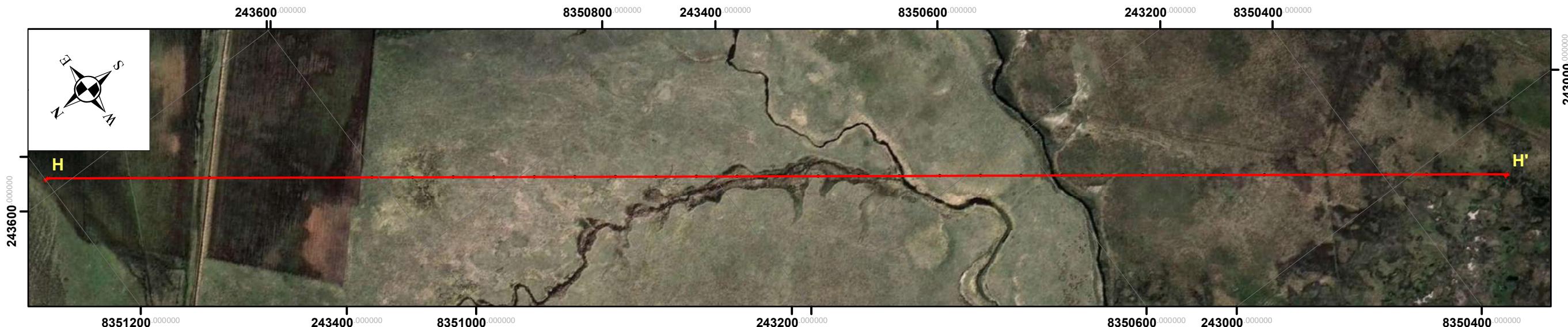
Resistividad (ohm.m)



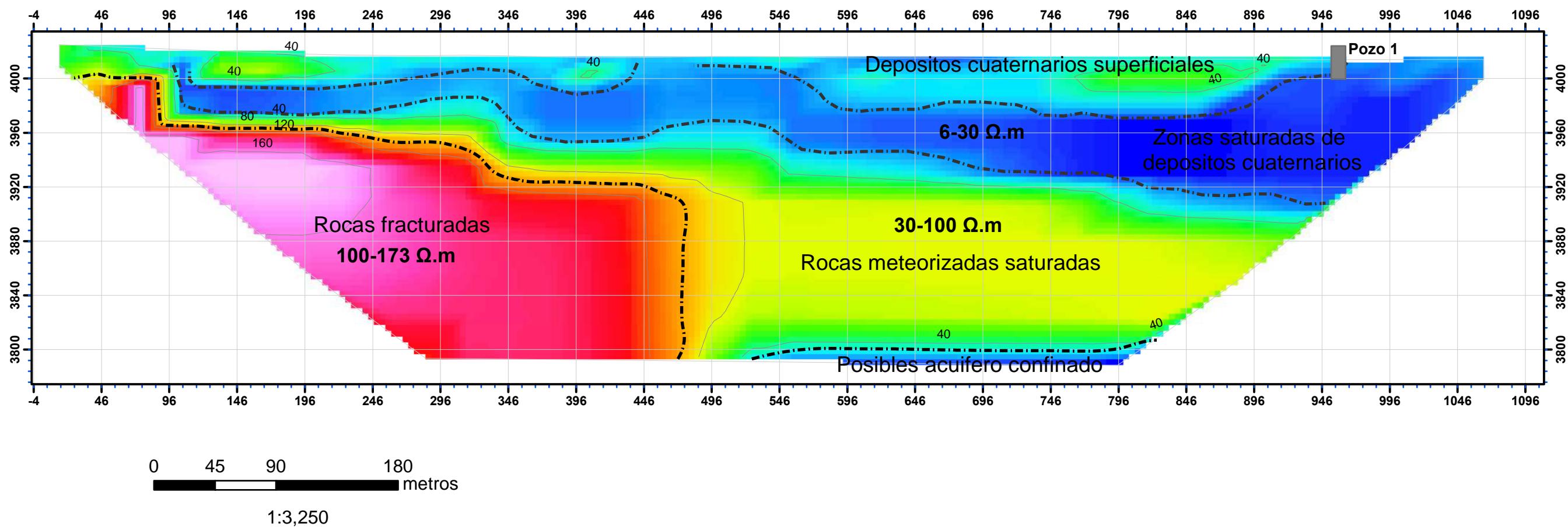
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLGICA			
TESIS: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO				
PLANO: SECCION DE TOMOGRAFIA ELECTRICA LT-HU-07				
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM: 18 S WGS 84		
PROVINCIA:	ESPINAR	ASESOR: Ing Ronald Lopez Zapana		
DISTRITO:	YAURI	TESISTAS: Br. Dahize Moyna Mendoza Br. Mayume Huamani Mendigure		
ZONA ESP:	HUINIPAMPA	FECHA: SET 2024		
		ESCALA: 1:3,250		

Figura 36

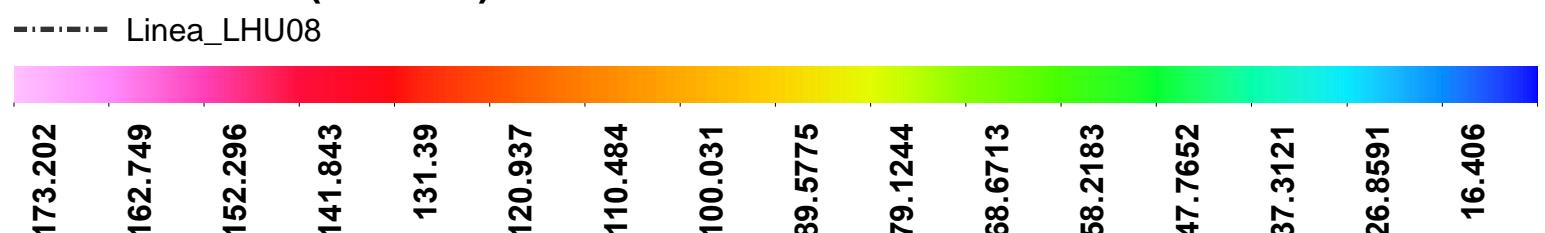
Figura 37
Ubicación y modelo de sección de resistividad LT-HU-8



MODELO DE SECCION DE RESISTIVIDAD LT-HU-08



Resistividad (ohm.m)



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLGICA		
TESIS: EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO			
PLANO:	SECCION DE TOMOGRAFIA ELECTRICA LT-HU-08		
DEPARTAMENTO:	CUSCO	DATUM:	18 S WGS 84
PROVINCIA:	ESPINAR	ASESOR:	Ing Ronald Lopez Zapana
DISTRITO:	YAURI	TESISTAS:	Br. Dahize Moyna Mendoza Br. Mayume Huamani Mendigure
ZONA ESP:	HUINIPAMPA	FECHA:	SET 2024
		ESCALA:	1:3,250

Figura 37

Capítulo IX: Hidrogeología

9.1 Inventario de fuentes de agua

Se realizó un inventario de los manantes captados en la microcuenca Ccoloyo, tomando como referencia los registros previos proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y otras instituciones. Para este trabajo, se contó con el apoyo de los pobladores de la zona, quienes informaron que varios manantes experimentan una notable disminución de caudal durante la época de estiaje, llegando incluso a secarse temporalmente. Estas observaciones fueron confirmadas y registradas durante las campañas de campo.

Las salidas de campo se llevaron a cabo entre el 21 y 22 de abril de 2024, durante las cuales se realizaron 15 aforos correspondientes a 10 manantes, 4 bofedales y 1 canal. La clasificación de los manantes se realizó de acuerdo con los criterios propuestos por Meizer (1923), identificándose caudales que varían entre 0.0009 l/s y 11.6 l/s (ver Tabla 43).

Fotografía 20

Inventario de fuentes de agua, con código MA-03



Inventario de fuentes de agua en la microcuenca Ccoloyo

Tabla 43

Inventario de manantes captados microcuenca Ccoloyo

Código	Coordenadas		PH	Cond. (mS/cm)	Turb.	T (°C)	Q (l/s)
	UTM X, Y						
IRHS 08.08.01-MA-09	244651	8350823	7.8	70	20	20	11.6
IRHS 08.08.01-MA-02	246506	8251952	7	50	20	19	0.41
IRHS 08.08.01-MA-03	246441	8351932	7.1	70	20	16.1	0.4
IRHS 08.08.01-MA-01	246630	8351939	7.5	200	60	14.2	0.21
IRHS 08.08.01-MA-08	244312	8351339	7	80	30	18	0.14
IRHS 08.08.01-MA-06	245118	8351849	6.9	100	40	17.7	0.09
IRHS 08.08.01-MA-04	246413	8351850	7.3	20	50	12.7	0.022
IRHS 08.08.01-HU-01	246504	8351976	7.1	90	40	19.5	S/D
IRHS 08.08.01-HU-02	2445198	8351921	7.1	60	30	19.2	S/D
IRHS 08.08.01-HU-03	242929	8352545	7	80	30	18	S/D
IRHS 08.08.01-HU-04	243042	8350699	8.1	330	160	15.8	S/D
IRHS 08.08.01-MA-05	244772	8352375	7.4	50	40	16.7	S/D
IRHS 08.08.01-MA-07	244327	8352573	6.8	130	70	23	S/D
IRHS 08.08.01-MA-10	244180	8350618	10.3	340	150	20.1	S/D

Fuente: Propia

*Conductividad (Cond.)

**Turbidez (Turb.)

***Temperatura (T°)

****Caudal promedio (\bar{Q})

Tabla 44

Clasificación de manantes por su productividad

Categoría	Unidad (l/s)
Primera	Superior a 2830
Segunda	Entre 283 y 2830
Tercera	Entre 28.3 y 283
Cuarta	Entre 10.0 y 28.3
Quinta	Entre 3.0 y 10.01
Sexta	Entre 1.0 y 3.01
Séptima	Menores a 1.01

Nota: De acuerdo con la Tabla 44, los caudales de 15 manantiales fueron clasificados siguiendo la tipología propuesta por Meizer (1923), resultando que 14 de ellos corresponden a la séptima categoría y uno a la cuarta categoría. Para una visualización más clara de la distribución de caudales, se elaboró un diagrama ilustrativo (ver Figura 38).

Figura 38

Diagrama de clasificación de manantes por su productividad

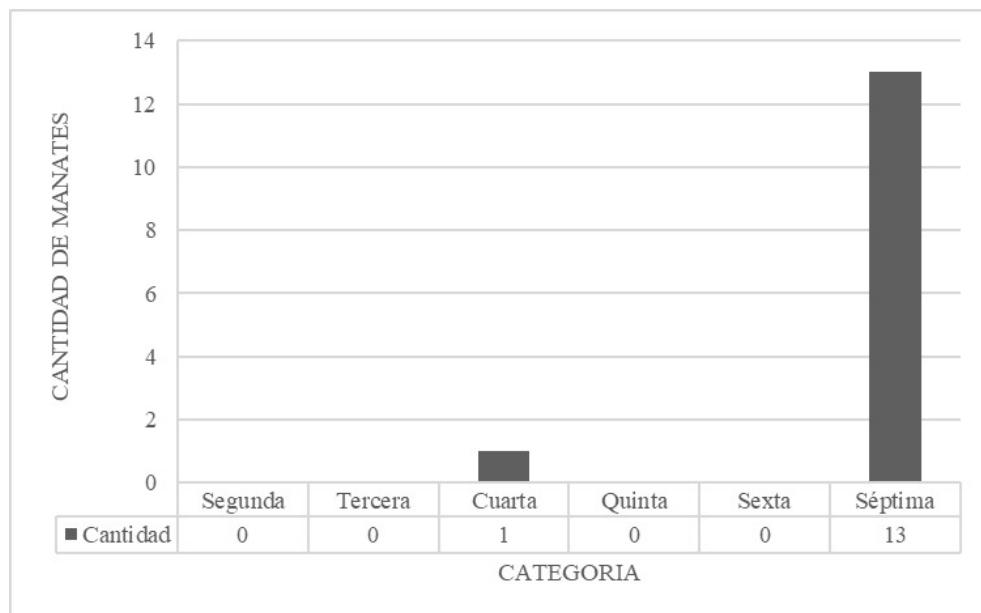
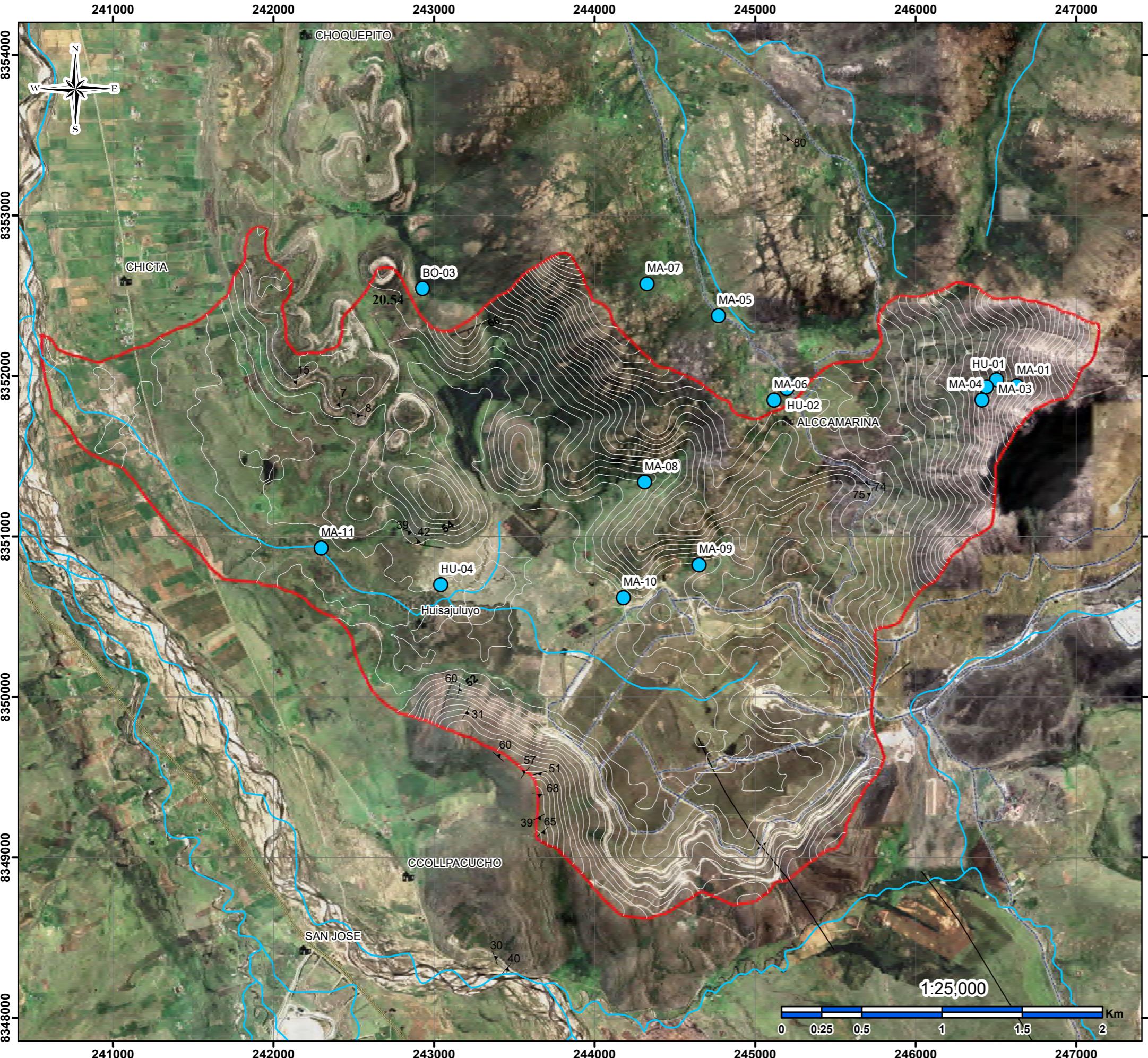


Figura 39

Mapa de inventariado de fuentes hidráticas de la microcuenca Ccoloyo



LEYENDA

- Inventario de Fuentes Hídricas
- Centros Poblados
- Drenajes
- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Cuenca Ccoloyo
- Curvas de nivel

INVENTARIO DE FUENTES HÍDRICAS DE LA MICROCUENCA CCOLOYO

Nº	COORDENADAS		Código
	Este	Norte	
1	246630	8351939	MA-01
2	246506	8251952	MA-02
3	246504	8351976	BO-01
4	246441	8351932	MA-04
5	246413	8351850	MA-05
6	244772	8352375	MA-06
7	245118	8351849	MA-07
8	244327	8352573	MA-08
9	244312	8351339	MA-09
10	244651	8350823	MA-10
11	244180	8350618	MA-11
12	245198	8351921	BO-02
13	242929	8352545	BO-03
14	243042	8350699	BO-04
15	242298	8350928	CA-01

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"	
MAPA DE INVENTARIADO DE FUENTES HÍDRICAS	ESCALA: 1/25,000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84	ZONA: 19L
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza		
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana		

Figura 39

9.2 Parámetros hidrogeológicos de las formaciones geológicas

Para llevar a cabo la clasificación hidrogeológica de las formaciones geológicas en la zona de estudio, es necesario cuantificar los parámetros que definen su capacidad para almacenar y transmitir agua subterránea. En este contexto, se toman en cuenta cuatro parámetros fundamentales que describen el comportamiento de los materiales geológicos frente al agua:

9.2.1 Porosidad

La porosidad es una de las propiedades fundamentales de los suelos y rocas, ya que representa el porcentaje del volumen total ocupado por vacíos o poros en relación con el volumen total del material (Bear, 1972). Esta característica controla en gran medida la capacidad de almacenamiento y circulación de agua subterránea, siendo un parámetro clave en estudios hidrogeológicos.

9.2.1.1 Porosidad en suelos

En el caso de los suelos, la porosidad suele ser más elevada que en las rocas consolidadas debido a su grado de meteorización, granulometría y baja compactación (Freeze & Cherry, 1979). Los suelos aluvio-fluviales presentan porosidad media a baja, ya que están compuestos principalmente por gravas y arenas, cuyas partículas generan espacios intergranulares relativamente amplios que permiten la percolación del agua. En contraste, los suelos fluviales formados por limos y arcillas pueden presentar valores más altos de porosidad, aunque con menor permeabilidad, debido a que sus poros son de menor tamaño y menos conectados (Todd & Mays, 2005).

Los valores de la Tabla 45 permiten diferenciar que los suelos fluviales, a pesar de tener mayor porosidad, suelen mostrar menor capacidad de transmisión de agua en comparación con los depósitos aluvio-fluviales, que favorecen la infiltración y el flujo subterráneo.

Tabla 45: Valores típicos de porosidad en suelos aluvio–fluviales y fluviales

Unidad geológica	Tipo de suelo	Rango de porosidad (%)	Referencias
Suelos aluvio–fluviales	Arenas y gravas mal clasificadas	25 – 40	Freeze & Cherry (1979); Domenico & Schwartz (1998)
Suelos fluviales	Limos y arcillas con intercalaciones arenosas	35 – 55	Todd & Mays (2005); Fetter (2001)

9.2.1.2 Porosidad en rocas

La porosidad en las rocas depende de factores como su génesis, grado de cementación, recristalización, fracturamiento y disolución secundaria (Lucia, 2007). En general, las rocas sedimentarias presentan mayores valores de porosidad en comparación con las ígneas y metamórficas, aunque esta puede estar condicionada por procesos diagenéticos y estructurales.

En el caso de las calizas de la Formación Arcurquina, los valores de porosidad son relativamente bajos (0.5 – 5 %), dado que son rocas compactas y recristalizadas. Sin embargo, procesos de disolución pueden incrementar su porosidad secundaria en zonas karstificadas (Lucia, 2007).

Las dolomías presentan porosidad variable, que puede ir de 1 a 10 %, y alcanzar hasta 20 % en ambientes con fracturamiento o disolución. Su capacidad de almacenamiento es generalmente mayor que la de las calizas compactas (Tiab & Donaldson, 2015).

Las limoarcillitas del Grupo Maure muestran valores de porosidad entre 5 y 15 %, propios de rocas de grano fino. Aunque poseen porosidad relativamente alta, su permeabilidad es baja debido a la escasa conectividad entre los poros (Domenico & Schwartz, 1998).

Finalmente, la granodiorita del Batolito de Choquechambi presenta porosidad muy baja (< 1 – 2 %), típica de rocas ígneas intrusivas, en donde el espacio intergranular es casi inexistente y la porosidad efectiva está asociada principalmente a fracturas (Heath, 1983).

Tabla 46:

Valores típicos de porosidad en diferentes tipos de rocas de las unidades geológicas locales

Unidad geológica	Litología principal	Rango de porosidad (%)	Referencias
Caliza (Formación Arcurquina)	Calizas compactas	0.5 – 5	Bear (1972); Lucia (2007)
Dolomías	Dolomitas cristalinas, con disoluciones secundarias	1 – 10 (hasta 20 en zonas karstificadas)	Lucia (2007); Tiab & Donaldson (2015)
Limo–arcillitas (Grupo Maure)	Lutitas y limolitas poco fracturadas	5 – 15	Fetter (2001); Domenico & Schwartz (1998)
Granodiorita (Batolito de Choquechambe)	Rocas ígneas intrusivas, textura granular	< 1 – 2	Bear (1972); Heath (1983)

9.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad, que indica la facilidad con la que el agua puede fluir a través de una formación.

Estos parámetros están interrelacionados y son claves para determinar las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos. Para este análisis, se han utilizado como referencia estudios previos, los cuales han sido fundamentales para la caracterización hidrogeológica del área.

9.2.1.1 Permeabilidad en materiales no consolidados

Para determinar la permeabilidad (K), se utilizó el método de carga variable de Lefranc, desarrollado en 1936. Este procedimiento se fundamenta en registrar la disminución del nivel de agua, o nivel piezométrico, a lo largo del tiempo dentro de una cavidad de infiltración, lo que permite calcular la tasa de infiltración del agua en el suelo o material geológico evaluado.

La permeabilidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q}{\pi d h}$$

Donde

K: conductividad hidráulica (cm/s)

Q: caudal de infiltración (cm³/s)

d: diámetro del sondeo o tubo (cm)

h: altura constante del agua sobre el nivel piezométrico (cm).

Fotografía 21

Ensayo de permeabilidad Lefranc de carga variable



Este ensayo se realiza llenando agua el tubo hasta alcanzar una altura inicial h1, sobre el nivel freático y midiendo el tiempo que demora el agua en descender desde h1 hasta una altura final h2, ambas relacionadas al nivel freático, a lo largo de un intervalo de tiempo t.

En la microcuenca Ccoloyo se realizaron 2 ensayos de permeabilidad en materiales no consolidados como se muestra en la tabla 47.

Tabla 47

Ubicación de los ensayos de permeabilidad en la microcuenca Ccoloyo.

Código	Coordenadas			Permeabilidad (k)
	X	Y	Z	
E1-07	243264	8350887	3950	0.030
E1-10	242531	8350624	3982	0.017

Fuente: Propia

9.2.1.2 Permeabilidad para materiales consolidados

La permeabilidad de macizos rocosos se encuentra fuertemente controlada por la presencia, orientación y características de las discontinuidades. A diferencia de los suelos, donde la permeabilidad depende de la granulometría y la compactación, en las rocas la conductividad hidráulica está condicionada por el sistema de fracturas, principalmente por la abertura de las discontinuidades y su espaciamiento (Hoek & Bray, 1981).

Para la estimación de la permeabilidad en discontinuidades se aplicó la fórmula propuesta por Hoek y Bray (1981), que establece una relación entre la conductividad hidráulica (k), la abertura de la discontinuidad (a), el espaciamiento medio de las fracturas (b), la viscosidad del fluido (μ) y su peso específico (γ):

$$k = \frac{\gamma a^3}{12 \mu b}$$

donde:

- k = permeabilidad (cm/s),
- γ = peso específico del agua (0.998 g/cm³ para condiciones normales),
- μ = viscosidad dinámica del agua (0.01 g/(cm·s) a 20 °C),
- a = abertura media de las discontinuidades (cm),
- b = espaciamiento medio entre discontinuidades (cm).

La fórmula se deriva del flujo laminar entre placas paralelas (Ley de Poiseuille), adaptada para representar el paso de agua a través de fracturas en medios rocosos. De acuerdo con Hoek y Bray (1981), este modelo es válido siempre que se cumpla la hipótesis de flujo laminar y las aberturas se mantengan en el rango de milímetros a fracciones de milímetro, lo cual es característico de las discontinuidades en macizos rocosos meteorizados o fracturados.

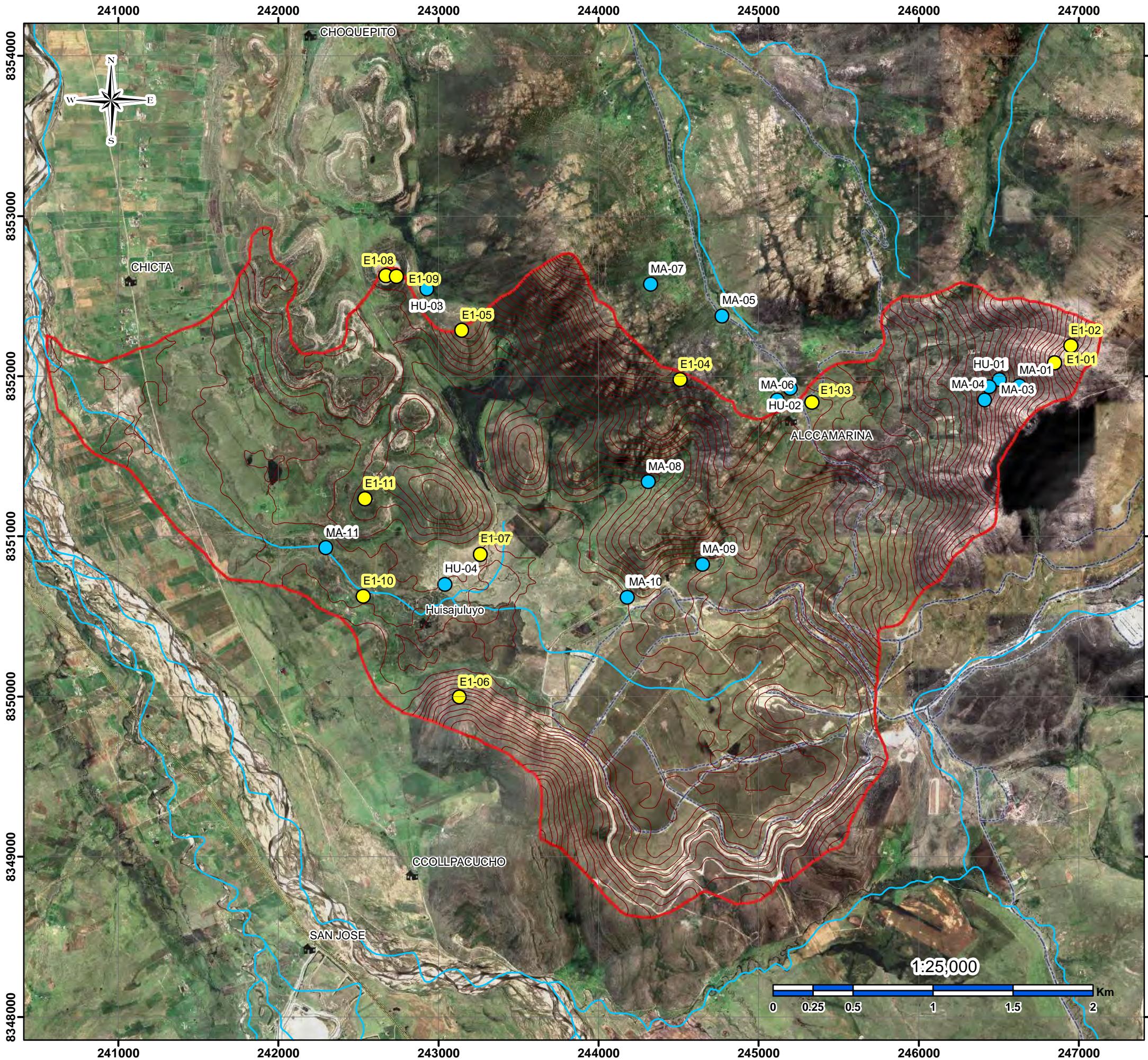
Tabla 48

Permeabilidades calculadas

Código	Este	Norte	Unidad geológica	a (cm)	b (cm)	k (cm/s)	k (m/s)	k (m/d)
E1-01	246849	8352083	Und. Choquechambe	0.2	8	0.207917	0.002079	179.64
E1-02	246951	8352188	Und. Choquechambe	0.2	10	0.166333	0.001663	143.71
E1-03	245333	8351835	Und. Choquechambe	0.3	9	0.277222	0.002772	239.52
E1-04	244510	8351976	Und. Choquechambe	0.4	16	0.207917	0.002079	179.64
E1-05	243148	8352286	Formación Arcurquina	0.1	12	0.069306	0.000693	59.88
E1-06	243133	8349995	Formación Arcurquina	0.1	12	0.069306	0.000693	59.88
E1-08	242672	8352626	Grupo Maure	0.005	75	0.000554	5.54×10^{-6}	0.48
E1-09	242739	8352622	Grupo Maure	0.005	75	0.000554	5.54×10^{-6}	0.48
E1-11	242541	8351233	Grupo Maure	0.01	100	0.000083	8.32×10^{-7}	0.072

Fuente: Propia

Figura 40
Mapa de ubicación de ensayos de permeabilidad



LEYENDA

- Pruebas de infiltración
- Inventario de Fuentes Hídricas
- Centros Poblados
- Drenajes
- Vía nacional
- Trocha carrozable
- Cuenca Ccoolloyo
- Curvas de nivel

ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA MICROCUENA DE CCOOLYO

Nº	Coordenadas		Código	Permeabilidad (K)
	Este	Norte		
1	246849	8352083	E1-01	0.02
2	246951	8352188	E1-02	0.02
3	245333	8351835	E1-03	0.04
4	244510	8351976	E1-04	0.04
5	243148	8352286	E1-05	0.04
6	243133	8349995	E1-06	0.01
7	243264	8350887	E1-07	0.03
8	242672	8352626	E1-08	0.01
9	242739	8352622	E1-09	0.04
10	242531	8350624	E1-10	0.02
11	242541	8351233	E1-11	0.01

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"		
MAPA DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	ESCALA: 1/25,000	
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	DATUM: WGS84	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana		Figura 40

9.3 Dirección de flujo del agua subterránea

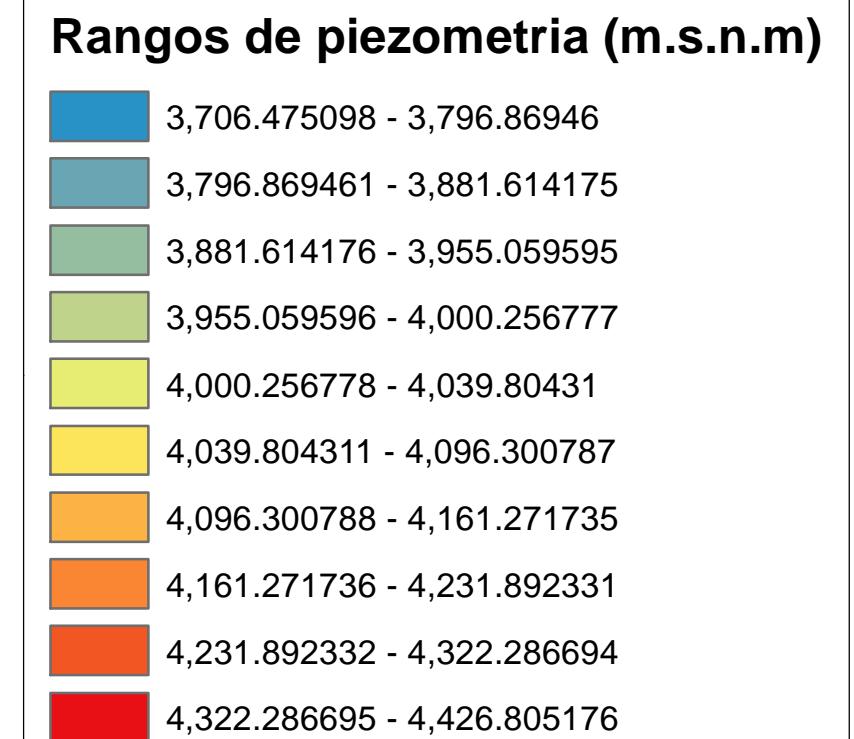
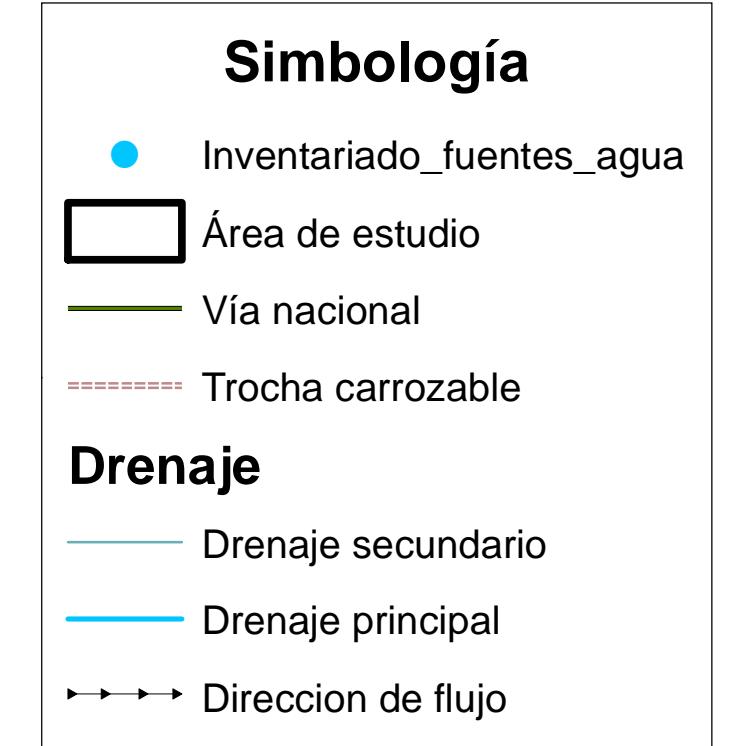
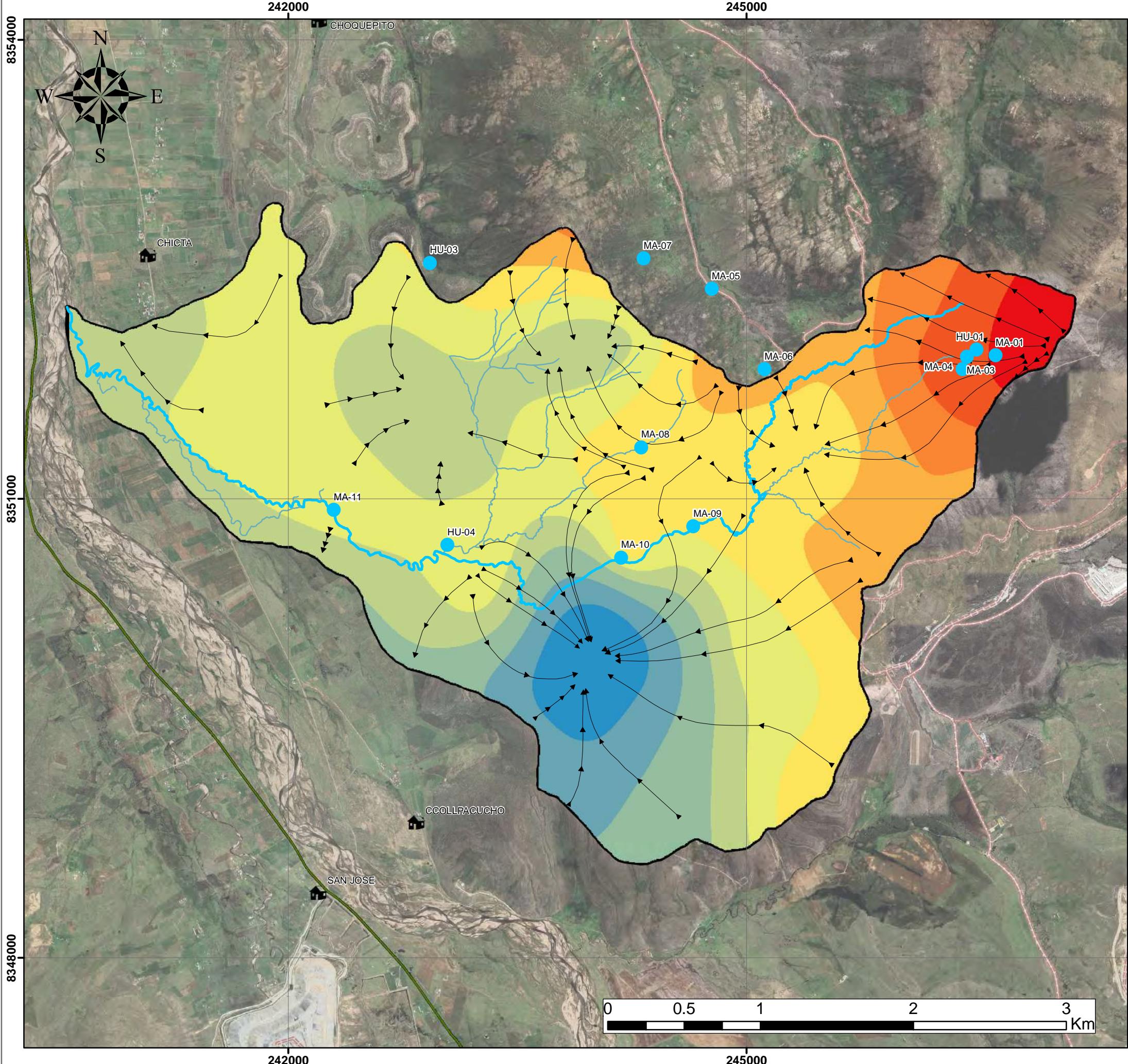
La dinámica del flujo subterráneo en el área de estudio se estableció mediante un análisis integral que considera múltiples factores de índole geológica y estructural. Se consideró la orientación de los planos estratificados, la disposición de las principales fracturas, la ubicación y comportamiento de los manantiales, así como la dirección de los ríos superficiales. Esta información fue complementada con los resultados obtenidos mediante métodos geofísicos aplicados específicamente al ámbito de estudio. Para el modelamiento y análisis espacial se hizo uso de herramientas especializadas tales como: “ArcGIS y Leapfrog Geo”, que permitieron definir con mayor precisión la dirección y patrones del flujo subterráneo.

La presencia y orientación de fracturas están directamente relacionadas con la tectónica regional. Las fallas y plegamientos formados por esfuerzos compresivos y extensionales han originado redes de fracturación que controlan la permeabilidad del medio subterráneo (Fetter, 2001; Doménico & Schwartz, 1998). Estas estructuras actúan como vías preferenciales de conducción del agua, particularmente en zonas donde la densidad de fracturas es alta y donde no existe obstrucción por relleno mineral.

Desde la perspectiva estratigráfica y estructural, se determinó que las direcciones dominantes del flujo subterráneo en la cuenca siguen principalmente un sentido sureste-noroeste, aunque se observan variaciones locales, como flujos orientados de sur a norte en las zonas elevadas. Esta configuración responde a la interacción entre la litología de las formaciones geológicas y la influencia de las estructuras tectónicas (Freeze & Cherry, 1979).

El control estructural tiene un papel clave en la dinámica del flujo subterráneo dentro de la cuenca. Las fracturas principales actúan como vías de alta transmisividad, mientras que en áreas con menor densidad de fracturas o con rellenos en las discontinuidades, la permeabilidad se reduce considerablemente (Singhal & Gupta, 2010).

Figura 41
Mapa piezométrico de dirección de flujos de la microcuenca Ccoloyo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA
DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"

MAPA PIEZOMETRICO DE DIRECCIÓN DE FLUJOS DE LA MICROCUENCA CCOLYO	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 41

9.4 Clasificación de unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas se distinguen de acuerdo a sus propiedades hidráulicas, las cuales condicionan el comportamiento del agua subterránea. La delimitación de acuíferos es más precisa cuando se cuenta con estratos bien diferenciados y estructuras geológicas, como lineamientos o fracturas. Para su análisis, se consideran aspectos como la permeabilidad, la litología, la topografía y la existencia de manantiales.

De acuerdo con el Mapa Hidrogeológico elaborado por INGEMMET (2025) para el distrito minero de Tintaya-Antapaccay —actualizado en el presente estudio utilizando los mapas integrados de Carlotto (2015) y Carlotto et al. (en preparación)—, en el área de estudio se han identificado tres unidades hidrogeológicas principales: el acuífero fisurado de origen sedimentario Ferrobamba, asociado al acuífero Acurquina; el acuífero poroso compuesto por depósitos no consolidados correspondientes al Cuaternario; y el acuitardo relacionado a las rocas de la unidad intrusiva.

A continuación, se presentan unidades hidrogeológicas locales de nuestra área de estudio.

9.4.1 Acuífero kárstico sedimentario Acurquina

La Formación Acurquina está constituida por calizas de color gris azulado a beige. Debido a su naturaleza carbonatada, estas rocas son susceptibles a procesos de disolución, lo que favorece el desarrollo de porosidad secundaria en forma de cavidades, conductos y cavernas. Estos rasgos kársticos permiten que las calizas tengan capacidad de almacenamiento y transmisión de agua subterránea muy superior a la que se esperaría únicamente de su porosidad primaria.

En el área de estudio, los registros geofísicos han puesto en evidencia la presencia de cavernas, confirmadas también mediante observaciones de campo. Ello confirma que la disolución kárstica juega un papel fundamental en el funcionamiento hidrogeológico de esta formación.

La heterogeneidad del acuífero se manifiesta en la microcuenca a través de variaciones espaciales notables. En la zona central, las calizas contienen nódulos y presentan una resistencia mecánica superior, evidenciada por valores de RMR cercanos a 85, lo que indica un macizo rocoso más competente y con menor desarrollo de fracturas efectivas.

Las propiedades hidráulicas y geomecánicas medidas en la formación confirman su carácter altamente heterogéneo. La permeabilidad alcanza valores de hasta 59.88 m/d, lo cual, de acuerdo con la clasificación de Custodio & Llamas (1983), corresponde a un rango de alta permeabilidad, característico de acuíferos carbonatados kársticos en los que el flujo se canaliza a través de conductos y cavernas. Por su parte, la porosidad oscila entre 0.5 % y 5 %, valores bajos para un medio granular, pero acordes con un sistema kárstico, donde el almacenamiento y la transmisión de agua dependen de la porosidad secundaria generada por disolución y fracturamiento. Asimismo, los valores altos de calidad del macizo rocoso (RMR 85 y 68) ponen en evidencia sectores muy competentes, donde el flujo depende fuertemente de la presencia de conductos principales.

9.4.2 Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina

En la microcuenca también se reconocen sectores donde la Formación Arcurquina presenta un comportamiento hidrogeológico característico de un acuífero fisurado. En estas zonas, las calizas muestran un mayor grado de fracturamiento, lo que favorece que la circulación del agua subterránea se concentre en fracturas interconectadas, en lugar de desarrollarse principalmente en conductos kársticos.

El mayor desarrollo de fracturas se refleja en valores más bajos de calidad del macizo rocoso (RMR 60 y 55), indicando un macizo menos competente y con un grado de fracturamiento más intenso. Estas condiciones generan una permeabilidad localmente elevada, pero con una marcada anisotropía y dependencia de la interconexión de las fracturas.

La porosidad efectiva continua siendo baja (0.5 % a 5 %), sin embargo, en este sistema el almacenamiento y la transmisión de agua dependen principalmente de la densidad, apertura y conectividad de las fracturas. La productividad de pozos o captaciones en este medio fisurado se encuentra fuertemente condicionada por la localización puntual respecto a las fracturas principales y secundarias, lo que genera un comportamiento hidrogeológico muy heterogéneo en distancias cortas.

9.4.3 Sistema acuitardo sedimentario Grupo Maure

El Miembro II, constituido principalmente por dolomitas y arenas tufáceas de granulometría fina a media, se clasifica como un acuífero poroso, debido a que presenta mayor porosidad y permeabilidad relativa en comparación con los demás miembros. En este sector, la porosidad medida se encuentra en un rango de 5 % a 10 %, mientras que la permeabilidad alcanza valores de 0.48 m/d, lo que le confiere cierta capacidad para favorecer la recarga y el transporte de agua subterránea. Además, las dolomitas pueden desarrollar porosidad secundaria por disolución, lo que incrementa la capacidad de almacenamiento en zonas localizadas.

Fotografía 22

Diatomitas del Miembro II del Grupo Maure, que actúan como acuitardo (Coordenadas UTM: 242666E, 8351310N).



En términos hidrogeológicos, el Grupo Maure puede considerarse un sistema acuitardo-acuiclude, donde los niveles de dolomitas y arenas tufáceas funcionan como acuíferos.

9.4.4 Sistema acuiclude sedimentario Grupo Maure

Dentro del mismo Grupo Maure se identifican sectores con un comportamiento más restrictivo, en los que predominan las litologías finas como las limoarcillas y diatomitas. Estos sectores corresponden al Miembro III, el cual, por su granulometría fina y marcada estratificación horizontal, se comporta como un acuiclude heterogéneo, con capacidad de almacenamiento limitada y una fuerte restricción al movimiento del agua subterránea.

Las características medidas en estos niveles reflejan este comportamiento: la porosidad varía entre 5 % y 10 %, pero la permeabilidad registrada alcanza valores muy bajos, cercanos a 0.072 m/d, lo que resulta insuficiente para permitir un flujo efectivo. Además, al no observarse fracturamiento significativo, la circulación de agua queda prácticamente restringida.

En la estratigrafía regional, este miembro desempeña un papel fundamental como unidad de sellado, ya que separa formaciones más permeables y favorece la existencia de acuíferos confinados o semiconfinados en los niveles superiores o inferiores. De esta manera, el Miembro III cumple una función de regulación en el sistema hidrogeológico, controlando la conectividad vertical y contribuyendo a la diferenciación de los distintos ambientes acuíferos dentro de la microcuenca.

9.4.5 Acuíferos porosos no consolidados

Los acuíferos porosos no consolidados están conformados por depósitos cuaternarios de origen aluvial y fluvio-aluvial, localizados principalmente en el cauce y en las terrazas actuales del río Ccoloyo y sus afluentes. Presentan espesores que varían entre 2 y 30 metros y están compuestos por arenas, gravas y limos, lo que les otorga un carácter heterogéneo tanto en sentido lateral como vertical.

De acuerdo con la clasificación de Custodio (1983), esta unidad corresponde a un acuífero poroso no consolidado, ya que el agua se almacena y circula a través de los espacios

intergranulares. Las pruebas indican valores de permeabilidad de 0.03 m/día y 0.017 m/día, reflejando una variabilidad en la conductividad hidráulica que oscila entre baja y moderada.

En términos de productividad, los sectores más favorables corresponden a aquellos donde predominan niveles arenosos y gravosos, que permiten una mayor transmisión y almacenamiento de agua. En contraste, los tramos con predominio de limos y materiales finos presentan baja permeabilidad y un rendimiento limitado.

Fotografía 23

Acuífero poroso aluvial, (Coordenadas UTM: 243403E, 8351182N)



9.4.6 Acuífero fisurado Unidad Choquechambe

En los sectores donde la roca presenta mayor grado de fracturamiento, la Unidad Choquechambe se comporta como un acuífero fisurado. El índice RMR, con valores de 72 y 51, refleja una calidad de macizo rocoso que favorece la presencia de discontinuidades conectadas, lo que incrementa la permeabilidad secundaria.

La porosidad efectiva sigue siendo baja (<1 – 2%), pero la permeabilidad alcanza valores de 239.52 m/día, lo cual permite una mejor circulación y transmisión del agua subterránea. Estas condiciones estructurales otorgan a este sector un potencial hidrogeológico intermedio, que puede ser aprovechado de manera significativa en términos de disponibilidad de recursos hídricos.

Fotografía 24

Acuitardo Unidad Choquechambe



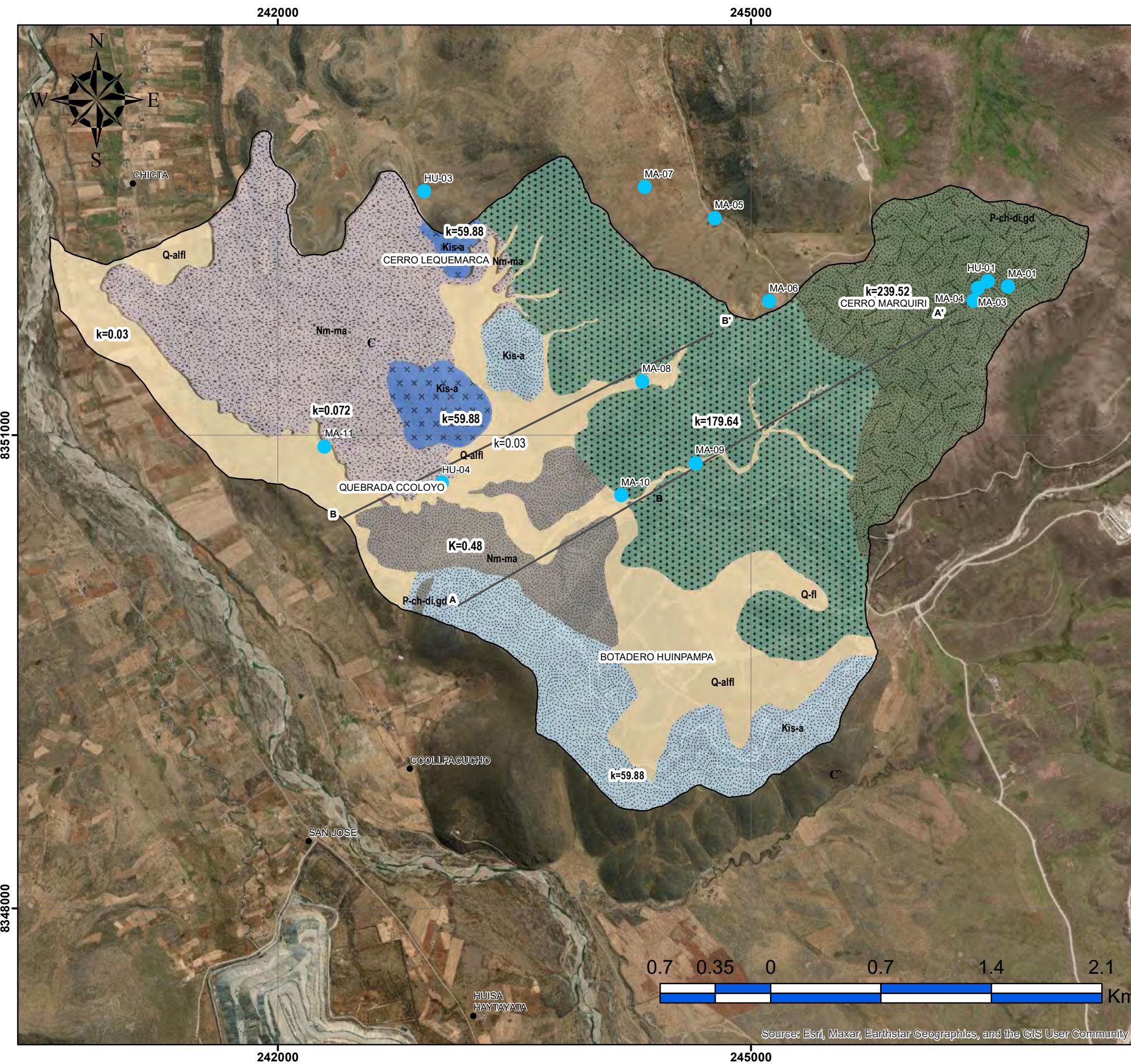
Acuitardo Choquechambe de menor calidad con RMR 40 y 39

9.4.7 Sistema acuitardo Unidad Choquechambe

Por otro lado, en sectores con menor densidad de fracturamiento y baja conectividad entre discontinuidades, la Unidad Choquechambe actúa como un acuitardo. Los valores de RMR (40 y 39) indican un macizo rocoso de menor calidad en términos hidrogeológicos, con fracturas menos desarrolladas y menos interconectadas.

La porosidad secundaria se mantiene en el rango bajo ($<1 - 2\%$), y la permeabilidad alcanza solo 179.64 m/día, lo cual restringe el flujo de agua subterránea. Estas condiciones generan un bajo potencial hidrogeológico, limitando la capacidad de almacenamiento y transmisión del recurso.

Figura 42
Mapa hidrogeológico de la microcuenca Ccoloyo



Simbología

- Inventariado_fuentes_agua
- Secciones AA', BB'
- Centros poblados
- Área de estudio

LEYENDA

Unidades Hidrogeológicas

- Acuíclito sedimentario Grupo Maure
- Acuitardo Formación Choquechambe
- Acuitardo sedimentario Grupo Maure
- Acuífero fisurado Formación Choquechambe
- Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina
- Acuífero kárstico sedimentario Arcurquina
- Acuíferos porosos no consolidados

REFERENCIA GEOGRAFICA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -69.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS:
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA
DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"

MAPA DE UBICACIÓN	ESCALA: 1/50000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	DATUM: WGS84 ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 42

Figura 43
Sección hidrogeológica A-A'

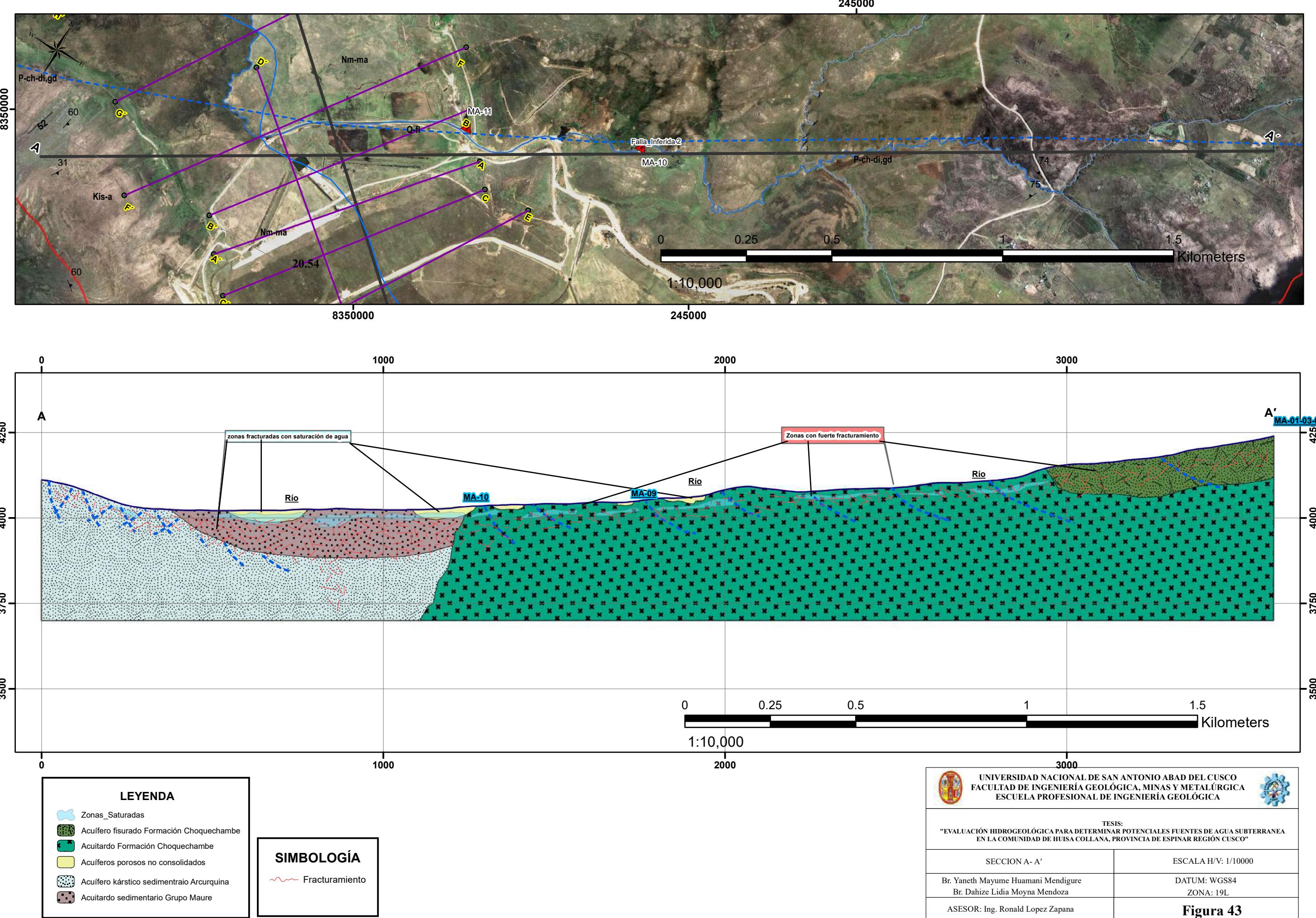


Figura 44
Sección hidrogeológica B-B'

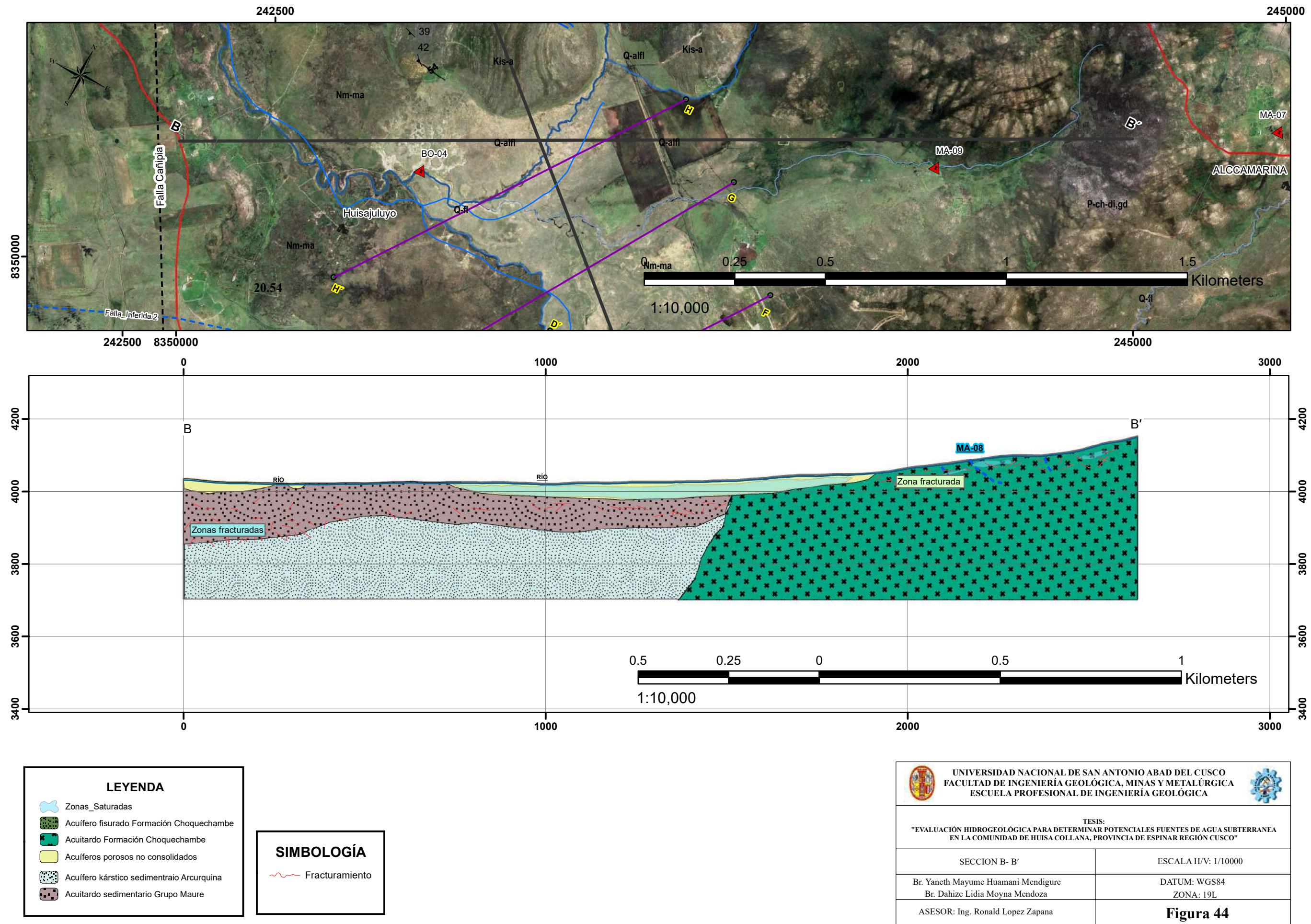
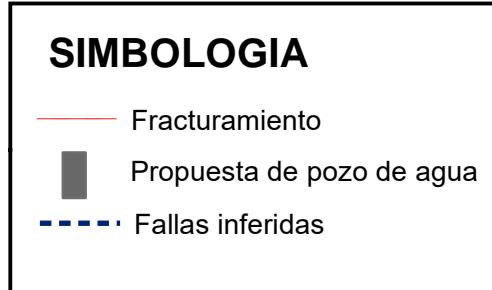
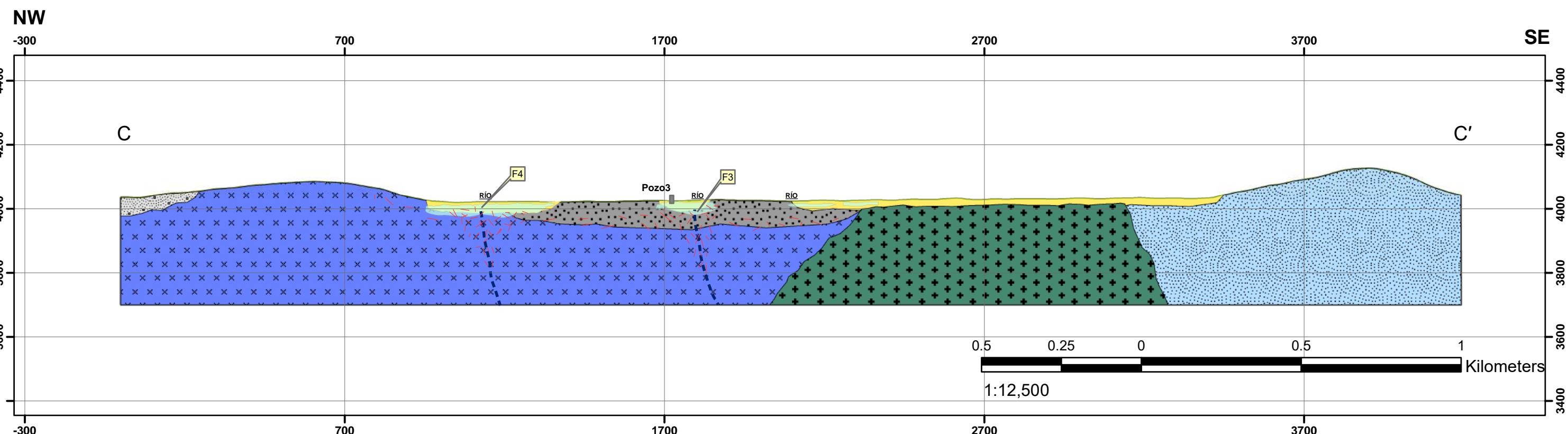
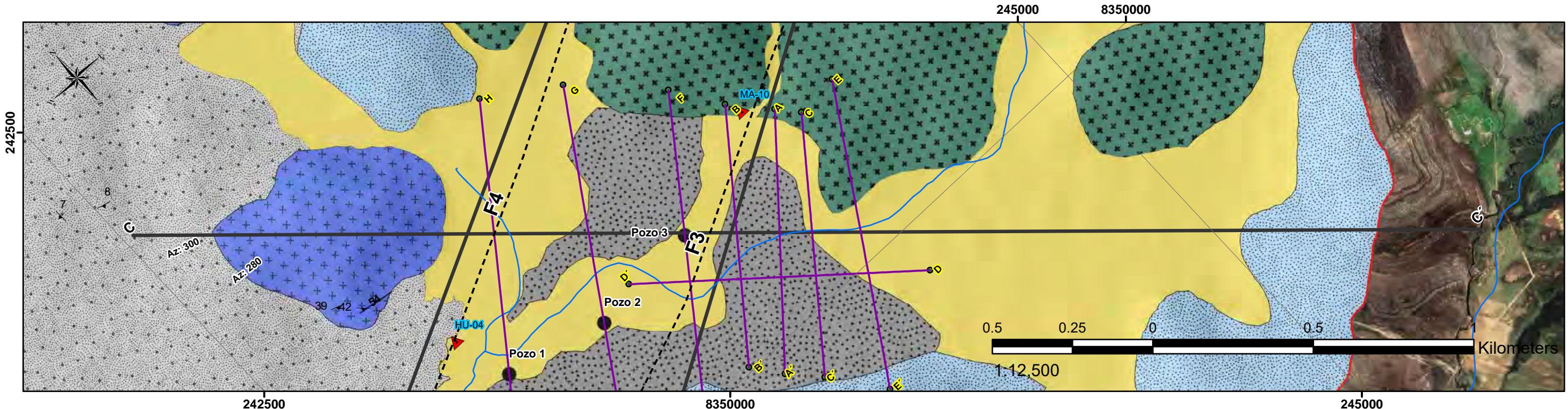


Figura 45
Sección hidrogeológica C - C'



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"

SECCION C-C' ESCALA H/V: 1/12500

Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza ZONA: 19L

ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana

Figura 45

Capítulo X: Hidroquímica

10.1 Caracterización hidroquímica

Para la evaluación se elaboraron diversos gráficos y diagramas que facilitan la interpretación del comportamiento químico de los diferentes tipos de agua identificados. Parte de estos resultados fue representada sobre mapas de geología local, con el fin de comprender mejor los procesos que explican la presencia de los contenidos químicos detectados, así como para evidenciar su distribución espacial en el área de estudio y su relación con los componentes mineros en evaluación.

Los grupos de parámetros considerados en el análisis se detallan a continuación, los cuales fueron evaluados en muestras de aguas superficiales y subterráneas:

- **Parámetros in situ:** pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, potencial de óxido reducción (ORP), oxígeno disuelto (OD), alcalinidad total.
- **Parámetros fisicoquímicos:** Bicarbonatos
- **Aniones:** Cloruros, fluoruros, fosfatos, nitratos, nitritos y sulfatos.
- **Metales:** Fracción disuelta y contenido total de 34 elementos (ICP), incluye cationes mayoritarios, minoritarios y trazas.

Los informes de análisis del laboratorio se presentan en el Anexo 1

10.1.1 Parámetros Fisicoquímicos

Para la caracterización físico-química del recurso hídrico se realizaron muestreos en 15 puntos de control, distribuidos en el área de estudio. Dichos muestreos se llevaron a cabo durante la época de lluvia, con el objetivo de evaluar las condiciones representativas del sistema en este periodo. En cada punto se registraron parámetros in situ como pH, conductividad eléctrica, turbidez y temperatura del agua, cuyos resultados se presentan en la Tabla 49.

Tabla 49

Resultados de los parámetros físico-químicos

Código	Coordenadas		PH	Cond. (mS/cm)	Turb.	T (°C)
	UTM X	Y				
IRHS 08.08.01-MA-09	244651	8350823	7.8	70	20	20
IRHS 08.08.01-MA-02	246506	8251952	7	50	20	19
IRHS 08.08.01-MA-03	246441	8351932	7.1	70	20	16.1
IRHS 08.08.01-MA-01	246630	8351939	7.5	200	60	14.2
IRHS 08.08.01-MA-08	244312	8351339	7	80	30	18
IRHS 08.08.01-MA-06	245118	8351849	6.9	100	40	17.7
IRHS 08.08.01-MA-04	246413	8351850	7.3	20	50	12.7
IRHS 08.08.01-HU-01	246504	8351976	7.1	90	40	19.5
IRHS 08.08.01-HU-02	245198	8351921	7.1	60	30	19.2
IRHS 08.08.01-HU-03	242929	8352545	7	80	30	18
IRHS 08.08.01-HU-04	243042	8350699	8.1	330	160	15.8
IRHS 08.08.01-MA-05	244772	8352375	7.4	50	40	16.7
IRHS 08.08.01-MA-07	244327	8352573	6.8	130	70	23
IRHS 08.08.01-MA-10	244180	8350618	10.3	340	150	20.1
IRHS 08.08.01-MA-11	241944	8350965	8	170	50	13
ESP-AS-1	242104	8351017	8.8	540	260	15

Potencial de Hidrógeno (pH)

Los valores de pH registrados en las muestras de agua en la zona de estudio oscilan entre 6.8 y 10.3, evidenciando una variabilidad que abarca desde condiciones ligeramente ácidas hasta fuertemente básicas. La mayoría de las muestras se encuentran en un rango de pH neutro a ligeramente básico (7.0 a 8.1), lo cual sugiere una interacción natural del agua con materiales geológicos sin presencia significativa de contaminantes ácidos. Sin embargo, destaca el punto IRHS 08.08.01-MA-10, que presenta un valor de pH de 10.3, lo que indicaría una posible influencia de procesos geológicos o antrópicos que incrementan la alcalinidad del agua. Por otro lado, los valores más bajos de pH se registraron en los puntos IRHS 08.08.01-MA-06 (6.9) e IRHS

08.08.01-MA-07 (6.8), los cuales podrían estar asociados a la disolución de minerales con comportamiento ácido o procesos de oxidación.

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica, indicador de la cantidad de sales disueltas en el agua, presentó valores entre 30 y 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona evaluada. Las concentraciones más bajas se observaron en los puntos IRHS 08.08.01-HU-03 y IRHS 08.08.01-MA-04, con valores de 30 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, lo que sugiere la presencia de aguas poco mineralizadas. En contraste, el valor más alto fue registrado en el punto IRHS 08.08.01-MA-10 (340 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual podría estar relacionado con mayor contacto con materiales geológicos mineralizados o posibles aportes antrópicos. En general, los valores de CE indican que las aguas de esta zona presentan una mineralización baja a moderada.

Turbidez

La turbidez, relacionada con la cantidad de partículas suspendidas en el agua, varió entre 10 y 70 NTU. Los valores más bajos se presentaron en los puntos IRHS 08.08.01-MA-05 y IRHS 08.08.01-MA-07, con 10 y 7 NTU respectivamente, lo que sugiere aguas relativamente claras y con poca carga de sedimentos. Por otro lado, los mayores niveles de turbidez se observaron en el punto IRHS 08.08.01-MA-01 con 60 NTU y en IRHS 08.08.01-MA-09 con 20 NTU, lo que podría estar asociado a escorrentías o disturbios en el entorno cercano a la fuente de muestreo.

Temperatura del Agua (T°)

La temperatura del agua medida in situ mostró un rango de 12.7 °C a 20.1 °C, siendo el punto más frío IRHS 08.08.01-MA-04 y el más cálido IRHS 08.08.01-MA-10. Estas variaciones pueden deberse a factores como la altitud, la exposición solar, el caudal y la profundidad de las fuentes de agua. En general, los valores registrados son consistentes con condiciones naturales de aguas superficiales y subterráneas en zonas.

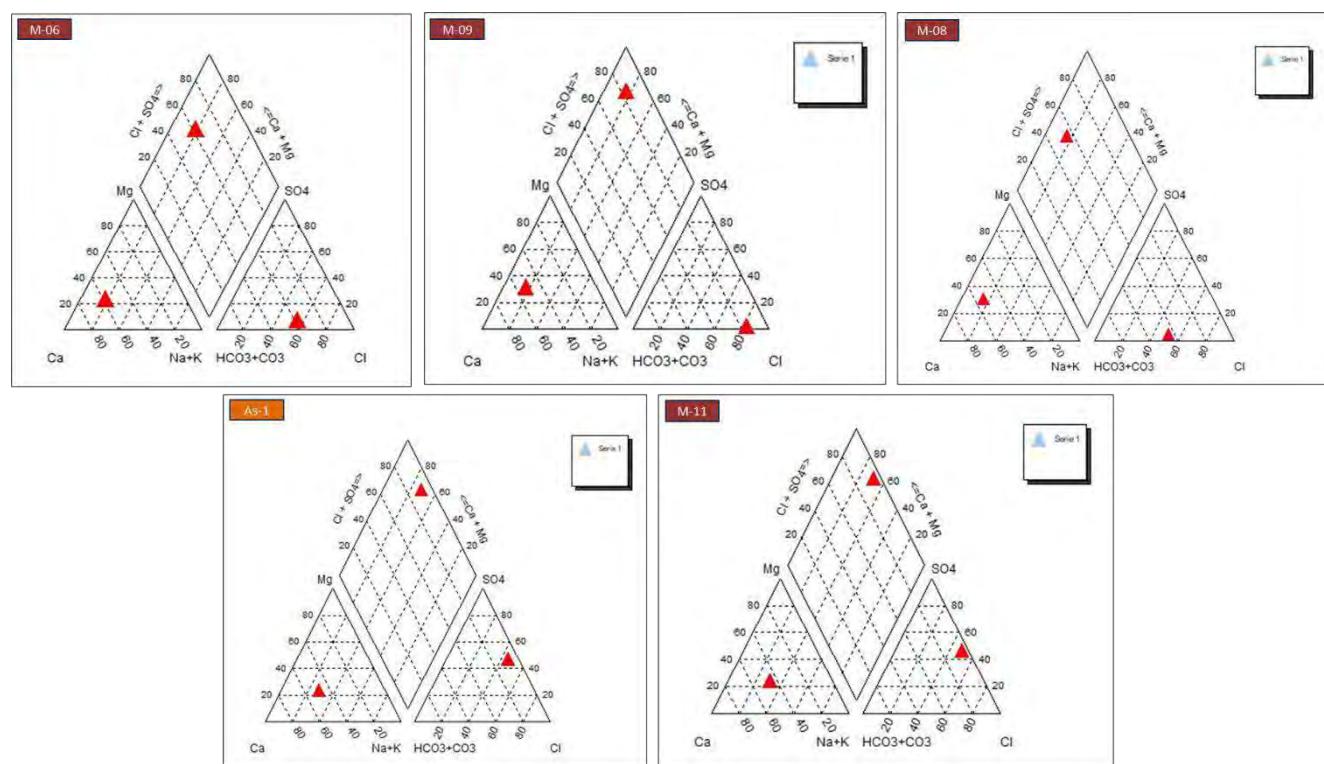
10.1.1.1 Diagramas hidroquímicos

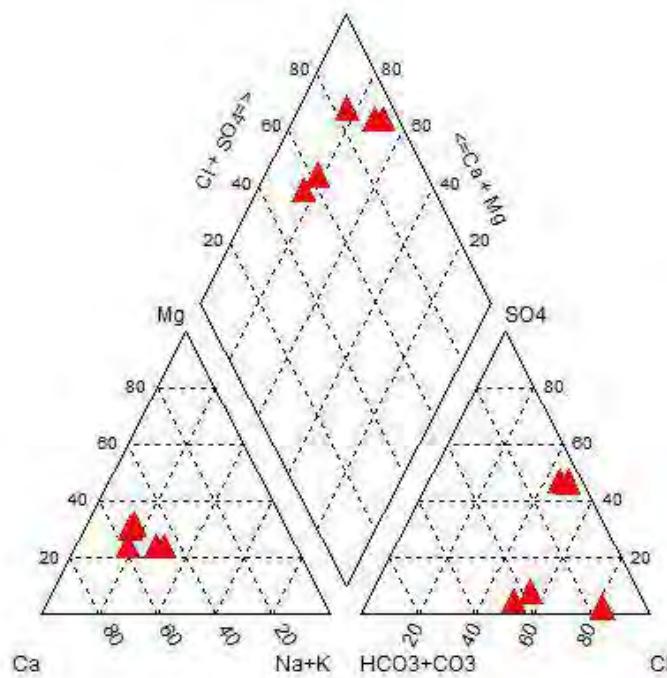
10.1.1.1.1 Diagrama de Piper

El análisis de los diagramas de Piper muestra una diversidad de facies hidroquímicas en el agua subterránea durante la temporada de lluvias. Las muestras M-06 y M-08 corresponden a aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), típicas de procesos de recarga meteórica y de baja evolución hidroquímica. En contraste, las muestras M-09 y As-1 evidencian una composición clorurada ($\text{Na}-\text{Cl}$ y $\text{Ca}-\text{Cl}$), asociada a mayor disolución de sales, procesos de evaporación o influencia antrópica. Finalmente, M-11 se caracteriza por un predominio de sulfatos y sodio ($\text{Na}-\text{SO}_4/\text{Cl}$), indicando una evolución hidroquímica más compleja, vinculada a disolución de evaporitas o aporte de drenajes mineros. En conjunto, los Piper reflejan un sistema mixto, con aguas jóvenes de recarga y otras más evolucionadas.

Figura 46

Diagrama de Piper – primera campaña (temporada de lluvia).

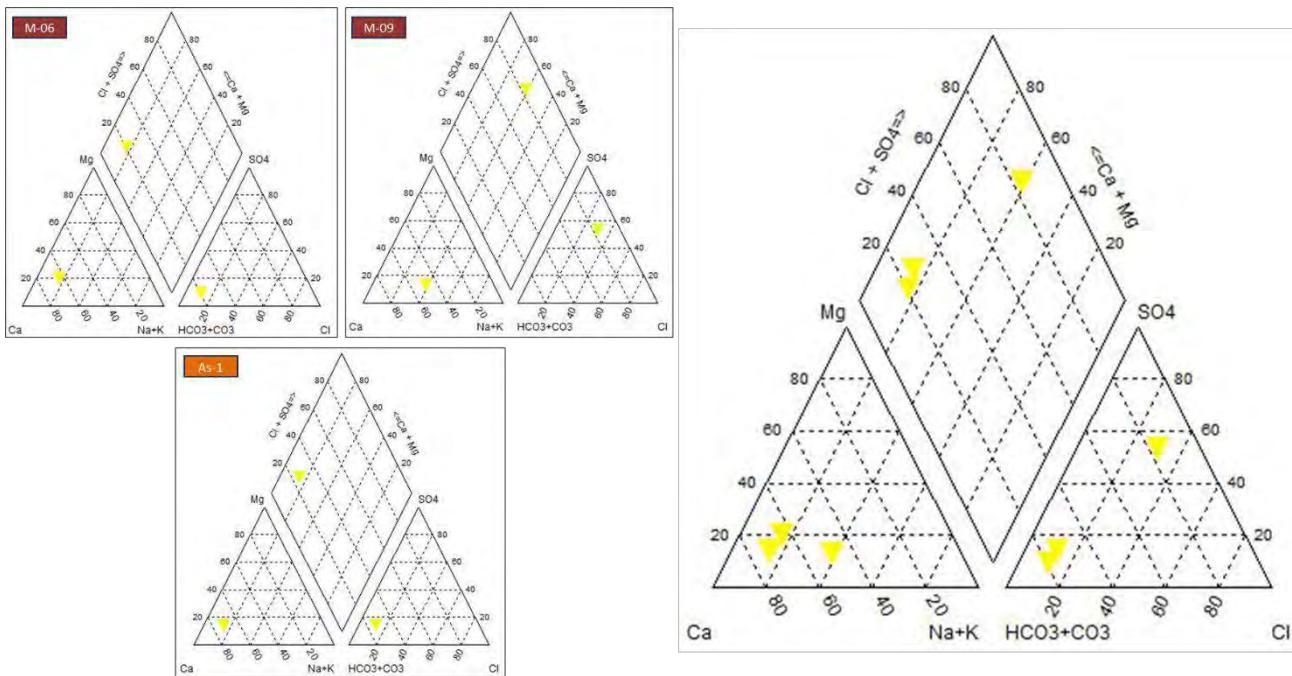




En temporada de estiaje, los diagramas de Piper muestran un comportamiento diferente al observado en época de lluvias. La muestra M-06 se clasifica como bicarbonatada cálcica ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), típica de aguas de recarga meteórica y de baja evolución química. La muestra M-09 refleja una facies sulfatada magnésica ($\text{Mg}-\text{SO}_4$), indicando procesos de disolución de minerales sulfatados o influencia de oxidación de sulfuros. Finalmente, As-1 se caracteriza como clorurada cálcica ($\text{Ca}-\text{Cl}$), lo que sugiere influencia de sales disueltas y un mayor grado de evolución hidroquímica respecto a las aguas de recarga.

Figura 47

Diagrama de Piper – segunda campaña (temporada de estiaje).

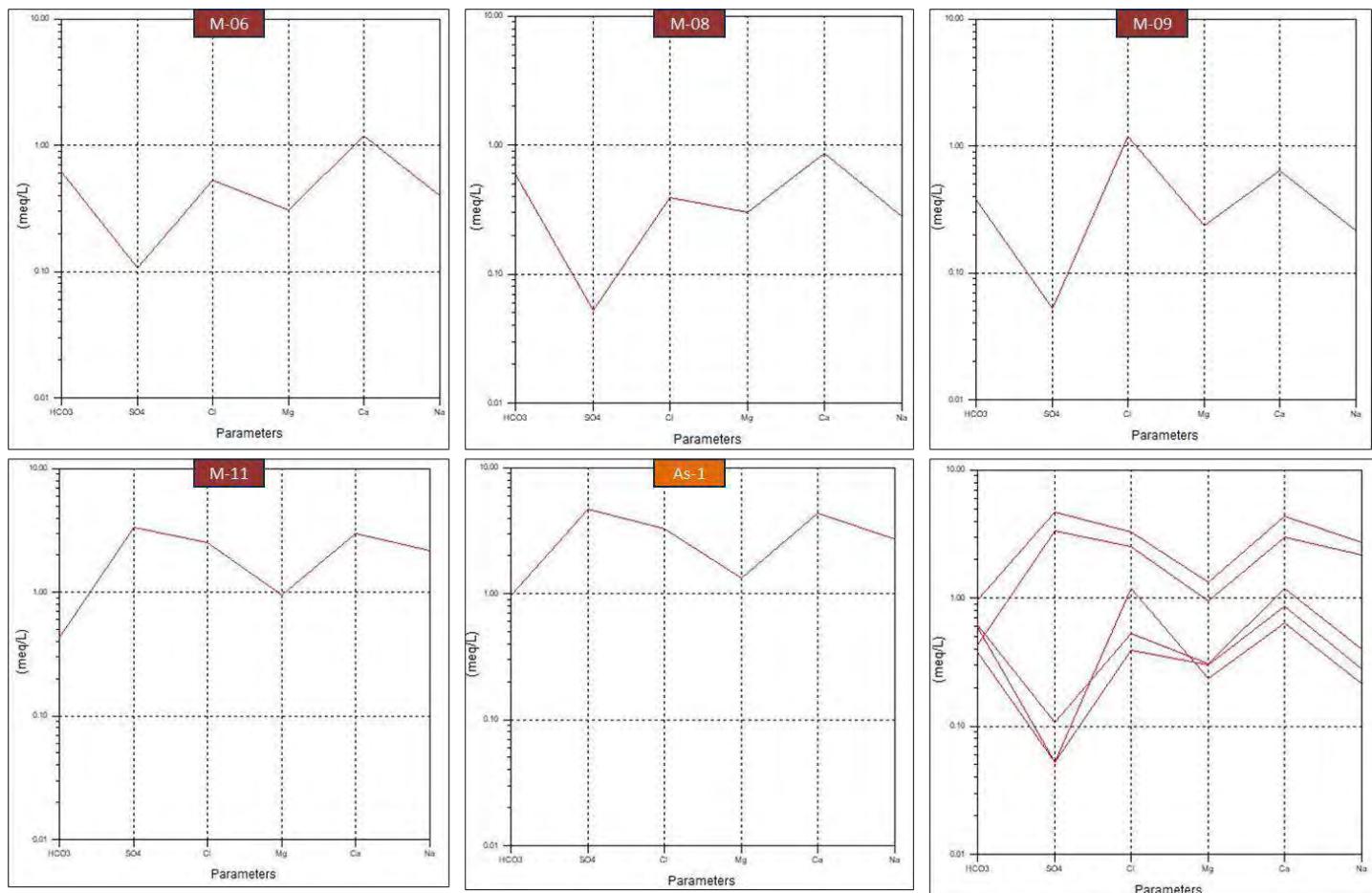


10.1.1.1.2 Diagrama de Schoeller

Los diagramas de Schoeller permiten observar con mayor claridad la tendencia de concentración iónica en cada muestra. En el caso de M-06 y M-08, las curvas presentan un claro predominio de calcio y bicarbonato, confirmando el carácter de aguas de recarga. Por su parte, M-09 y As-1 muestran concentraciones elevadas de cloruros, lo que produce una curva con valores altos en el extremo derecho del gráfico, característica de aguas con influencia salina o evaporítica. En M-11, el incremento significativo de sulfatos y sodio genera una curva ascendente en la zona intermedia del diagrama, reflejando procesos de disolución de minerales sulfatos y evolución química. Estos contrastes confirman la heterogeneidad química del acuífero en época de lluvias.

Figura 48

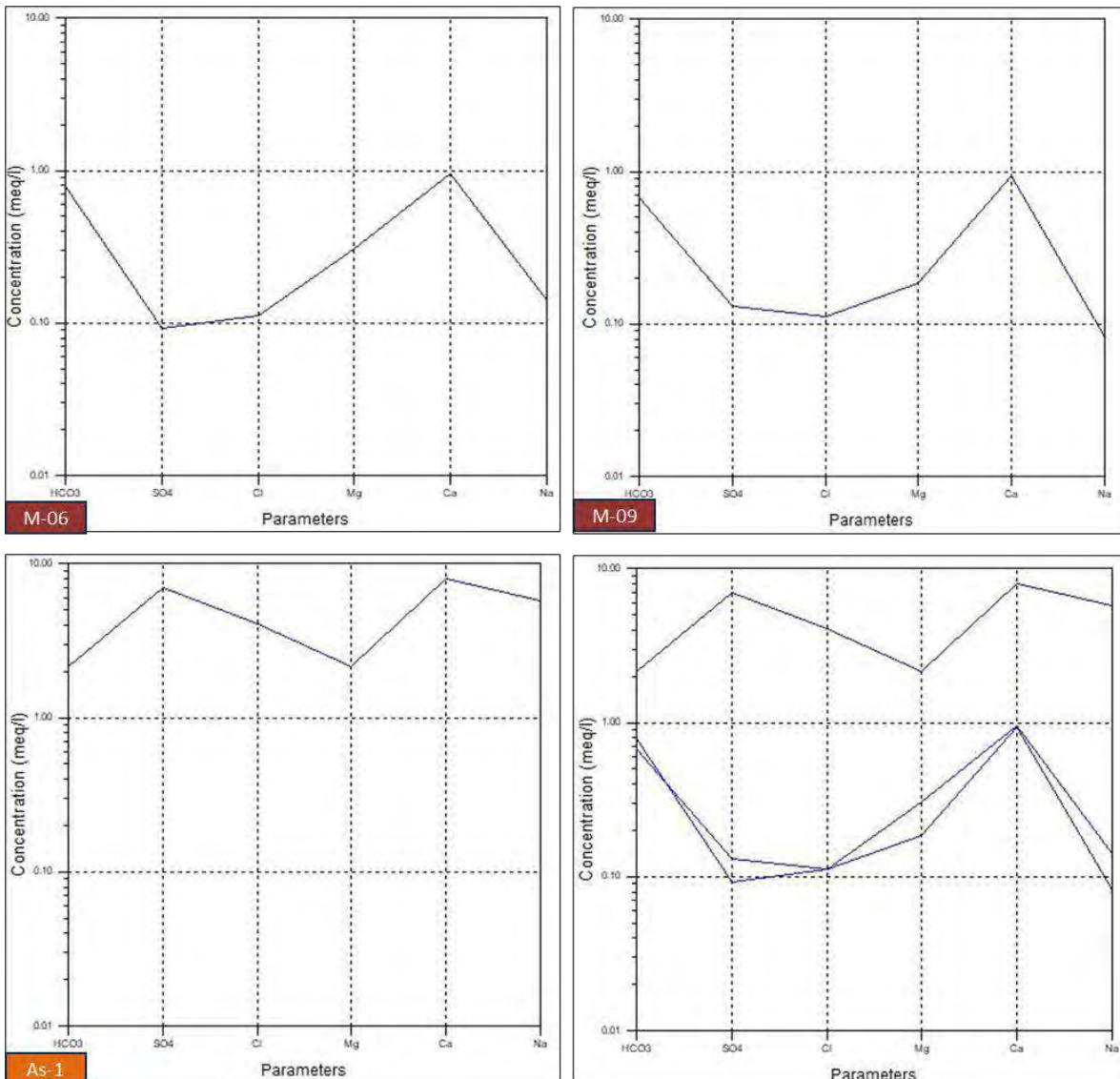
Diagrama de Schoeller – primera campaña (temporada de lluvia).



El diagrama de Schoeller permite identificar las tendencias de concentración iónica en cada muestra. M-06 presenta curvas con predominio de calcio y bicarbonato, confirmando su carácter de agua de recarga reciente. M-09 muestra concentraciones elevadas de sulfato y magnesio, reflejando claramente una interacción con formaciones sulfatadas. As-1 evidencia un aumento en la concentración de cloruros, con predominio de calcio en cationes, lo que sugiere procesos de mezcla con aguas más evolucionadas o influencia de sales en el acuífero. La comparación de las curvas señala una marcada diferencia entre aguas jóvenes y aguas con mayor mineralización.

Figura 49

Diagrama de Schoeller – segunda campaña (temporada de estiaje).



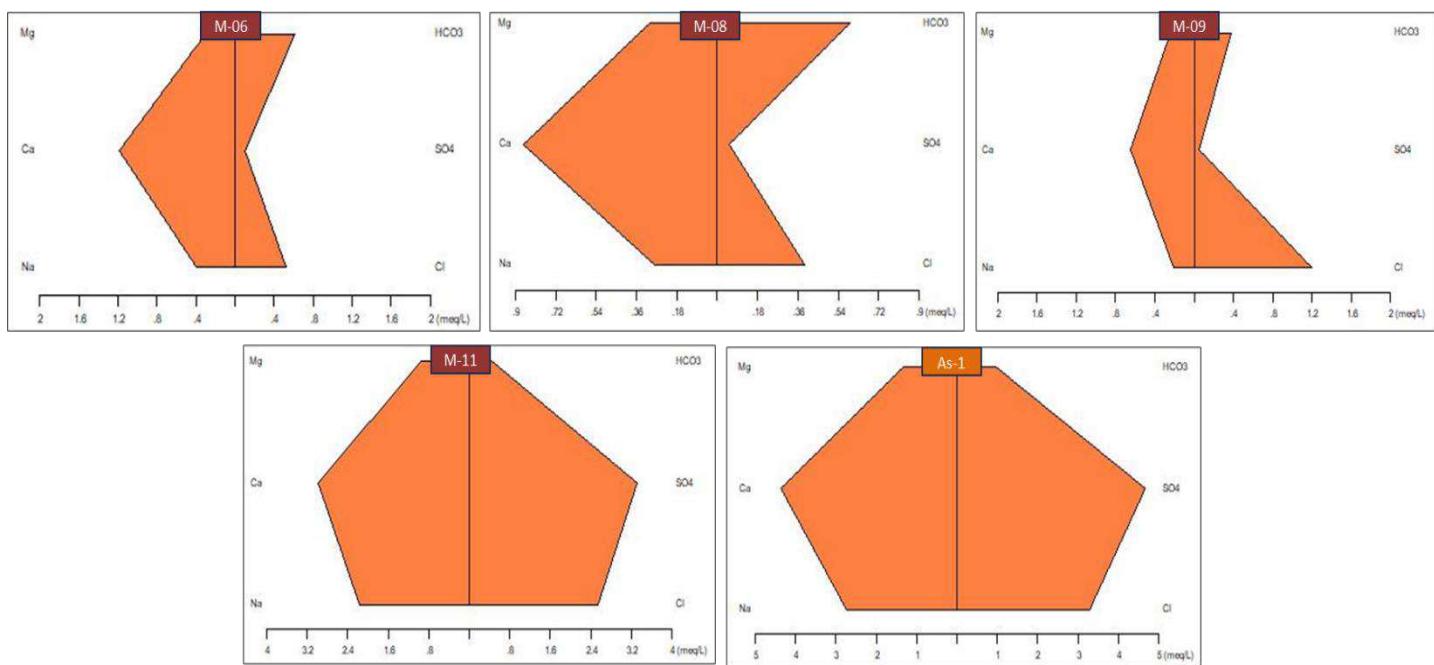
10.1.1.1.3 Diagrama de Stiff

Según este diagrama para las dos campañas de muestreo que se realizaron en el mismo punto, exhiben una forma de flecha apuntando hacia el Ca^{+2} , lo que indica que todos los puntos de muestreo representan un comportamiento consistente como agua de tipo natural, específicamente agua subterránea. Cabe mencionar que coinciden con el diagrama de Piper, ya que para las muestras de la primera y segunda campaña se observa una predominancia de cationes de Ca^{+2} y en caso de aniones para la primera campaña hay mayor concentración de Cl y para la segunda campaña existe mayor concentración de bicarbonato HCO_3^- .

Sin embargo, hay variaciones en los comportamientos que presenta el diagrama de Stiff, debido a que las muestras P1, P2, P3 (primera campaña) y las muestras P2 y P3 (segunda campaña) tienen en mayor proporción los aniones HCO_3^- , así mismo, las muestras P1, P2, P3 (primera campaña) y P2 (segunda campaña) presentan mayor concentración de Cl y P5 una mínima. Las muestras P4 y P5 (primera campaña) y las muestras P1 (segunda campaña) tienen mayor concentración de SO_4^{2-} .

Figura 50

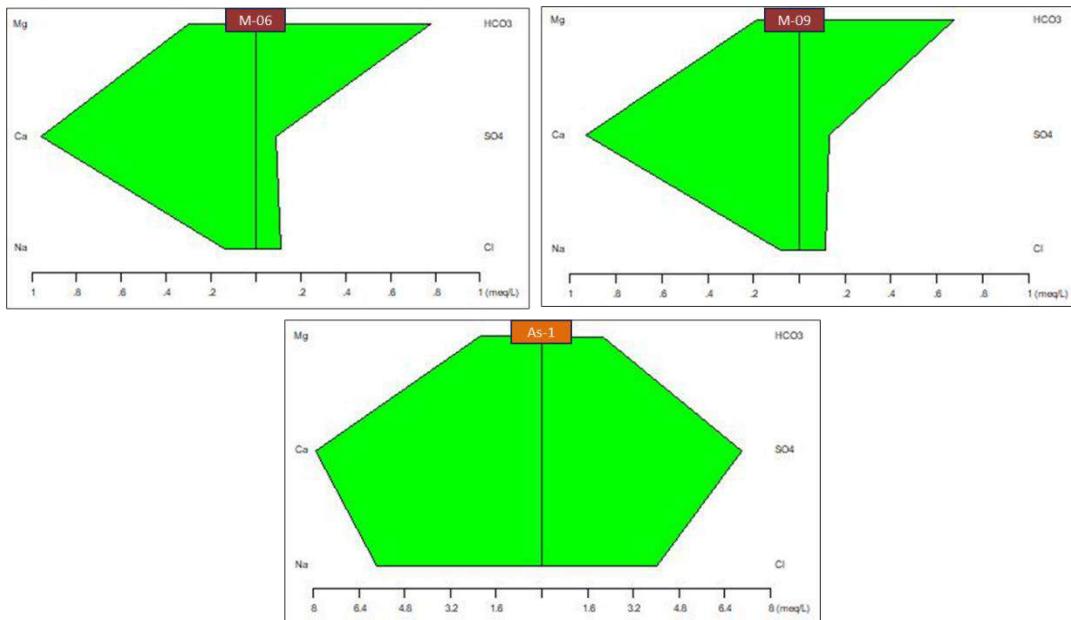
Diagrama de Stiff – primera campaña (temporada de lluvia).



Los diagramas de Stiff refuerzan la clasificación de facies observada. En M-06, la figura se alarga hacia Ca^{2+} y HCO_3^- , característica de aguas bicarbonatadas cárnicas. En M-09, la figura se expande hacia Mg^{2+} y SO_4^{2-} , reflejando un dominio sulfatado magnésico. En As-1, la figura se ensancha hacia Ca^{2+} y Cl^- , lo que confirma el predominio de una facies clorurada cárnea. Las diferencias en las formas de los diagramas permiten visualizar con claridad la heterogeneidad hidroquímica en época de estiaje.

Figura 51

Diagrama de Stiff - segunda campaña (temporada de estiaje).



10.1.1.2 Interpretación hidrogeoquímica a partir de los diagramas de Stiff y Piper

La profundidad de las aguas subterráneas no siempre puede determinarse mediante mediciones directas; sin embargo, la composición química constituye un indicador indirecto del tiempo de residencia y del grado de evolución hidrogeoquímica del agua en el acuífero. Diversos autores señalan que las facies Ca–HCO₃ son características de aguas de recarga reciente y somera, controladas principalmente por la disolución de minerales carbonatados (Appelo & Postma, 2005; Hem, 1985; Freeze & Cherry, 1979). A medida que el flujo avanza y aumenta su tiempo de permanencia en el subsuelo, se producen procesos de intercambio iónico, disolución de evaporitas y mezcla con aguas más evolucionadas, lo que genera facies Na–Cl o con Cl[–] elevado, interpretadas como aguas de mayor “profundidad hidrogeoquímica” o residencia prolongada (Appelo & Postma, 2005).

En este contexto, la “profundidad” se entiende no como una cota absoluta en metros, sino como una **categoría relativa** vinculada a la evolución química del agua:

- **Aguas someras / de recarga** → dominancia de HCO₃[–] y Ca²⁺.

- **Flujos intermedios** → incremento de SO_4^{2-} , mezcla con otras facies, intercambio iónico.
- **Aguas profundas / evolucionadas** → mayor presencia de Cl^- y Na^+ , menor relación $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$.

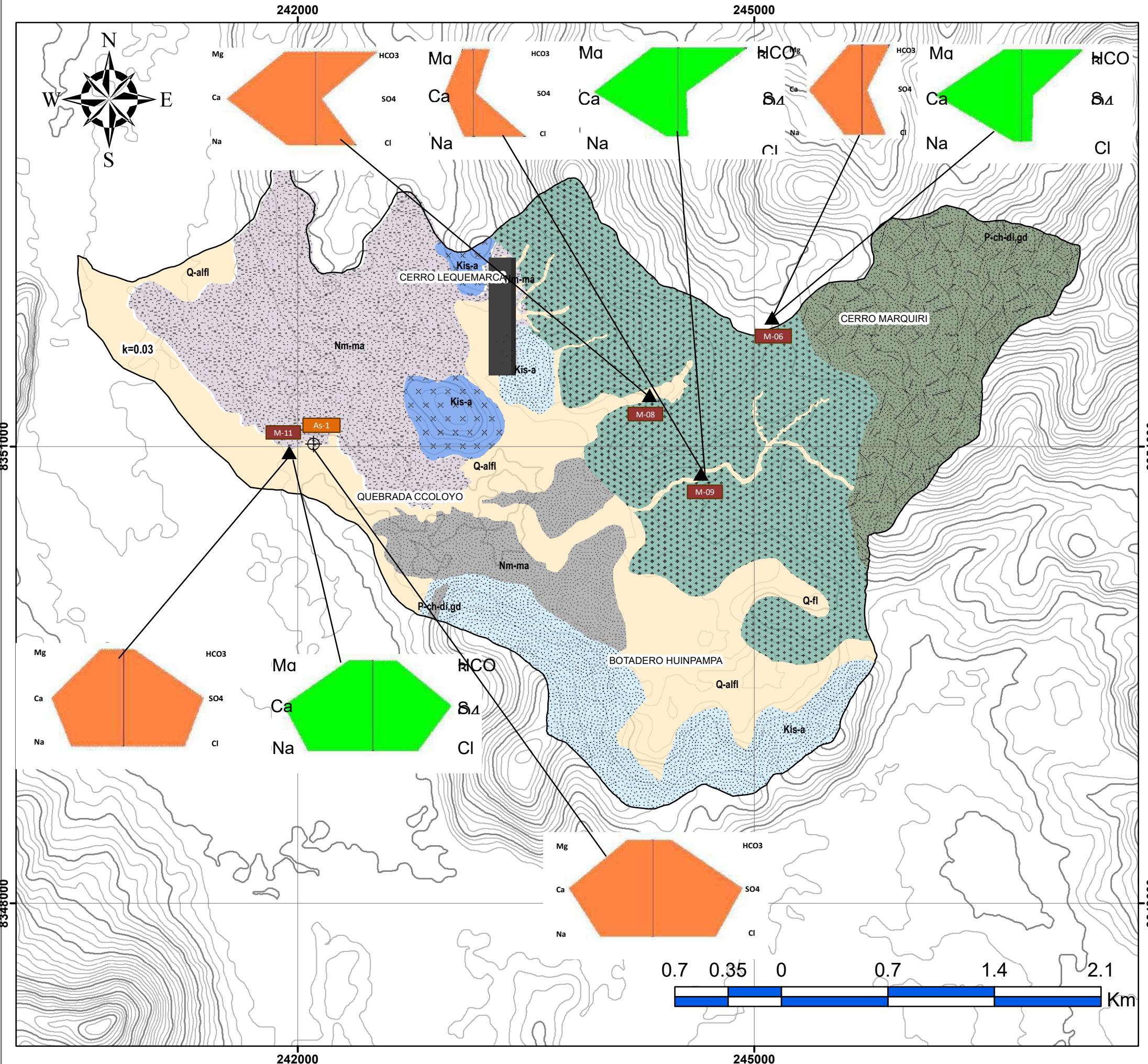
Esta conceptualización permite asociar los resultados de las campañas analizadas con posibles trayectorias de flujo dentro del sistema acuífero.

Los diagramas de Stiff y Piper muestran que en ambas campañas predomina una facies calcica (Ca^{2+}), con cambio del ánion dominante de Cl^- (1.^a campaña) a HCO_3^- (2.^a campaña). Esta transición sugiere mayor influencia de recarga y menor evolución geoquímica en la segunda campaña (i.e., flujo más somero/reciente), en línea con el comportamiento típico de aguas $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ descrito para zonas de recarga. En contraste, la mayor proporción de Cl^- observada en la primera campaña y en puntos específicos (P1, P2, P3) es consistente con tiempos de residencia más largos, posible mezcla con aguas más evolucionadas o aporte evaporítico/antrópico, rasgos comúnmente asociados a tramos más “profundos” en sentido hidrogeoquímico.

Las muestras P1, P2 y P3 (1.^a) y P2 y P3 (2.^a), con HCO_3^- elevado, indican interacción con materiales carbonatados y recarga relativamente cercana. Por su parte, las concentraciones elevadas de SO_4^{2-} en P4 y P5 (1.^a) y P1 (2.^a) podrían estar vinculadas a disolución de yeso/anhidrita o a oxidación de sulfuros, procesos que pueden ocurrir en trayectos de flujo intermedios o bajo condiciones más oxidantes.

En conjunto, la facies dominante $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ y el aumento relativo de HCO_3^- en la segunda campaña respaldan la presencia de componentes de flujo somero; mientras que los picos de Cl^- y SO_4^{2-} señalan sectores con mayor evolución y posible mayor “profundidad” hidrogeoquímica. Estas inferencias se basan en relaciones facies–profundidades reportadas en la literatura y deben considerarse relativas, dado que no se cuentan con trazadores ambientales/edades ni niveles piezométricos que permitan cuantificar profundidades absolutas.

Figura 52
Mapa de diadráma de Stiff de elementos mayoritarios



LEYENDA

Unidades Hidrogeológicas

- Acucluye sedimentario Grupo Maure
- Acuitardo Formación Choquechambe
- Acuitardo sedimentario Grupo Maure
- Acuífero fisurado Formación Choquechambe
- Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina
- Acuífero kárstico sedimentario Arcurquina
- Acuíferos porosos no consolidados

- MA → Agua subterránea
ESP → Agua-canaleta

Simbología

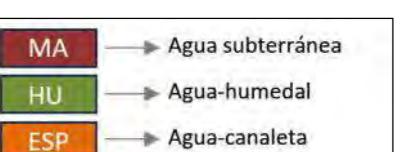
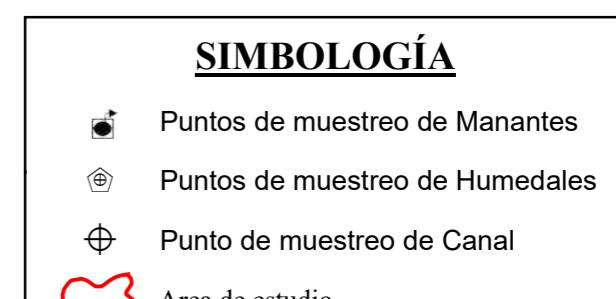
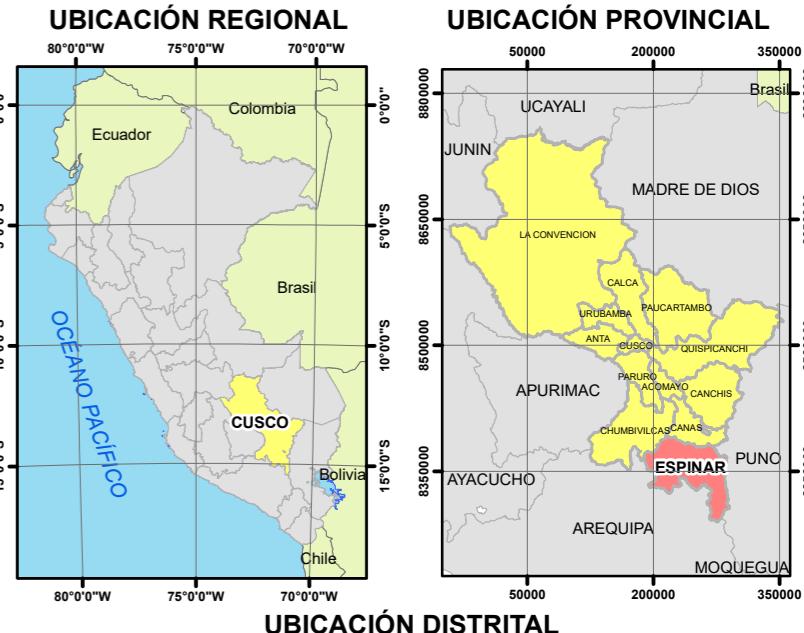
- Área de estudio
 - Puntos de muestreo de manantiales
 - Puntos de muestreo de humedales
- Curvas de nivel
- Curvas secundarias
 - Curvas principales

REFERENCIA GEOGRÁFICA

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -69.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"	
MAPA DE DIÁGRAMA DE STIFF	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 52

Figura 53
Mapa de parámetros fisicoquímicos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:
"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA
DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"

MAPA DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	DATUM: WGS84 ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 53

10.1.2. Elementos Minoritarios

10.1.2.1 Metodología

La interpretación hidroquímica en la microcuenca de Ccoyolo tiene como finalidad analizar el movimiento del agua subterránea, considerando su función como medio de transporte de características fisicoquímicas, químicas, isotópicas y ambientales. El estudio de la distribución espacial y de la variabilidad de estos parámetros permite identificar e interpretar los procesos de recarga, circulación, almacenamiento y descarga dentro del sistema acuífero.

En esta sección, primero se presenta un mapa temático que muestra los elementos con mayor presencia en el área de estudio. Posteriormente, se desarrolla la comparación de cada parámetro analizado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, a fin de evaluar su cumplimiento y establecer posibles riesgos.

El análisis integral de la calidad del agua se realizó considerando todas las fuentes que conforman el sistema acuífero, con el objetivo de establecer una línea base ambiental e identificar posibles focos de contaminación o impactos asociados a actividades humanas. Investigaciones previas en cuencas similares del Perú destacan la importancia de integrar la caracterización hidroquímica con evaluaciones de riesgo ambiental como estrategia fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos (López et al., 2014; Vargas et al., 2016; Delgado et al., 2017).

Ante la ausencia de una normativa nacional específica para aguas subterráneas, se emplearon como referencias la Guía Canadiense de Remediación de Suelos y Aguas Subterráneas de Nivel 1 de Alberta, así como los valores guía e intervención de la normativa holandesa (2000), que establecen concentraciones de referencia para metales en suelos, sedimentos y aguas subterráneas.

10.1.2.2 Ubicación de los puntos de muestreo

Con el objetivo de identificar la presencia y comportamiento de elementos minoritarios en el agua, se realizó el análisis de metales totales para las temporadas de lluvias y estiaje (ver tabla 50). Para la época de lluvias, se consideró la toma de cinco muestras, seleccionadas en zonas representativas que presentaban mejores condiciones tanto de acceso como de caudal disponible. Posteriormente, se procedió a realizar la comparación de estos mismos puntos durante la temporada de estiaje. Sin embargo, solo fue posible recolectar muestras en tres puntos, debido a que los demás no contaban con caudal en ese periodo, producto de la falta de recarga hídrica asociada a la disminución de precipitaciones.

Tabla 50

Ubicación de los Puntos de Muestreo de las dos campañas.

Nro. Muestra	Código de Muestra	Este	Oeste	Temporada de lluvia	Temporada de estiaje	
P-1	IRHS 08.08.01-MA-06	245118	8351849	X	X	Subterránea
P-2	IRHS 08.08.01-MA-09	244651	8350823	X	X	Subterránea
P-3	IRHS 08.08.01-MA-08	244312	8351339	X		Subterránea
P-4	ESP-AS-1	242104	8351017	X		Subterránea
P-5	IRHS 08.08.01-MA-11	241944	8350965	X	X	Superficial

Fuente: Propia

10.1.2.3 Resultados elementos con mayor concentración

Los resultados analíticos obtenidos muestran que elementos como aluminio, berilio, cadmio, cobalto, mercurio, níquel, plomo, selenio y arsénico se encuentran en su mayoría por debajo del límite de detección del equipo ICP, tanto en época de lluvias como de estiaje, lo cual indica su presencia en niveles de ultratrazas, sin mayor implicancia ambiental para la zona evaluada.

En cuanto a los elementos que sí presentaron concentraciones cuantificables, se identificaron los siguientes:

- **Bario:** Se detectó en todas las muestras durante época de lluvias, con valores entre **0.0234** y **0.0571 mg/L**, y en menor concentración durante el estiaje (hasta **0.015 mg/L**), reflejando una leve disminución posiblemente relacionada a la reducción del caudal y menor movilización de minerales.
- **Boro:** Presentó valores entre **0.152** y **0.246 mg/L** en lluvias y hasta **0.457 mg/L** en estiaje, con una marcada disminución durante la época seca.
- **Cobre:** Se registraron concentraciones entre **0.0101** y **0.0152 mg/L** en lluvias, disminuyendo a valores inferiores a **0.0014 mg/L** en estiaje.
- **Hierro:** Fue uno de los elementos con mayor variabilidad. Durante lluvias se observó un rango de **0.126 a 0.266 mg/L**, mientras que en estiaje alcanzó una concentración de **1.251 mg/L** en el punto IRHS 08.08.01-MA-09, lo que podría indicar procesos de oxidación de minerales férricos en condiciones de bajo caudal.
- **Manganeso:** Mostró una concentración elevada en estiaje (**hasta 0.0062 mg/L**), mientras que en lluvias se mantuvo en el rango de **0.0104 a 0.0346 mg/L**.
- **Zinc:** Se registró en concentraciones entre **0.0172** y **0.0231 mg/L** en época de lluvias, mientras que en estiaje bajó hasta niveles menores a **0.0005 mg/L**.

Estos resultados reflejan una posible concentración relativa de metales durante el estiaje debido a la reducción del volumen de agua, lo cual tiende a aumentar la concentración de elementos disueltos, especialmente aquellos asociados a procesos naturales de disolución de minerales en el suelo y roca.

En el mapa hidroquímico se presentan diagramas de barras que muestran los rangos de concentración de los elementos que tuvieron mayor presencia. En general, las concentraciones más elevadas se observaron durante el estiaje para algunos elementos como hierro y manganeso, principalmente en los puntos donde el caudal aún persistía.

Fotografía 25

Muestreo de agua en los puntos identificados correspondiente a la temporada de estiaje.



Fotografía 26

Muestreo de agua en los puntos identificados correspondiente a la temporada de lluvias.



10.1.2.4 Comparación con los ECA para agua

En la Tabla 51, se presenta la codificación de las muestras analizadas en el laboratorio. A continuación, se comparan los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua correspondientes a la subcategoría D1 (riego de vegetales y bebida de animales), según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

Tabla 51

Codificación de laboratorio de muestras de ensayo (para más detalle ver anexo 1).

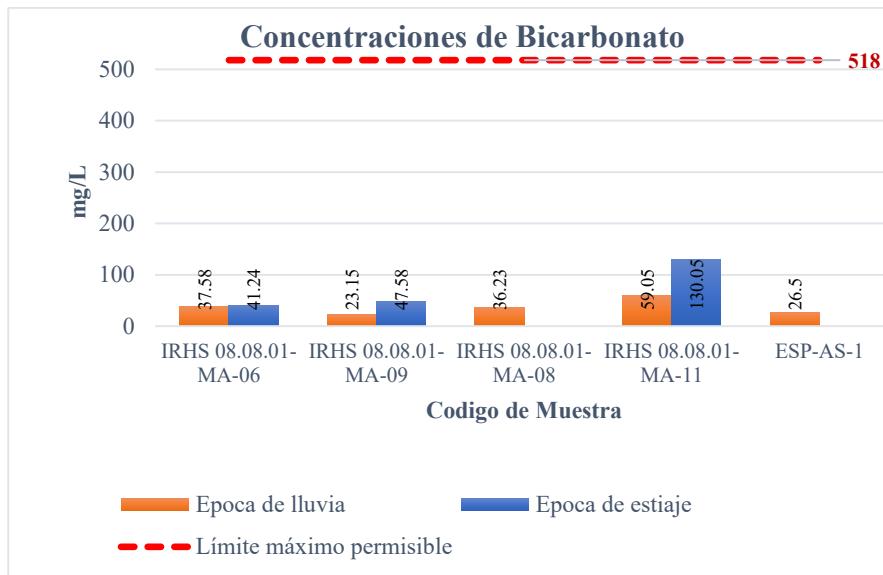
Nro. de muestra	Código Laboratorio	Fecha de Ensayo
Temporada de lluvia	P-1	0116-2024
	P-2	0117-2024
	P-3	0118-2024
	P-4	0119-2024
	P-5	0120-2024
Temporada de estiaje	P-1	0637A - 2024
	P-2	0637B - 2024
	P-3	0637C - 2024

Fuente: Propia.

A continuación, se muestran las figuras que ilustran la distribución de estos componentes en las muestras analizadas durante las dos campañas (época de estiaje y época de lluvias).

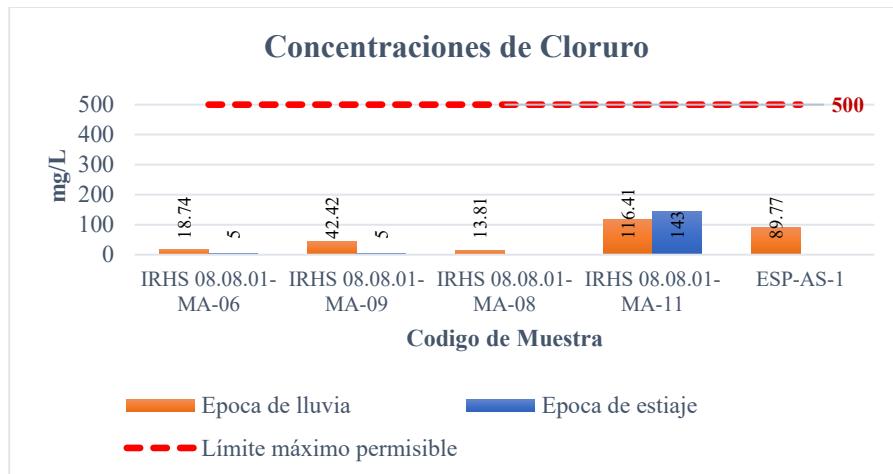
Figura 54

Concentraciones de Bicarbonato.



Según lo mostrado en la figura 54, las muestras identificadas con los códigos IRHS 08.08.01-MA-11, IRHS 08.08.01-MA-09 e IRHS 08.08.01-MA-06 presentan las mayores concentraciones de bicarbonato durante la época de estiaje, registrando valores de 130.05 mg/L, 47.58 mg/L y 41.24 mg/L, respectivamente. En contraste, durante la época de lluvia, estas mismas muestras muestran concentraciones más bajas: 59.05 mg/L, 23.15 mg/L y 37.58 mg/L. Por otro lado, la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-09 presenta la menor concentración de bicarbonato en la época de lluvia, con un valor de 23.15 mg/L. Es importante destacar que todas las muestras registran concentraciones por debajo del Límite Máximo Permisible.

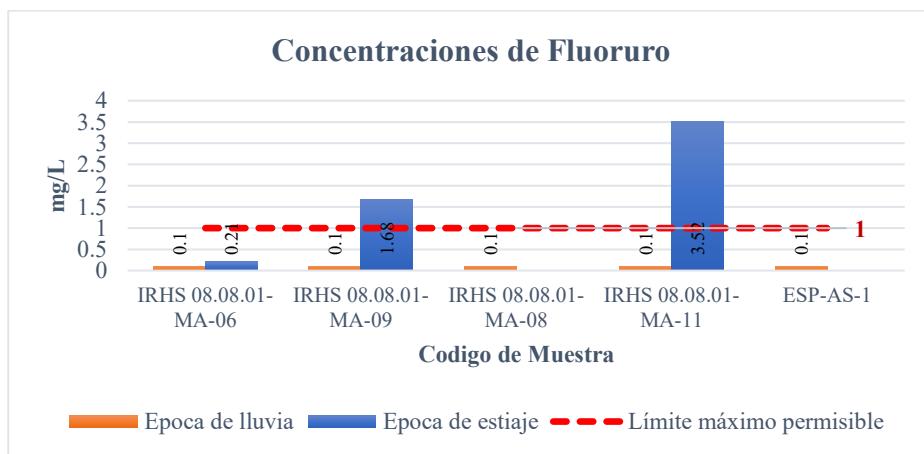
Figura 55
Concentraciones de Cloruros.



Nota: Los valores de 5 corresponden a concentraciones de cloruro inferiores a <5.

De acuerdo con la figura 55, la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-11 presenta la mayor concentración de cloruro durante la época de estiaje, con un valor de 143 mg/L, mientras que en la época de lluvia dicha concentración disminuye a 116.41 mg/L. En cuanto a las muestras IRHS 08.08.01-MA-09 e IRHS 08.08.01-MA-06, ambas registran mayores concentraciones de cloruro en la época de lluvia, con valores de 42.42 mg/L y 18.74 mg/L, respectivamente, ya que durante las lluvias presentan concentraciones inferiores a 5 mg/L. Es importante señalar que todas las muestras analizadas se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo establecido en la normativa vigente.

Figura 56
Concentraciones de Fluoruros.



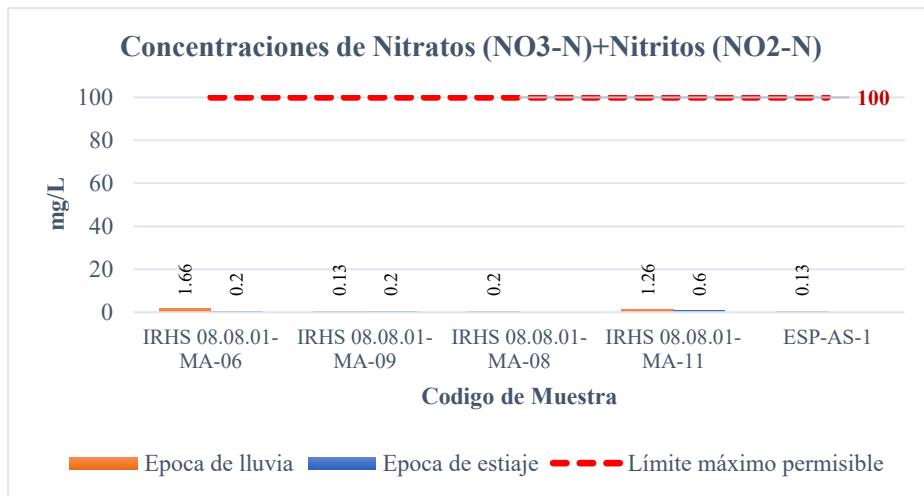
Nota: Los valores de 0.1 corresponden a concentraciones de fluoruro inferiores a <0.10.

Según la figura 56, excede los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017 MINAM y los Límites Máximos Permisibles (LMP) los códigos de muestra IRHS 08.08.01-MA-11 y IRHS 08.08.01-MA-09 correspondiente a la época de estiaje. Por lo tanto, no cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Sin embargo, el código de muestra IRHS 08.08.01-MA-06 tiene mayor concentración en época de lluvia con 0.21 mg/L, mientras que para los demás se obtuvieron valores menores a 0.1 mg/L.

Figura 57

Concentraciones de Nitratos (NO₃ - N) +Nitritos (NO₂ - N).

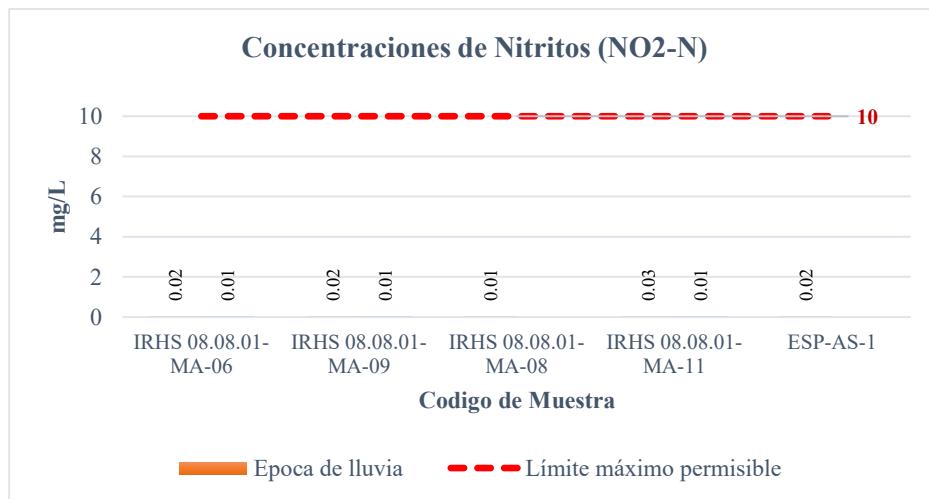


Nota: Los valores de 0.2 corresponden a concentraciones de Nitratos (NO₃⁻-N) + Nitritos (NO₂⁻-N) por debajo de <0.20 mg/L.

Según la figura 57, las mayores concentraciones de Nitratos + Nitritos durante la época de lluvia se registraron en las muestras con códigos IRHS 08.08.01-MA-11 e IRHS 08.08.01-MA-06, con valores de 1.26 mg/L y 1.66 mg/L, respectivamente. En la época de estiaje, estas concentraciones disminuyen a 0.60 mg/L y <0.20 mg/L. La muestra IRHS 08.08.01-MA-09 presentó concentraciones inferiores a 0.20 mg/L en ambas épocas. Por otro lado, las muestras IRHS 08.08.01-MA-09 y ESP-AS-1 registraron concentraciones de 0.13 mg/L durante la época de lluvias.

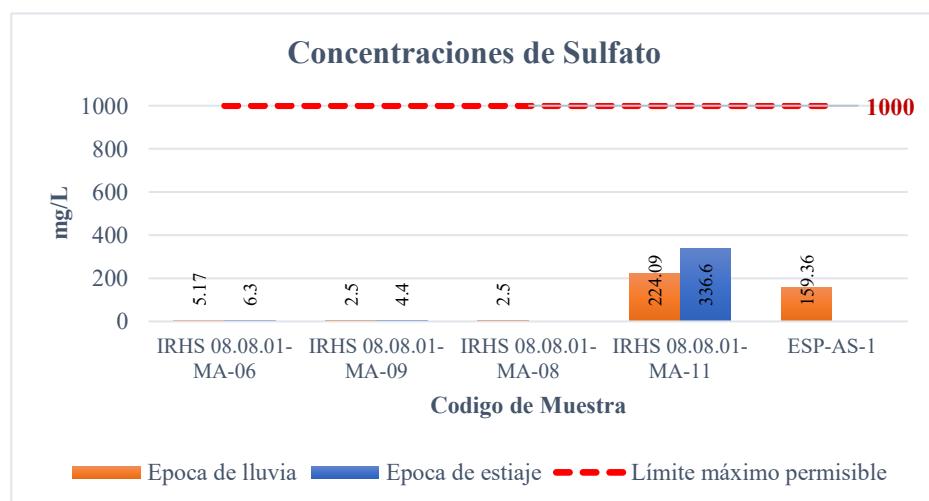
Es importante destacar que todas las concentraciones se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible, cumpliendo así con lo establecido por la normativa vigente.

Figura 58
Concentraciones de Nitritos (NO₂ -N).



Según la identificación de concentraciones de Nitritos se analizaron muestras solo para la época de lluvias, donde la mayor concentración tiene el código de muestra IRHS 08.08.01-MA-11 con 0.03 mg/L y la menor concentración tiene la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-09 con 0.01 mg/L. Cabe mencionar que estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 59
Concentraciones de Sulfatos.



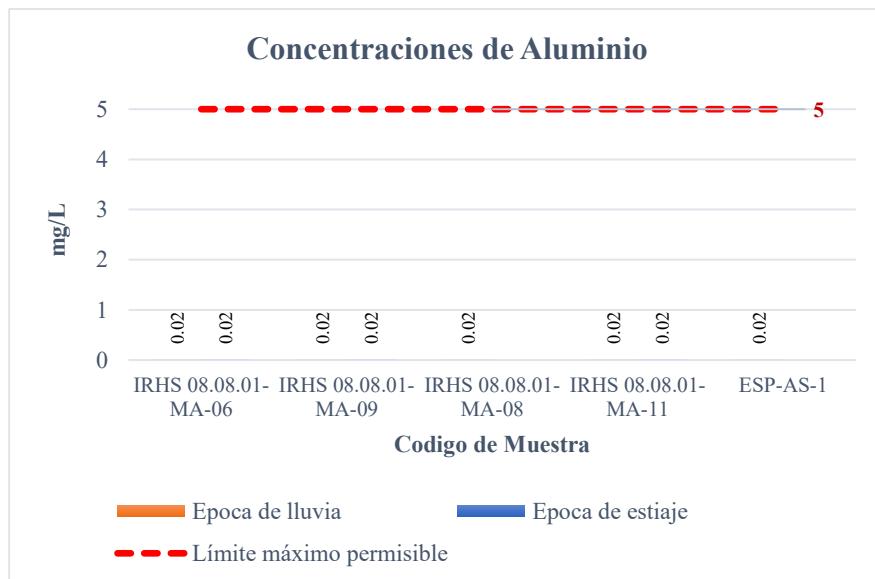
Nota: Los valores de 2.5 corresponden a concentraciones de sulfatos inferiores a <2.5.

Las concentraciones de Sulfatos según la figura 59 tienen mayor relevancia el código de muestra IRHS 08.08.01-MA-11, ya que para la época de estiaje tiene concentraciones de 336.6 mg/L y en la época de lluvia concentraciones de 224.09 mg/L. Además, la muestra ESP-AS-1 tiene concentraciones de 159.36 mg/L correspondiente a la época de lluvia. Por otro lado, las muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

10.1.2.4.1 Metales Totales

A continuación, se muestran las figuras que detallan la distribución de estos componentes en las muestras analizadas. Es importante señalar que los ensayos se realizaron en dos campañas distintas, correspondientes a la época de estiaje y la época de lluvias.

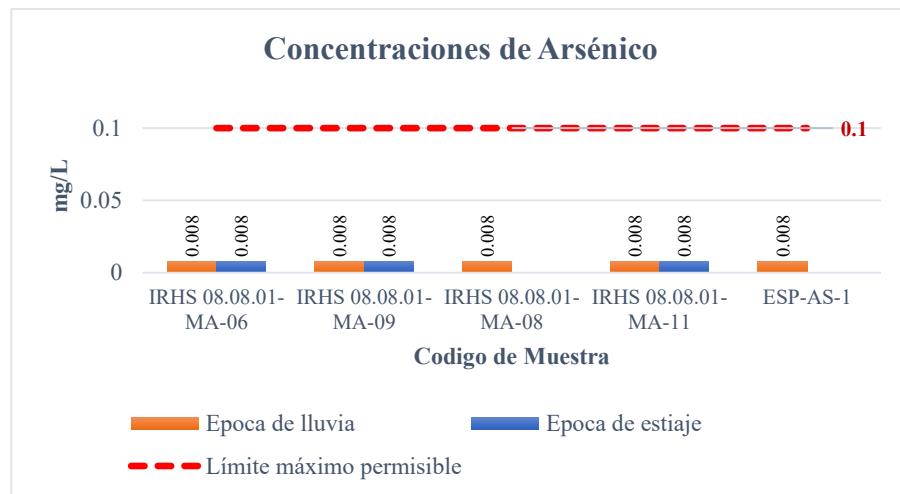
Figura 60
Concentraciones de Aluminio.



Nota: Los valores de 0.02 corresponden a concentraciones de Aluminio inferiores a <0.02.

Según la figura 60, las concentraciones de aluminio se registraron inferiores a <0.02 en ambas temporadas, por lo que todas las muestras analizadas muestran niveles de aluminio por debajo del Límite Máximo Permisible, en consecuencia se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente.

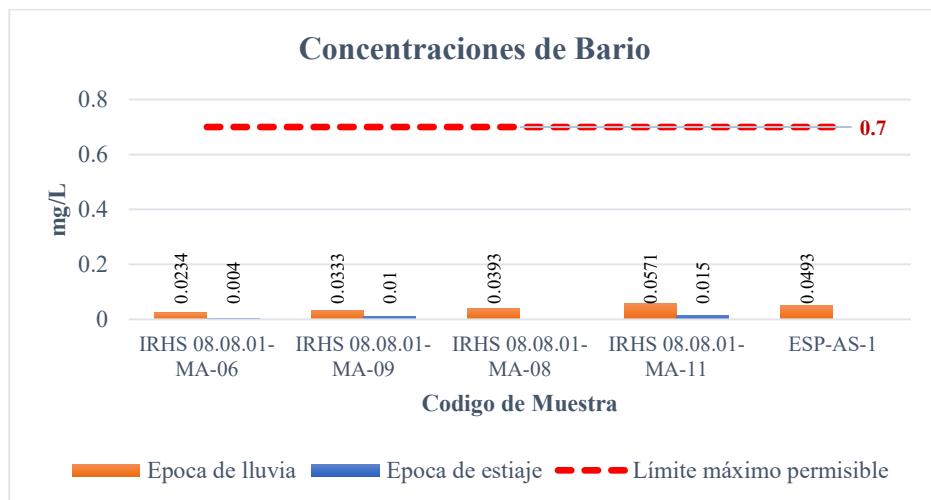
Figura 61
Concentraciones de Arsénico.



Nota: Los valores de 0.008 corresponden a concentraciones de Arsénico inferiores a <0.008.

En cuanto a las concentraciones de Arsénico según las evaluaciones para todas las muestras serán las concentraciones menores a 0.008 mg/L. Sin embargo, estas se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

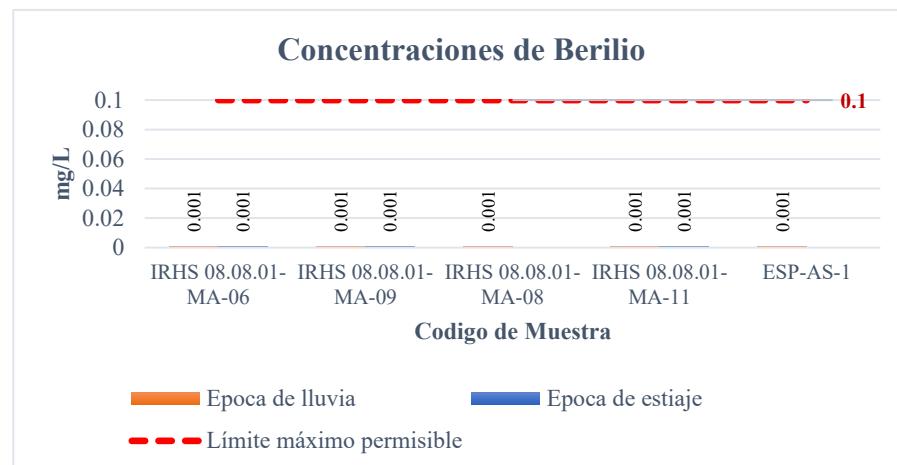
Figura 62
Concentraciones de Bario.



Según la figura 62 las concentraciones de Bario son mayores a 0.0234 mg/L para las muestras en la “época de lluvia” y menores a 0.01 mg/L las muestras en “época de estiaje”. Por

otro lado, las muestras analizadas se encuentran con concentraciones de Bario menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

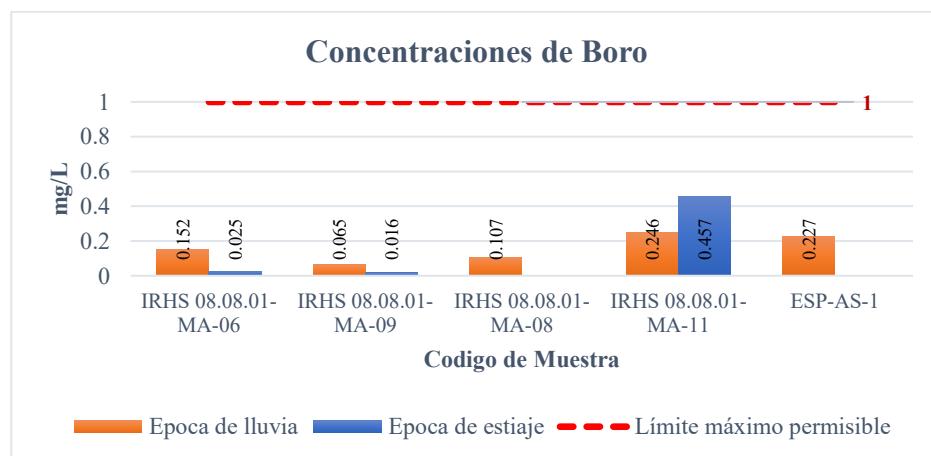
Figura 63
Concentraciones de Berilio.



Nota: Los valores de 0.001 corresponden a concentraciones de Berilio inferiores a <0.001.

En relación con las concentraciones de berilio, los resultados de las evaluaciones indican que en todas las muestras, tanto en la época de lluvias como en la de estiaje, los niveles fueron inferiores a 0.001 mg/L. Asimismo, dichas concentraciones se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible, cumpliendo con los valores establecidos por la normativa vigente.

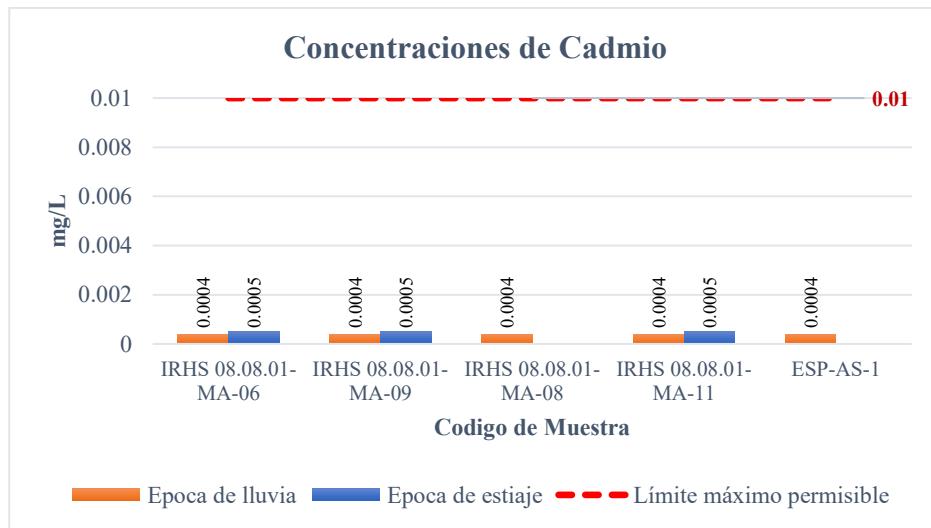
Figura 64
Concentraciones de Boro.



Según la figura 64 la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-11 presenta la mayor concentración de boro, con un valor de 0.457 mg/L durante la época de estiaje y 0.246 mg/L en la época de lluvias. Le sigue la muestra ESP-AS-1, con una concentración de 0.227 mg/L correspondiente a lluvias, así como las muestras IRHS 08.08.01-MA-06, IRHS 08.08.01-MA-08 e IRHS 08.08.01-MA-09, cuyas concentraciones son menores. No obstante, todas las muestras analizadas presentan niveles de boro por debajo del Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo establecido en la normativa vigente.

Figura 65

Concentraciones de Cadmio.

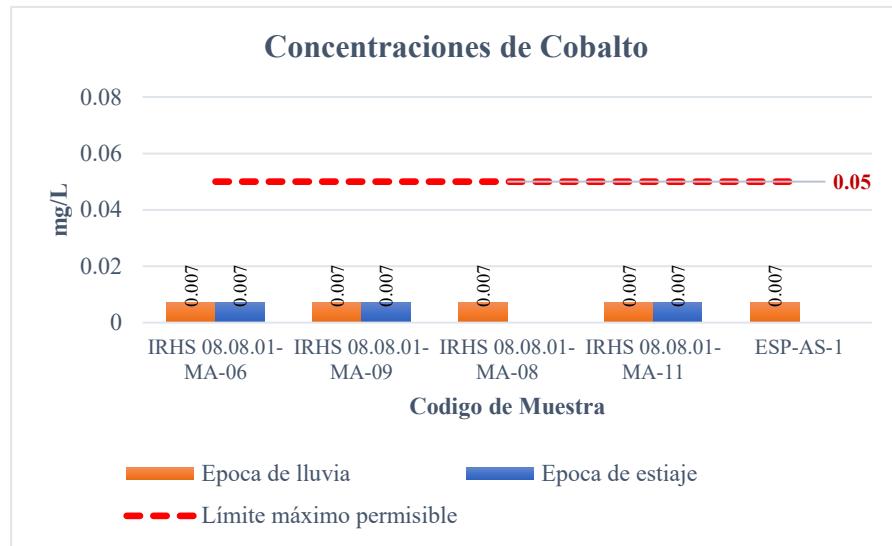


Nota: Los valores de 0.004 y 0.005 corresponden a concentraciones de Cadmio inferiores a <0.004 y <0.005.

La figura 65 muestra que las concentraciones de cadmio fueron inferiores a 0.0004 mg/L durante la época de lluvias y menores a 0.0005 mg/L en la época de estiaje. Cabe resaltar que estos valores se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con los estándares establecidos por la normativa vigente.

Figura 66

Concentraciones de Cobalto.

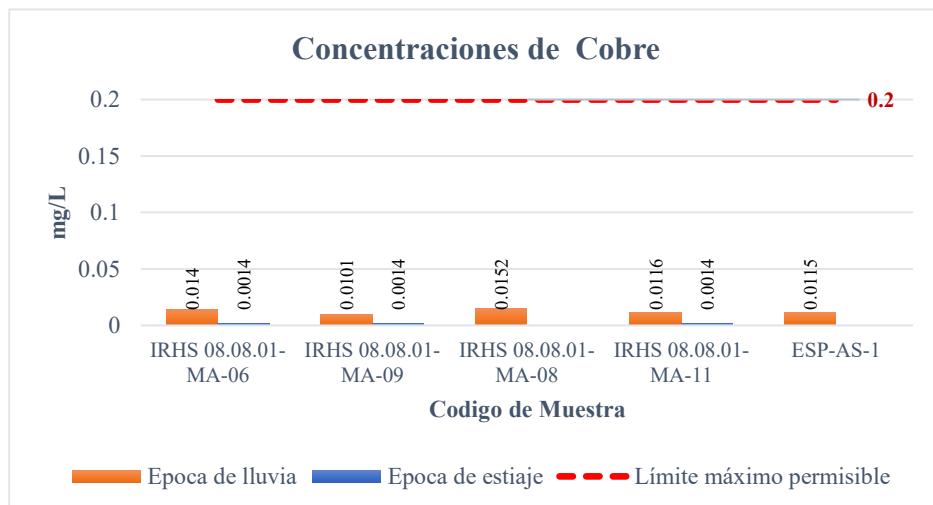


Nota: Los valores de 0.007, 0.07 y 0.009 corresponden a concentraciones de Cobalto inferiores a <0.007.

De acuerdo con la figura 66, todas las muestras registran valores por debajo de 0.007 mg/L tanto en época de lluvias como en estiaje, por lo que cumplen valores de acuerdo a la normativa.

Figura 67

Concentraciones de Cobre.

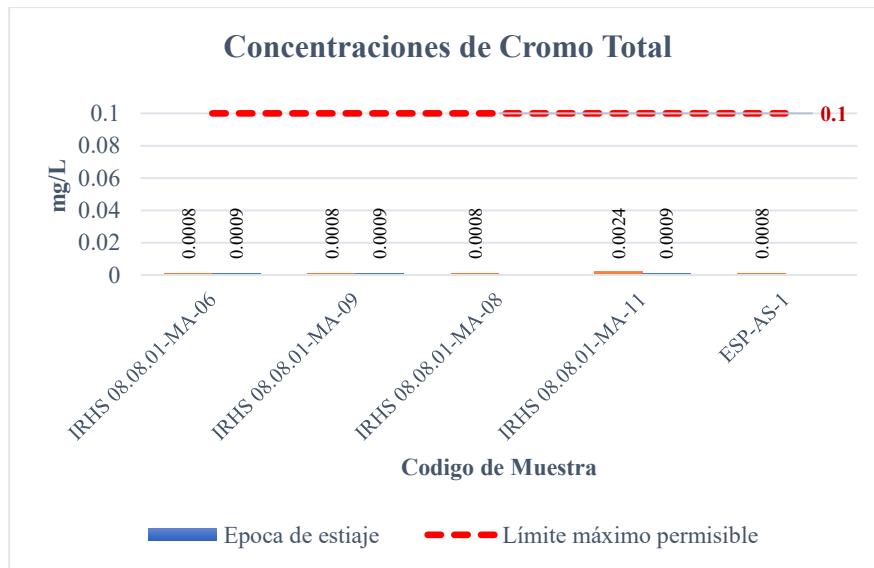


Nota: Los valores de 0.001 y 0.0014 corresponden a concentraciones de Cobre inferiores a <0.001 y <0.0014.

Según la figura 67 tienen la mayor concentración de Cobre las muestras correspondientes a la época de lluvias, mientras que las muestras correspondientes a la época de estiaje presentan concentraciones debajo de los 0.0014 mg/L. Sin embargo, estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 68

Concentraciones de Cromo Total.

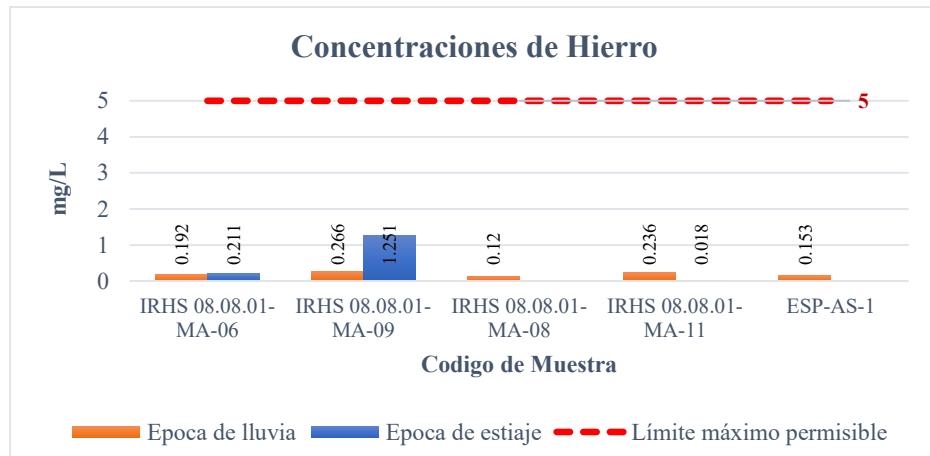


Nota: Los valores de 0.0008 y 0.0009 corresponden a concentraciones de Cromo total inferiores a <0.0008 y <0.0009.

De acuerdo con la figura 68, las muestras presentan concentraciones de cromo total inferiores a 0.0009 mg/L en ambas temporadas. Estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 69

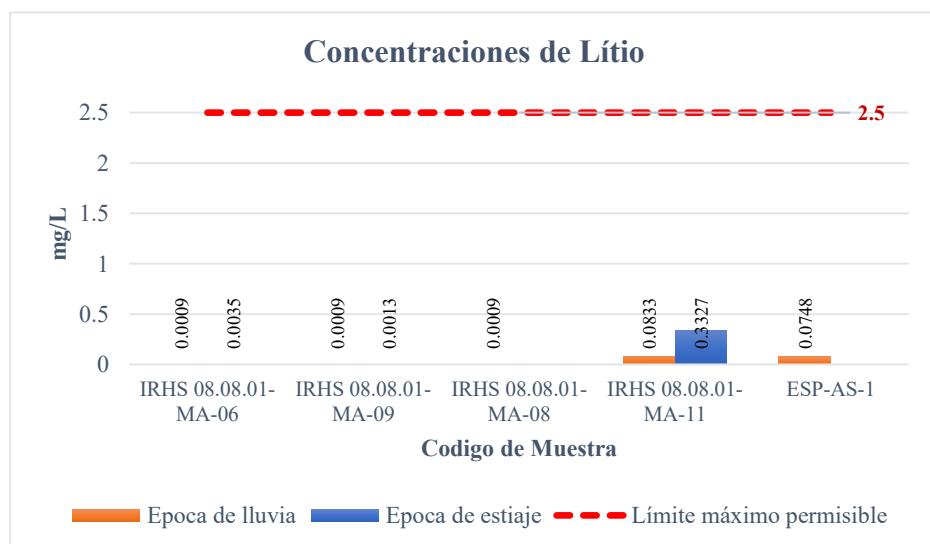
Concentraciones de Hierro.



Según la figura 69 las concentraciones de Hierro para la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-09 son mayores en la época de estiaje con 1.251 mg/L y menores en época de lluvia con 0.266 mg/L, seguido de la muestra IRHS 08.08.01-MA-06 con 0.211 mg/L en época de estiaje y 0.192 mg/L en época de lluvia, luego la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-11 con 0.236 mg/L en época de lluvia y en menor concentración en época de estiaje con 0.0018 mg/L, por último, la muestra ESP-AS-1 con 0.153 mg/L para la época de lluvia. Cabe mencionar que estas muestras se encuentran con concentraciones de Hierro menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 70

Concentraciones de Litio.

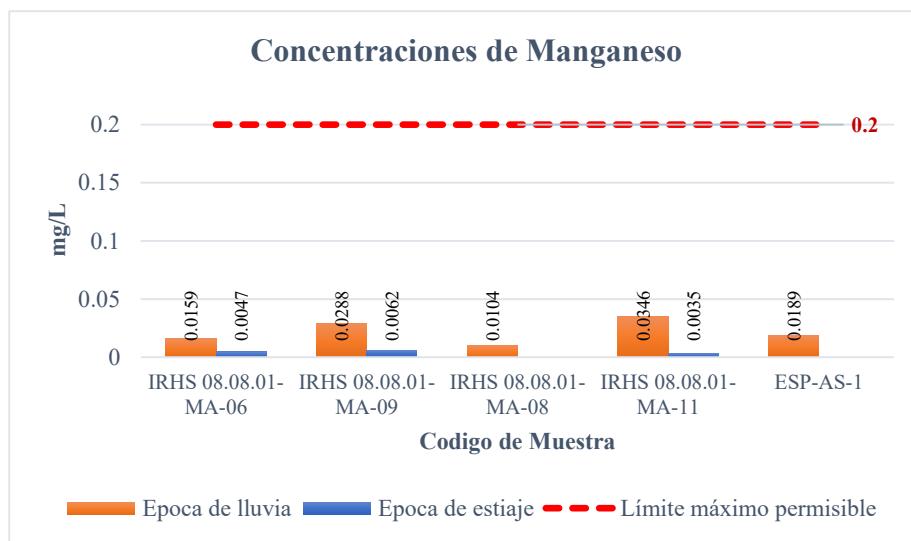


Nota: Los valores de 0.0009 corresponden a concentraciones de Litio inferiores a <0.0009.

Según la figura 70 la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-11 se tiene mayor concentración de Litio en la época de estiaje con 0.3476 mg/L y son menores en época de lluvia con 0.0833 mg/L, seguido de la muestra ESP-AS-1 con 0.0748 mg/L correspondiente a la época de lluvia. Las muestras con códigos IRHS 08.08.01-MA-06 y IRHS 08.08.01-MA-08 para la época de estiaje tiene concentraciones de 0.0042 y 0.0021 mg/L respectivamente, mientras que para la época de lluvia las concentraciones son menores a 0.0009 mg/L, además las muestra IRHS 08.08.01-MA-09 también tiene concentraciones menores a 0.0009 mg/L en la época de lluvia. Cabe mencionar que estas muestras se encuentran con concentraciones de Litio menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 71

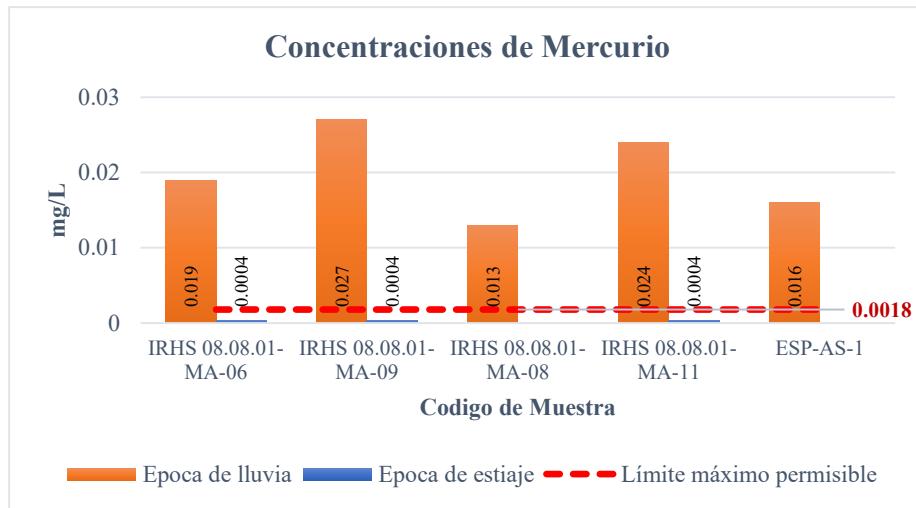
Concentraciones de Manganese.



Según la figura 71, la muestra IRHS 08.08.01-MA-08 presenta las concentraciones más altas de manganeso durante la época de estiaje, con un valor de 0.0672 mg/L, mientras que en la época de lluvia registra un valor menor de 0.0104 mg/L. Le sigue la muestra IRHS 08.08.01-MA-06, con 0.0293 mg/L en estiaje y 0.0159 mg/L en lluvia. En cambio, la muestra IRHS 08.08.01-MA-11 muestra una concentración más elevada en época de lluvia (0.0346 mg/L) en comparación con la época de estiaje (0.0039 mg/L). Por su parte, la muestra IRHS 08.08.01-MA-09 alcanza

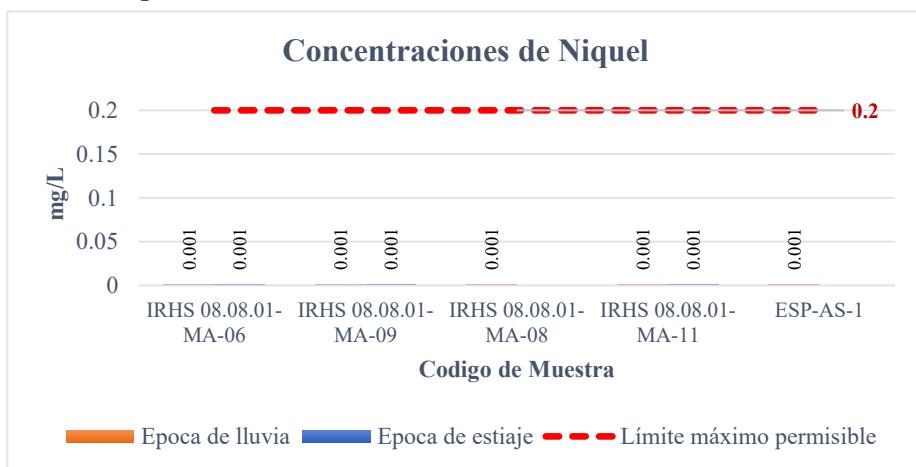
0.0288 mg/L en lluvia, mientras que la menor concentración se registró en la muestra ESP-AS-1, con 0.0189 mg/L en la misma temporada. Es importante destacar que todas las muestras presentan niveles de manganeso por debajo del Límite Máximo Permisible, cumpliendo con lo establecido por la normativa vigente.

Figura 72
Concentraciones de Mercurio.



Según la figura 72 las concentraciones de Mercurio en época de lluvia exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017 MINAM y los Límites Máximos Permisibles (LMP), sin embargo, para la época de estiaje se tiene concentraciones menores de 0.001mg/L.

Figura 73
Concentraciones de Níquel.

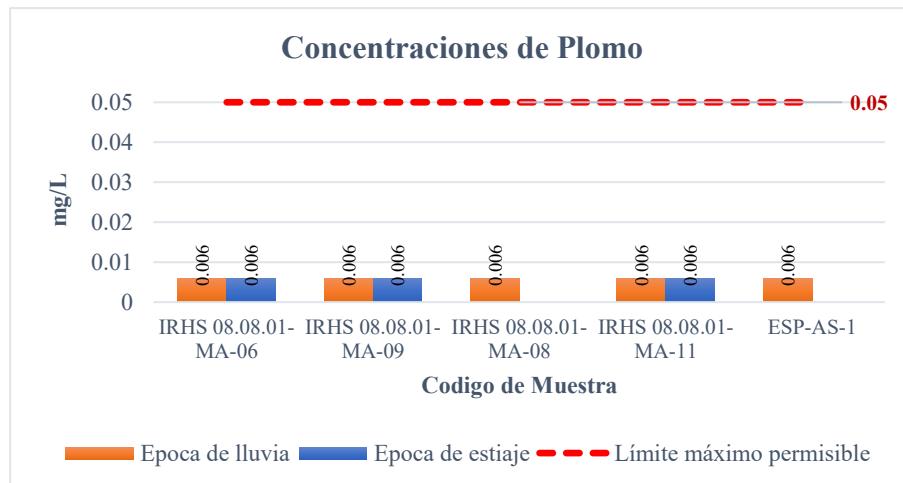


Nota: Los valores de 0.001 corresponden a concentraciones de Níquel inferiores a <0.001.

Las concentraciones de Níquel para la época de estiaje y lluvias son menores a 0.001 mg/L. Sin embargo, estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 74

Concentraciones de Plomo.

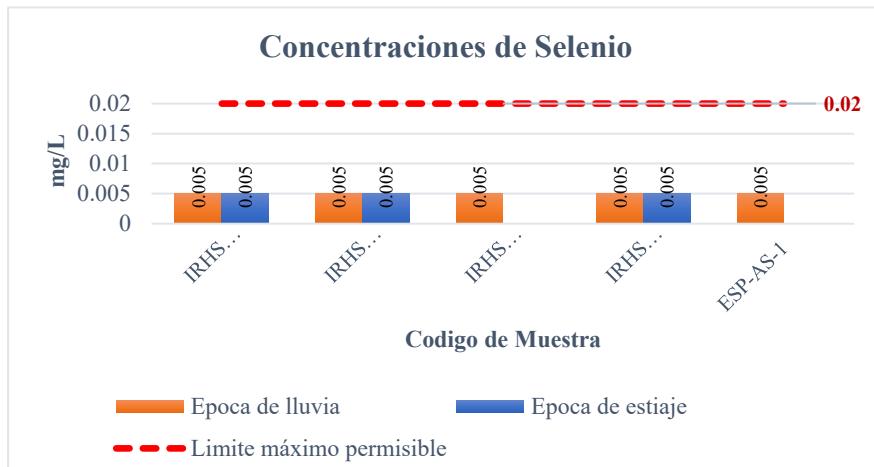


Nota: Los valores de 0.006 corresponden a concentraciones de Plomo inferiores a <0.006.

Las concentraciones de Plomo para la época de estiaje y lluvias son menores a 0.006 mg/L. Sin embargo, estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 75

Concentraciones de Selenio.

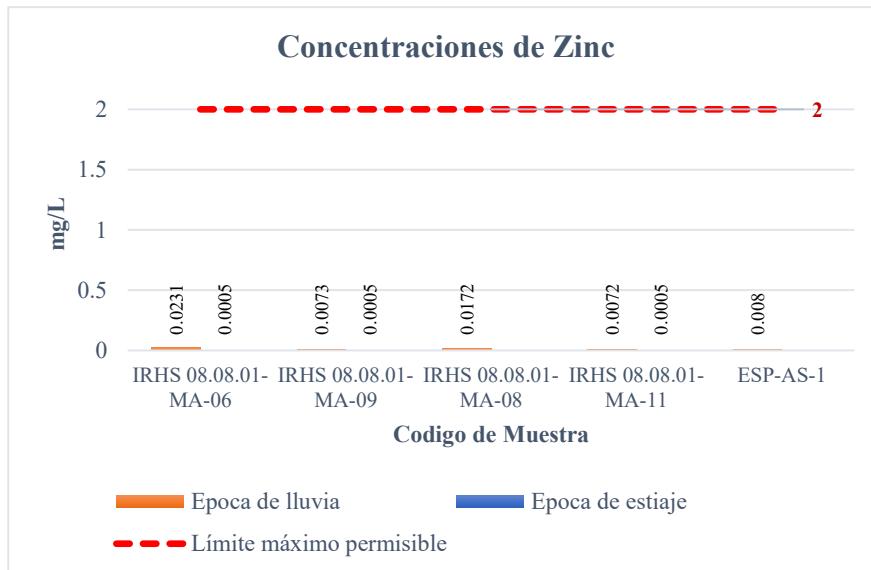


Nota: Los valores de 0.005 corresponden a concentraciones de Selenio inferiores a <0.005.

En la figura 75 muestra que para la época de estiaje y lluvias las concentraciones de Selenio son menores a 0.005 mg/L. Sin embargo, estas muestras contienen valores menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Figura 76

Concentraciones de Zinc.



Nota: Los valores de 0.0004 y 0.0005 corresponden a concentraciones de Zinc inferiores a <0.0004 y <0.0005.

Según la figura 76, para la época de estiaje las concentraciones de Zinc son menores a 0.0005 mg/L, Sin embargo, para la época de lluvia la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-06 tiene la mayor concentración con 0.0231 mg/L, seguido de la muestra con código IRHS 08.08.01-MA-08 con concentraciones de 0.0172 mg/L, la muestra IRHS 08.08.01-MA-09 tiene concentraciones de 0.0073 mg/L, seguido de la IRHS 08.08.01-MA-08 con 0.0072 mg/L, menor concentración la muestra con código ESP-AS-1 con 0.008 mg/L. Cabe mencionar que estas muestras se encuentran con concentraciones de Zinc menores al Límite Máximo Permisible, por lo que cumplen con lo dispuesto en la normativa.

Tabla 52

Resumen de concentraciones obtenidas en laboratorio para los parámetros fisicoquímicos

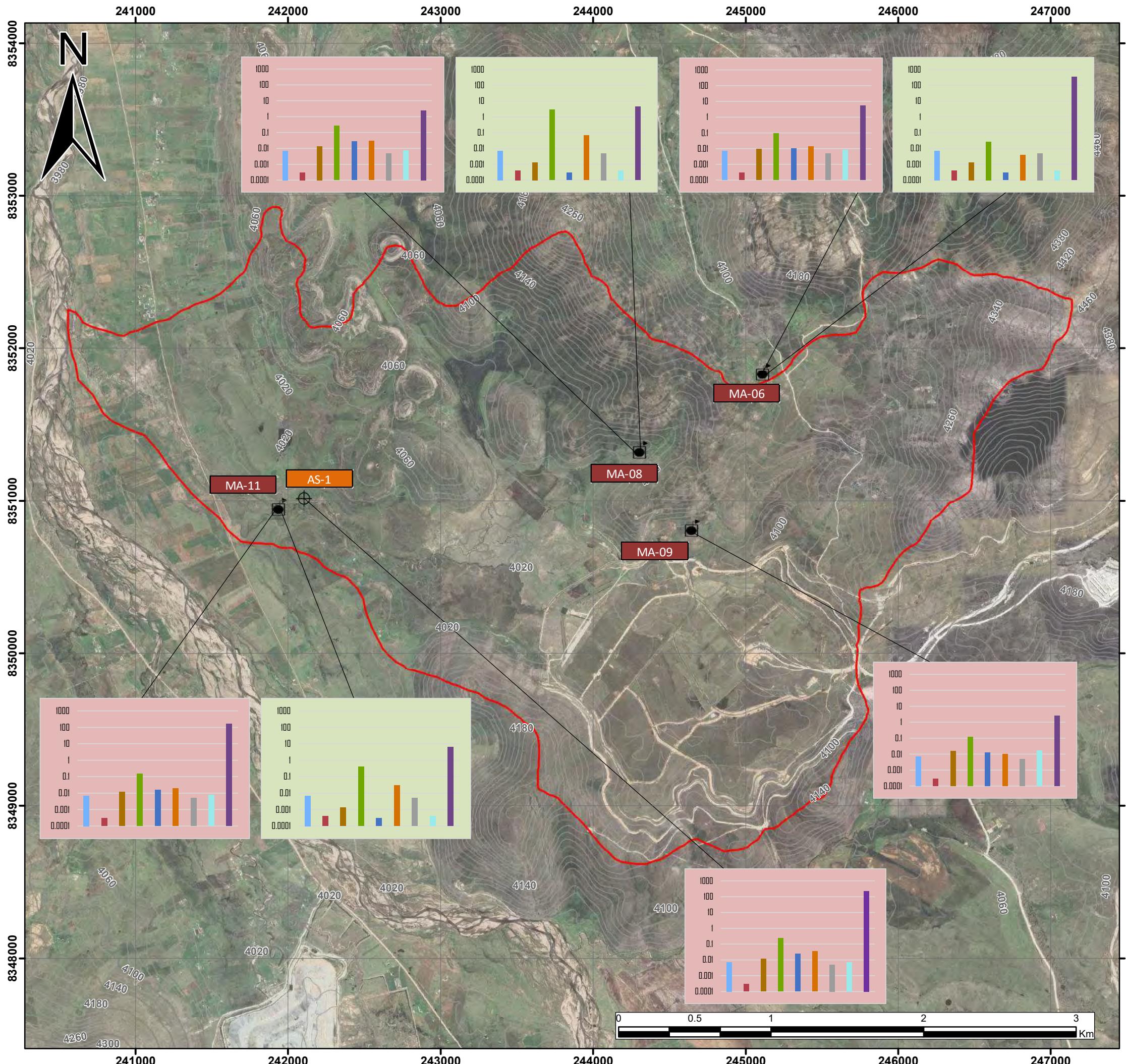
PARAMETROS FISICOQUIMICOS (mg/L)	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE ESTIAJE				
	IRHS 08.01-MA-06	IRHS 08.01-MA-09	IRHS 08.01-MA-08	IRHS 08.01-MA-11	ESP-AS-1	IRHS 08.01-MA-06	IRHS 08.01-MA-08	IRHS 08.01-MA-09	IRHS 08.01-MA-11	ESP-AS-1
Bicarbonatos	37.58	23.15	36.23	59.05	26.5	41.24	-	47.58	130.05	-
Cloruros	18.74	42.42	13.81	116.41	89.77	<5	-	<5	143	-
Fluoruros	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.21	-	1.68	3.52	-
Nitratos (NO ₃ --N) +Nitritos (NO ₂ -N) -	1.66	0.13	<0.20	1.26	0.13	<0.2	-	<0.2	0.6	-
Nitritos (NO ₂ --N)	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	-	-	-	-	-
Sulfatos	5.17	<2.50	<2.50	224.09	159.36	6.3	-	4.4	336.6	-

Tabla 53

Resumen de concentraciones obtenidas en laboratorio para metales totales

METALES TOTALES (mg/L)	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE ESTIAJE				
	IRHS 08.01-MA-06	IRHS 08.01-MA-09	IRHS 08.01-MA-08	IRHS 08.01-MA-11	ESP-AS-1	IRHS 08.01-MA-06	IRHS 08.01-MA-08	IRHS 08.01-MA-09	IRHS 08.01-MA-11	ESP-AS-1
Aluminio	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	0.12	-	0.09	<0.02	-
Arsénico	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	<0.008	<0.008	-
Bario	0.0234	0.0333	0.0393	0.0571	0.0493	0.006	-	0.021	0.017	-
Berilio	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.001	-	<0.001	<0.001	-
Boro	0.152	0.065	0.107	0.246	0.227	0.027	-	0.021	0.48	-
Cadmio	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	-	<0.0005	<0.0005	-
Cobalto	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.07	-	<0.009	<0.009	-
Cobre	0.014	0.0101	0.0152	0.0116	0.0115	<0.001	-	<0.0014	<0.0014	-
Cromo Total	-	-	-	-	-	<0.0008	-	<0.0009	<0.0008	-
Hierro	0.192	0.266	0.12	0.236	0.153	0.409	-	2.838	0.027	-
Litio	<0.0009	<0.0009	<0.0009	0.0833	0.0748	0.0042	-	0.0021	0.3476	-
Manganese	0.0159	0.0288	0.0104	0.0346	0.0189	0.0293	-	0.0672	0.0039	-
Mercurio	0.019	0.027	0.013	0.024	0.016	<0.001	-	<0.0004	<0.0004	-
Níquel	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.001	-	<0.001	<0.001	-
Plomo	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	-	<0.006	<0.006	-
Selenio	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	<0.005	<0.005	-
Zinc	0.0231	0.0073	0.0172	0.0072	0.008	<0.0004	-	<0.0005	<0.0005	-

Figura 77
Mapa de distribución de elementos minoritarios



UBICACIÓN REGIONAL



UBICACIÓN PROVINCIAL

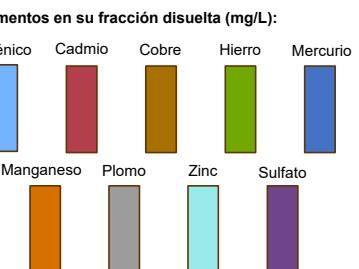


UBICACIÓN DISTRITAL



SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo de manantiales
- Puntos de muestreo de humedales
- Área de estudio
- Temporada de lluvia
- Temporada de estiaga
- Curvas maestras



- MA → Agua subterránea
ESP → Agua-canaleta

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>	
<p>TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"</p>	
DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS MINORITARIOS	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 77

CAPITULO XI: Resultados y discusiones

11.1 Geomorfología

11.1.1 Resultados de geomorfología

En la microcuenca Ccoloyo se han identificado nueve unidades geomorfológicas locales, las cuales se diferencian entre sí por su origen (Ver tabla 54).

Tabla 54

Resultados de geomorfología local

Unidad geomorfológica	Área (ha)	%	Características principales
Colina alta de pendiente alta en roca intrusiva (Ca-Pa-Ri)	183.53	12.9	Altitud 4040–4290 m; pendientes 25–50 %; asociada a Choquechambe.
Colina alta de pendiente moderada en roca intrusiva (Ca-Pm-Ri)	300.45	21.2	Altitud 4180–4460 m; pendientes 15–25 %; vinculada a Marquiri y quebrada Ccoloyo.
Colina baja en roca sedimentaria (Cb-Rs)	192.66	13.6	Altitud 3990–4080 m; pendientes 15–25 %; asociada a Fm. Arcurquina.
Meseta baja en roca sedimentaria (Mb-Rs)	72.01	5.1	Altitud 4020–4060 m; vinculada al Grupo Maure.
Terraza (Te)	250.64	17.7	Altitud 4010–4020 m; asociada al Grupo Maure.
Terraza aluvio-fluvial (T-alfl)	55.65	4.0	Pendientes 5–8 %; en Chicta y quebrada Ccoloyo.
Terraza fluvial (T-fl)	117.28	8.3	Relieve contiguo al río Ccoloyo; acumulación fluvial.
Cauce de quebrada (Ca-q)	5.13	0.4	Asociado al río Ccoloyo y afluentes.
Planicie en roca sedimentaria (Pa-Rs)	239.95	16.9	Relavera de Hunipampa (mina Tintaya).

11.1.2 Discusión de geomorfología

En relación con el objetivo específico 1, orientado a identificar y describir las unidades geomorfológicas presentes en la comunidad de Huisa Collana, los resultados obtenidos evidencian la presencia de nueve unidades geomorfológicas en la microcuenca Ccoolloyo, predominando las colinas, que ocupan el 47,74 % de la superficie, y las planicies, que representan el 30,25 %. Asimismo, se reconocieron terrazas fluviales, terrazas aluvio-fluviales, cauces de quebrada y unidades asociadas a roca sedimentaria e intrusiva, las cuales reflejan la acción combinada de procesos tectónicos, fluviales y denudacionales propios de ambientes altoandinos.

Desde el punto de vista interpretativo, estas unidades geomorfológicas condicionan de manera diferenciada los procesos de escorrentía, infiltración y almacenamiento de agua subterránea. Las colinas de pendiente alta desarrolladas en roca intrusiva favorecen la escorrentía superficial y presentan una baja capacidad de infiltración, limitando su aporte a la recarga subterránea. En contraste, las colinas de pendiente moderada y las unidades desarrolladas sobre roca sedimentaria muestran mejores condiciones para la infiltración, especialmente en sectores donde la pendiente disminuye y la porosidad del material aumenta. Las terrazas fluviales y aluvio-fluviales destacan como las unidades geomorfológicas más favorables para la recarga, debido a la presencia de materiales no consolidados y de alta permeabilidad, que facilitan tanto la infiltración difusa como el intercambio entre aguas superficiales y subterráneas. Por su parte, los cauces de quebrada permiten recarga puntual en tramos con sedimentos permeables, aunque también concentran procesos erosivos.

Estos resultados permiten validar la hipótesis planteada, que sostiene que en Huisa Collana se identifican unidades geomorfológicas como terrazas fluviales, laderas denudacionales y zonas aluviales recientes que favorecen procesos de infiltración y recarga del agua subterránea. La distribución espacial de dichas unidades y su comportamiento hidrogeomorfológico confirman que

la geomorfología constituye un factor clave en la delimitación de zonas con distinto potencial hidrogeológico dentro del área de estudio.

La interpretación obtenida es consistente con antecedentes internacionales como los de Ford y Williams (2017), quienes señalan que en sistemas montañosos y kársticos la forma del relieve y la pendiente controlan directamente la infiltración y la conectividad hidráulica. De igual manera, los resultados concuerdan con los planteamientos de Jadoon et al. (2019) y Rahmati et al. (2021), quienes destacan que las planicies, terrazas y zonas aluviales en regiones de topografía compleja constituyen áreas prioritarias para la recarga de acuíferos. A nivel nacional, estos hallazgos son coherentes con los estudios realizados por Salas et al. (2016) y Paredes et al. (2020), quienes identifican que las unidades geomorfológicas sedimentarias y fluviales en cuencas altoandinas del sur del Perú presentan mayor potencial para el almacenamiento y tránsito de aguas subterráneas. Asimismo, a escala local, los resultados se alinean con las evaluaciones de la Autoridad Nacional del Agua (2013, 2019), que reconocen la importancia de terrazas y planicies en la disponibilidad hídrica de manantiales en la provincia de Espinar.

11.2 Geología

11.2.1 Resultados de geología

El levantamiento geológico y la cartografía a escala local permitieron identificar cinco unidades principales dentro de la microcuenca de Ccoloyo: la Formación Arcurquina (Cretácico inferior), el Grupo Maure (Mioceno), los depósitos aluviofluviales y fluviales (Holoceno), y la Unidad ígnea Choquechambe (Paleógeno). La distribución espacial de estas unidades muestra un predominio de la granodiorita de la Unidad Choquechambe con un 40.72% del área, seguida por los sedimentos lacustres y volcanosedimentarios del Grupo Maure con un 24.56%. En menor proporción afloran las calizas de la Formación Arcurquina (13.39%) y los depósitos cuaternarios, que juntos representan un 21.31% del total.

Las observaciones de campo permitieron caracterizar los principales rasgos litológicos:

- **Formación Arcurquina:** calizas de tonalidad gris azulada de aspecto masivo, venillas de calcita y presencia de nódulos de chert. La fracturación observada indica un control estructural importante que favorece la permeabilidad secundaria.
- **Grupo Maure:** depósitos lacustres y diatomitas con intercalaciones de arenas tobáceas y calizas delgadas, cuya porosidad primaria favorece la acumulación de agua.
- **Depósitos aluviofluviales y fluviales:** conformados por arenas, gravas y limos bien clasificados, que funcionan como corredores de infiltración en el eje central de la microcuenca.
- **Unidad Choquechambe:** granodioritas de textura fanerítica, moderadamente fracturadas, con evidencias de alteración en plagioclasas, lo que sugiere un rol dual como acuífero fisurado o como barrera dependiendo del grado de fracturamiento.

11.2.1 Discusiones de geología

En relación con el objetivo específico 2, orientado a caracterizar las formaciones geológicas presentes en la comunidad de Huisa Collana, los resultados evidencian que la microcuenca Ccoloyo presenta una configuración litológica diversa, integrada por rocas sedimentarias, cuerpos intrusivos y depósitos cuaternarios. Esta asociación estratigráfica es característica de las cuencas altoandinas de la provincia de Espinar y responde a una evolución geológica compleja dominada por procesos de sedimentación marina y volcanosedimentaria, intrusión magmática y acumulación fluvial reciente, tal como ha sido documentado en estudios geológicos locales y regionales (INGEMMET, 2018; Peña Laureano et al., 2013).

Las calizas de la Formación Arcurquina constituyen una de las unidades más representativas del área de estudio y se caracterizan por un intenso fracturamiento y la presencia

de venillas de calcita, rasgos que evidencian procesos de recristalización y circulación de fluidos asociados a la deformación tectónica andina. Este comportamiento coincide con lo descrito por INGEMMET (2018) y por estudios realizados en las cuencas Salado y Cañipía, donde las calizas arcurquinianas muestran un control estructural marcado, condicionando tanto la expresión geomorfológica en laderas y colinas bajas como su respuesta hidrogeológica (Peña Laureano et al., 2013).

El Grupo Maure, compuesto por diatomitas y limoarcillitas de origen volcanosedimentario, presenta una matriz predominantemente fina que confirma condiciones de sedimentación lacustre y marina somera. Esta unidad controla el desarrollo de mesetas y planicies estructurales, producto de la erosión diferencial frente a unidades más competentes como las calizas y los intrusivos. Estudios nacionales señalan que el Grupo Maure actúa frecuentemente como unidad de transición y confinamiento dentro de la secuencia estratigráfica del sur del Perú, influyendo en la organización estructural y en la compartimentación del subsuelo (Salas et al., 2016; INGEMMET, 2018).

Los depósitos cuaternarios, asociados a terrazas fluviales y aluviales, representan las unidades más recientes de la secuencia geológica y están conformados por gravas, arenas y limos producto de episodios sucesivos de agradación y retrabajo fluvial. Su disposición en terrazas escalonadas constituye un registro de la dinámica fluvial y de las variaciones climáticas y tectónicas recientes, en concordancia con lo reportado en estudios geomorfológicos e hidrogeológicos realizados en microcuencas altoandinas de Espinar (ANA, 2019; Peña Laureano et al., 2013).

Finalmente, la Unidad Choquechambe, dominada por granodioritas, evidencia una marcada heterogeneidad estructural producto del fracturamiento asociado a la tectónica regional. La alternancia de sectores intensamente fracturados con zonas más masivas es consistente con lo

descrito para cuerpos intrusivos emplazados en contextos tectónicamente activos del sur andino, donde el fracturamiento condiciona la compartimentación del basamento y su relación con los lineamientos regionales (INGEMMET, 2018; Paredes et al., 2020).

Los resultados permiten validar la hipótesis del objetivo específico 2, confirmando que las formaciones geológicas presentes en Huisa Collana están conformadas por depósitos aluviales recientes, unidades sedimentarias marinas y volcanosedimentarias, y cuerpos intrusivos fracturados. Sus características litológicas y estratigráficas explican coherentemente la configuración geológica y geomorfológica actual del área de estudio, en concordancia con los antecedentes locales, nacionales e internacionales desarrollados para cuencas altoandinas del sur del Perú (Peña Laureano et al., 2013; Salas et al., 2016; INGEMMET, 2018; Ford y Williams, 2017).

11.3 Geología estructural

11.3.1 Resultados de geología estructural

- A nivel regional, se confirmaron estructuras mayores de orientación NW–SE, como las fallas Cañipia y Yauri, que han condicionado la compartimentación tectónica y el relieve en la provincia de Espinar. Estas estructuras también influyen en la disposición de unidades litológicas y en la dinámica hidrogeológica, al actuar como conductos o barreras en la circulación de agua subterránea.

- En la microcuenca de Ccoloyo, se reconocieron pliegues anticlinales y sinclinales en la Formación Arcurquina, alineados en dirección NW–SE, reflejando un control estructural asociado a esfuerzos compresivos andinos. Asimismo, se identificaron fallas inferidas F1 y F2 a partir de evidencias indirectas como dolinas y fracturamiento intenso, además de las fallas F3 y F4 por el alineamiento de manantes.

- El levantamiento de ventanas estructurales permitió cuantificar la calidad geomecánica de los macizos. Los resultados muestran una variabilidad importante:

- En la Unidad Choquechambe, los valores de RMR fluctúan entre 39 y 61, con calidades que van de pobre a media, asociadas a fracturamiento intenso, presencia de fallas y alteración moderada.
- En la Formación Arcurquina, se registraron valores de RMR entre 60 y 72, clasificando los macizos en clase II–III (buena a media). Estos macizos son más competentes, con fracturación moderada, presencia de venillas mineralizadas y mayor capacidad de actuar como acuíferos fisurados.

11.3.2. Discusiones geología estructural

En relación con el objetivo específico 3, orientado a caracterizar los elementos de la geología estructural de la comunidad de Huisa Collana y evaluar su influencia en el comportamiento del agua subterránea, los resultados evidencian que la microcuenca de Ccoloyo se encuentra fuertemente condicionada por un control estructural de escala regional y local. A nivel regional, se identificaron estructuras mayores con orientación predominante NW–SE, como las fallas Cañipia y Yauri, las cuales han determinado la compartimentación tectónica, la disposición de las unidades litológicas y la configuración del relieve en la provincia de Espinar.

A escala local, la microcuenca mantiene esta misma tendencia estructural, evidenciada por la presencia de pliegues anticlinales y sinclinales desarrollados en las calizas de la Formación Arcurquina, asociados a esfuerzos compresivos andinos. Asimismo, se identificaron fallas inferidas (F1 y F2) a partir de evidencias indirectas como dolinas y zonas de fracturamiento intenso, así como las fallas F3 y F4 definidas por el alineamiento de manantiales, lo que confirma la estrecha relación entre estructura tectónica y manifestaciones hidrogeológicas superficiales.

El análisis de ventanas estructurales permitió evaluar la calidad geomecánica de los macizos rocosos, evidenciándose un contraste significativo entre las unidades litológicas. En la Unidad Choquechambe, dominada por granodioritas, los valores de RMR entre 39 y 61 indican macizos de calidad pobre a media, asociados a un intenso fracturamiento, presencia de fallas y grados moderados de alteración. En contraste, la Formación Arcurquina presenta valores de RMR entre 60 y 72, correspondientes a macizos de calidad media a buena, caracterizados por una fracturación moderada y la presencia de venillas mineralizadas, lo que refleja una mayor competencia estructural.

Desde el punto de vista interpretativo, estos resultados demuestran que la tectónica regional ha impuesto un control estructural dominante sobre la microcuenca, condicionando tanto la evolución geomorfológica como la distribución y conectividad de las discontinuidades. Las fallas y sistemas de fracturas actúan como elementos clave que controlan la permeabilidad secundaria, particularmente en las calizas fracturadas de la Formación Arcurquina, mientras que en las rocas intrusivas el fracturamiento genera una permeabilidad más limitada y heterogénea.

En este contexto, los resultados permiten validar la hipótesis que plantea que la presencia de fallas, fracturas y discontinuidades orientadas preferentemente actúan como vías de circulación y control del flujo subterráneo, vinculándose directamente con la ubicación de manantiales y zonas de descarga. La relación espacial observada entre alineamientos estructurales, dolinas y surgencias confirma el rol determinante de la estructura tectónica en la dinámica hidrogeológica local.

Esta interpretación es consistente con antecedentes internacionales como los de Ford y Williams (2017), quienes señalan que en acuíferos carbonatados la permeabilidad secundaria está controlada por sistemas de fracturas y fallas, así como con los estudios de Rahmati et al. (2021), que destacan la importancia de los lineamientos estructurales en la delimitación de zonas favorables para el flujo subterráneo. A nivel nacional y local, los resultados concuerdan con los

estudios realizados en la región de Espinar y el distrito Tintaya–Antapaccay (Salas et al., 2016; Carlotto y Cárdenas, 2024), que evidencian un fuerte control tectónico en la compartimentación de los bloques hidrogeológicos y en la localización de manantiales.

11.4 Hidrología

11.4.1 Resultados de hidrología

11.4.1.1 Morfometría de la microcuenca de Ccoloyo

El análisis morfométrico permitió caracterizar la forma y dimensiones de la microcuenca de Ccoloyo. El área total delimitada fue de 14.14 km², clasificándola como microcuenca de acuerdo con la metodología del DSMC-DGASI/Lima (1983).

En cuanto a los parámetros de forma, el factor de forma ($K_i = 0.33$) y el índice de circularidad ($I_c = 0.42$) evidencian que la cuenca presenta una configuración alargada, lo cual influye en la dinámica de escorrentía al favorecer una menor concentración de caudales instantáneos en comparación con cuencas circulares. Sin embargo, su relación de elongación ($Re = 1.66$) se acerca a valores circulares, lo que indica que, pese a su forma oblonga, la cuenca puede responder rápidamente ante eventos de precipitación intensa.

El coeficiente de compacidad ($K_c = 1.53$) confirma esta tendencia, clasificando a la cuenca entre oval oblonga y rectangular oblonga (FAO, 1985). En términos hidrológicos, ello sugiere que el escurrimiento superficial se distribuye de manera progresiva, disminuyendo la probabilidad de crecidas súbitas, aunque sin descartarlas por completo.

Finalmente, el cálculo del rectángulo equivalente ($L = 8.63$ km; $l = 1.64$ km) reafirma la naturaleza alargada de la cuenca, lo que contribuye a un escurrimiento relativamente rápido, pero no altamente concentrado.

11.4.1.2 Elementos de relieve

El relieve constituye un factor determinante en la respuesta hidrológica. La microcuenca presenta una altitud máxima de 4473 m s.n.m. y mínima de 3989 m s.n.m., con un desnivel absoluto de 484 m, lo que refleja pendientes moderadas a altas.

La declividad equivalente constante (12.8 %) y la línea de máxima pendiente (4.44 %) indican que el agua precipitada tiende a escurrir con rapidez, generando una alta energía erosiva. Esto incrementa la capacidad de transporte de sedimentos y puede acelerar procesos de erosión en el cauce principal y áreas de pendiente marcada.

La curva hipsométrica muestra que la microcuenca presenta un relieve maduro a senil (tipo C, Strahler 1952), con predominio de áreas intermedias y bajas pendientes. Esta condición geomorfológica refleja un estado de equilibrio morfodinámico, con menor susceptibilidad a procesos erosivos verticales y mayor propensión a la erosión lateral y acumulación de sedimentos en las partes bajas.

El análisis altimétrico complementa esta interpretación: la altitud media es de 4084 m s.n.m., la mediana de altitud de 4070 m s.n.m., y la altitud más frecuente de 4020 m s.n.m.. Más del 59 % del área se concentra entre 4000 y 4080 m s.n.m., lo que muestra un relieve relativamente uniforme con predominio de áreas bajas.

El tiempo medio de traslado ($T_m = 3.2$ horas) evidencia que la cuenca responde de forma rápida a los eventos de precipitación, lo que incrementa la probabilidad de avenidas repentinas durante lluvias intensas.

Información hidrometeorológica

Tabla 55

Resumen hidrometeorológico

Variable	Promedio anual	Máximo (mes)	Valor máx.	Mínimo (mes)	Valor mín.	Comportamiento general
Precipitación (mm)	862,8	Enero	190,3	Junio	4,1	Altas precipitaciones entre enero–marzo; muy bajas de mayo–agosto; recuperación de setiembre–diciembre.
Temp. máxima (°C)	8,8	Diciembre	10,6	Julio	5,8	Valores más altos en noviembre–diciembre; más bajos en junio–julio.
Temp. mínima (°C)	-1,7	Enero/Febrero	2,2	Julio	-6,9	Temperaturas positivas en enero–marzo; negativas con heladas en mayo–agosto.
Humedad relativa (%)	60,4	Enero	69,9	Setiembre	53,7	Mayor en enero–marzo; menor en junio–setiembre.
Evaporación (mm)	106,2	Setiembre	133,3	Febrero	77,0	Baja en enero–marzo; aumenta progresivamente hasta máximos en julio–setiembre.

11.4.2 Discusión hidrología

La morfometría, el relieve y el régimen de precipitaciones permiten concluir que la microcuenca de Ccoloyo tiene un comportamiento hidrológico de respuesta rápida, condicionado principalmente por su pendiente, su forma alargada y la alta estacionalidad de las lluvias. Si bien la morfología oblonga tiende a disminuir la concentración de caudales en comparación con cuencas más circulares, la presencia de pendientes intermedias-altas y un tiempo medio de traslado reducido hacen que la cuenca sea susceptible a eventos de crecidas súbitas durante las épocas de lluvias intensas.

La marcada concentración de las precipitaciones entre enero y marzo refleja el carácter estacional del régimen hídrico en la zona. Este comportamiento tiene una relación directa con la disponibilidad de agua en los manantiales, ya que durante la temporada de lluvias se produce una mayor recarga de acuíferos, favoreciendo la aparición de caudales más abundantes. Por el contrario, durante los meses de mayo a agosto, cuando la precipitación es mínima, se evidencia una reducción significativa en los caudales de manantiales, reflejando la dependencia directa de estos sistemas con las condiciones climáticas.

Asimismo, las bajas temperaturas mínimas registradas en invierno (junio–julio) no solo intensifican los procesos de congelamiento y heladas, sino que también reducen la infiltración efectiva, afectando la recarga inmediata del sistema. Este escenario se ve reforzado por los altos valores de evaporación en la estación seca, que incrementan la pérdida de agua superficial y agravan la disminución temporal de disponibilidad hídrica.

En conjunto, los resultados evidencian que los manantiales presentan un comportamiento altamente estacional, con mayor aporte durante y después de la temporada de lluvias, y con una marcada disminución en la estación seca. Esto resalta la importancia de considerar la variabilidad climática y la gestión sostenible de los recursos hídricos en la zona de estudio.

11.5 Geofísica

11.5.1 Resultados de geofísica

El levantamiento geofísico mediante **Tomografía Eléctrica Multielectrodo (TME)** en ocho líneas (LT-HU-01 a LT-HU-08) permitió caracterizar la distribución de resistividades en el subsuelo y diferenciar unidades con distinta composición y grado de consolidación.

Los resultados muestran tres grandes dominios geoeléctricos:

- 1. Depósitos superficiales cuaternarios y materiales removidos (30–150 Ohm.m):** corresponden a gravas, arenas, depósitos de relaves y suelos poco consolidados. Se reconocen en los primeros 5 a 30 m de espesor.
- 2. Zonas de baja resistividad (2–30 Ohm.m):** interpretadas como sectores con mayor contenido de humedad relativa o materiales finos saturados. Se presentan de manera recurrente a profundidades someras (5–30 m) y en zonas asociadas a bofedales y cauces.
- 3. Basamento rocoso fracturado o calizas meteorizadas (>100 Ohm.m):** identificado entre 80 y 220 m de profundidad, con variaciones locales en función de la litología y estructura del subsuelo.

Resultados por líneas de tomografía

- **LT-HU-01 a LT-HU-04:** evidencian depósitos cuaternarios superficiales y niveles de baja resistividad desde los 10 m. Las resistividades entre 30-100 Ohm.m evidencian calizas de la formación Arcurquina y diatomitas del grupo Maure; a mayor profundidad (100–120 m) aparecen resistividades más elevadas (150–500 Ohm.m) relacionadas al intrusivo fracturado Choquechambe.
- **LT-HU-05:** presenta resistividades bajas (3–30 Ohm.m) hasta los 40 m de profundidad correspondiente a depósitos cuaternarios, entre los 40-120 m de profundidad se identifican las calizas de la formación Arcurquina y diatomitas del grupo Maure; mientras que a partir de los 120 m se registran valores elevados (150–680 Ohm.m) característicos de unidades más compactas de Choquechambe.
- **LT-HU-06 y LT-HU-07:** muestran resistividades bajas en superficie (6–30 Ohm.m), vinculadas a bofedales y cauces. Entre 40 y 150 m predominan resistividades medias a altas, propias de materiales rocosos fracturados correspondientes al grupo Maure, formación Arcurquina e intrusivo Choquechambe. En la línea LT-HU-06 se evidencia

además la existencia de una oquedad identificada como karst, descrito también en el capítulo de hidrogeología.

- **LT-HU-08:** registra depósitos cuaternarios hasta los primeros 30 m y resistividades bajas hasta los 80 m. Desde los 200 m de profundidad aparecen dominios con valores más elevados y se identifica el contacto entre las calizas de la formación Arcurquina y el intrusivo Choquechambe caracterizadas por el zoneamiento de resistividades entre 30-100-173 Ohm.m.

11.5.2 Discusiones geofísica

En relación con el objetivo específico 4, orientado a determinar las características geofísicas del subsuelo en la comunidad de Huisa Collana para inferir zonas con potencial de almacenamiento de agua subterránea, los resultados obtenidos mediante Tomografía Eléctrica Multielectrodo (TME) permitieron definir con claridad la distribución vertical y lateral de las unidades geoeléctricas presentes en la microcuenca de Ccoloyo. El análisis integrado de las ocho líneas de tomografía evidenció un subsuelo conformado por depósitos cuaternarios someros, niveles con resistividades bajas asociadas a materiales saturados y un basamento rocoso más profundo de mayor resistividad.

Los valores de resistividad entre 2 y 30 Ohm·m, identificados de manera recurrente entre los 5 y 40 m de profundidad, fueron interpretados como zonas con mayor contenido de humedad relativa, vinculadas a depósitos finos saturados, bofedales y cauces activos. Estos niveles aparecen de forma continua en varias secciones (LT-HU-01 a LT-HU-08), lo que sugiere la presencia de horizontes con potencial acuífero somero. En contraste, las resistividades medias a altas (30–150 Ohm·m) corresponden a calizas de la Formación Arcurquina y litologías volcanosedimentarias del Grupo Maure, mientras que los valores elevados (>150 Ohm·m) se asocian al intrusivo Choquechambe y a zonas más compactas del basamento rocoso.

Desde el punto de vista interpretativo, la identificación de dominios de baja resistividad constituye un indicador geofísico clave para inferir la presencia de materiales saturados y posibles zonas acuíferas, especialmente cuando estos dominios coinciden con información hidrogeológica de superficie, como manantiales y bofedales. En particular, las secciones LT-HU-06, LT-HU-07 y LT-HU-08 muestran una superposición entre depósitos cuaternarios saturados y lineamientos estructurales inferidos, lo que sugiere una interacción entre permeabilidad primaria (porosidad de los depósitos) y permeabilidad secundaria controlada por fallas.

Estos resultados permiten validar la hipótesis 4, que plantea que los sondeos geofísicos mostrarán zonas de baja resistividad ($<30 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$) asociadas a materiales saturados y zonas acuíferas. La coherencia espacial entre resistividades bajas, unidades cuaternarias y manifestaciones hídricas superficiales confirma la utilidad de la TME como herramienta eficaz para la delimitación de acuíferos someros y la selección de zonas favorables para la captación de agua subterránea mediante pozos abiertos.

Los resultados obtenidos son consistentes con antecedentes internacionales como los de Loke et al. (2013) y Binley y Kemna (2005), quienes señalan que valores bajos de resistividad eléctrica están directamente asociados a materiales saturados y acuíferos porosos. A nivel nacional y regional, los estudios de INGEMMET y ANA en cuencas altoandinas del sur del Perú (INGEMMET, 2018; ANA, 2020) destacan la eficacia de la tomografía eléctrica para identificar acuíferos cuaternarios someros y zonas de recarga controladas por estructura, lo que respalda la interpretación realizada para la microcuenca de Ccoloyo.

Por lo expuesto, se presenta la propuesta de ubicar pozos artesanales (pozos abiertos) debido a que:

1. La zona presenta un acuífero poroso no consolidado (depósitos cuaternarios saturados, resistividades bajas a intermedias en la sección); este tipo de cuerpos suele ofrecer recarga transmisible y extracción mediante pozos abiertos o someros.
2. No se observa proximidad de cuerpos carbonáticos fisurados u oquedades que faciliten pérdida rápida de agua hacia niveles profundos (esto favorece la conservación del recurso en el nivel somero).
3. En terreno existe información de un manantial cercano con valores de calidad y caudal aptos para bebedero y riego, lo cual refuerza la hipótesis de disponibilidad superficial de agua.

Tipo de pozo propuesto

Se recomienda la construcción de un pozo abierto de 10m de profundidad, con un diámetro de 1m, revestimiento de anillos de concreto y tapa de losa de concreto. Cada poza tendría un costo de ejecución de 8000.00 soles en base a cotizaciones.

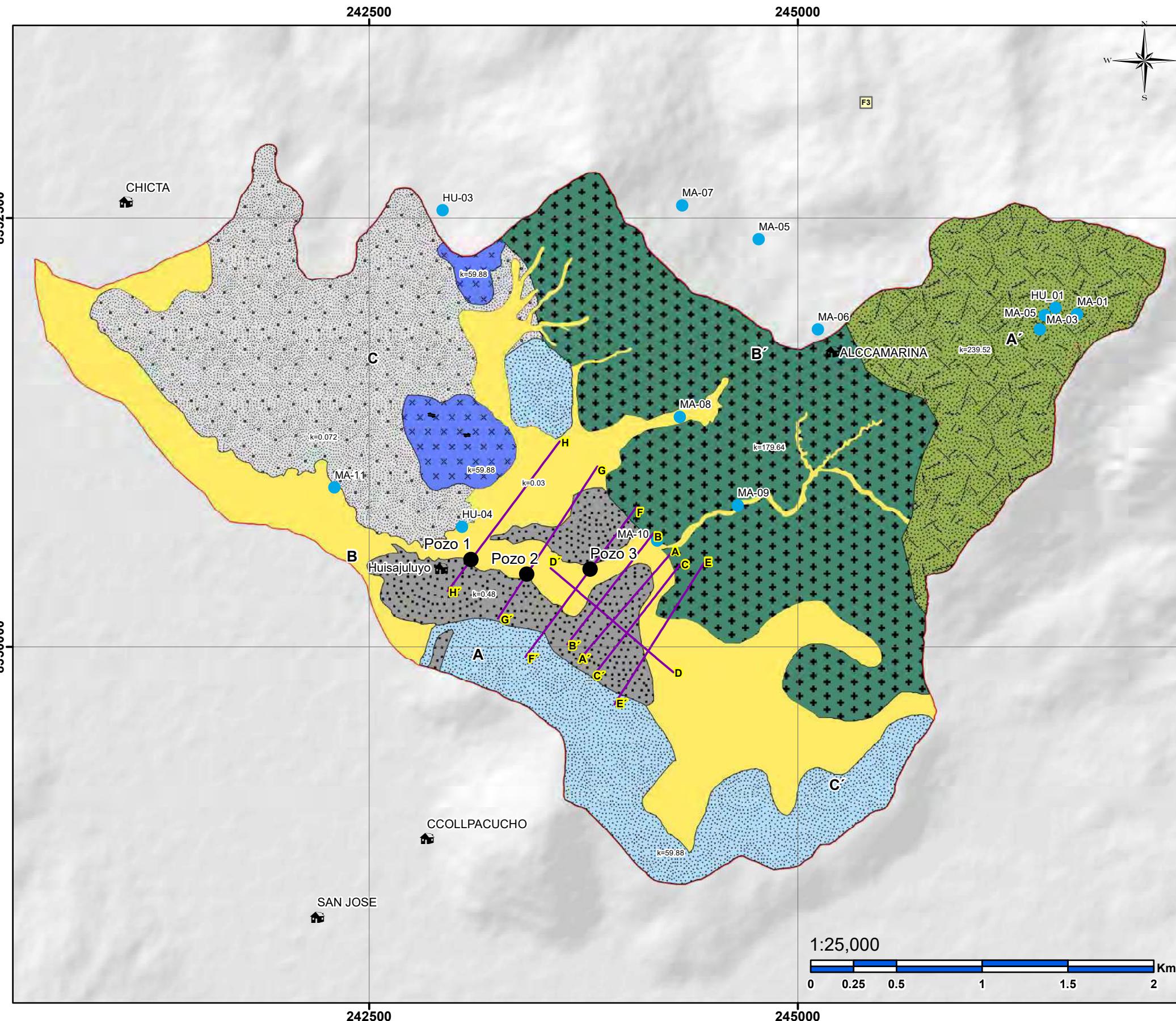
Estas pozas permitirían una acumulación estimada entre 4-7 metros cúbicos por poza, lo cual sería de utilidad para el abastecimiento de agua a las personas de la comunidad.

A continuación, se detallan las ubicaciones de los pozos propuestos:

1. Pozo 1: Ubicado en la sección geofísica LT-HU-08, con coordenadas 247390.87E y 8350456.89N
2. Pozo 1: Ubicado en la sección geofísica LT-HU-07, con coordenadas 243412.12E y 8350437.3N
3. Pozo 1: Ubicado en la sección geofísica LT-HU-06, con coordenadas 243092.16E y 8350522.19N

Figura 78

Mapa de ubicación de propuesta de pozos en la microcuenca Ccoloyo



LEYENDA	
Unidades Hidrogeológicas	
	Acucluye sedimentario Grupo Maure
	Acuitardo Formación Choquechambe
	Acuitardo sedimentario Grupo Maure
	Acuífero fisurado Formación Choquechambe
	Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina
	Acuífero kárstico sedimentario Arcurquina
	Acuíferos porosos no consolidados
SIMBOLOGIA	
	Ctro. Poblados
	Manantes de agua
	Lineas_Geofisica
	Propuesta de pozos
	Area de estudio
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: "EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR POTENCIALES FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE HUISA COLLANA, PROVINCIA DE ESPINAR REGIÓN CUSCO"	
MAPA DE PROPUESTA DE POZOS	ESCALA: 1/25000
Br. Yaneth Mayume Huamani Mendigure	DATUM: WGS84
Br. Dahize Lidia Moyna Mendoza	ZONA: 19L
ASESOR: Ing. Ronald Lopez Zapana	Figura 78

11.6 Hidrogeología

11.6.1 Resultados hidrogeología

Tabla 56

Resumen de hidrogeología

Unidad hidrogeológica	Geología	Puntos de muestreo	Caudal (l/s)	Porosidad (%)	Permeabilidad (m/d)	RMR (ventanas)	Tipo de manante
Acuitardo — Unidad Choquechambe	Granodiorita intrusiva poco fracturada, con baja conectividad de discontinuidades	MA-09, MA-06, HU-02, MA-05, MA-07, MA-10	11.6; 0.09; S/D; S/D; S/D; S/D	<1 – 2	≈ 179.64	Ventanas 1 (61), 2 (72), 5 (57)	Permanente
Acuífero fisurado — Unidad Choquechambe	Granodiorita fracturada; permeabilidad secundaria en fracturas conectadas	MA-02, MA-03, MA-01, MA-04, HU-01	0.41; 0.40; 0.21; 0.022; S/D	<1 – 2	≈ 239.52	Ventanas 3 (40), 4 (39)	Estacional
Acuífero poroso no consolidado (Cuaternario)	Depósitos aluvio-fluviales: arenas, gravas y limos; espesores 2–10 m	MA-08, HU-04	0.14; S/D	Arenas/gravas: 25–40; limos/arcillas: 35–55	0.017 – 0.03	—	Estacional
Acuífero kárstico sedimentario — Arcurquina	Calizas con cavernas y conductos por disolución (karstificación)	HU-03	S/D	0.5 – 5	Hasta 59.88	Ventana 6 (72)	Estacional
Acuífero fisurado sedimentario — Arcurquina	Calizas con fracturamiento intenso; flujo en fracturas interconectadas	—	—	0.5 – 5	Variable	Ventana 2 (51), 7 (63), 8 (62)	—

Sistema acuítardo sedimentario — Grupo Maure (Miembro II)	Dolomías y limoarcillitas; mayor porosidad que miembros adyacentes	—	—	Dolomías: 1–10 (hasta 20); limoarcillitas: 5–15	≈ 0.48	—	—
Sistema acuiclude sedimentario — Grupo Maure (Miembro III)	Limoarcillas y diatomitas finas; baja permeabilidad; funciona como sello	—	—	5 – 10	≈ 0.072	—	—

11.6.2 Discusiones hidrogeología

En relación con el objetivo específico 5, orientado a identificar y caracterizar las unidades hidrogeológicas existentes en la comunidad de Huisa Collana y evaluar su potencial acuífero, los resultados evidencian un sistema hidrogeológico heterogéneo, cuyo comportamiento está condicionado principalmente por la litología, el grado de fracturamiento y la presencia de depósitos superficiales. Este patrón coincide con lo reportado en estudios hidrogeológicos realizados en cuencas vecinas de la provincia de Espinar, como las cuencas Salado y Cañipía, donde se reconoce una marcada diferenciación entre acuíferos porosos cuaternarios, acuíferos fisurados y unidades de baja permeabilidad (Peña Laureano et al., 2013).

Los depósitos cuaternarios aluvio–fluviales constituyen la unidad hidrogeológica más favorable para el aprovechamiento del recurso hídrico, tanto a escala local como regional. Estos materiales, conformados por arenas, gravas y limos, presentan porosidades efectivas elevadas y una distribución continua en los fondos de valle, favoreciendo procesos de recarga directa y almacenamiento del agua subterránea. Este comportamiento concuerda con los resultados reportados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y por Peña Laureano et al. (2013) en las cuencas Salado y Cañipía, donde los acuíferos cuaternarios son identificados como las principales unidades explotables para abastecimiento poblacional, a pesar de presentar caudales moderados y

permeabilidades bajas a medias. Su respuesta hidráulica más predecible y su accesibilidad mediante pozos someros los convierten en la alternativa más segura para uso comunitario.

La Formación Arcurquina muestra un alto potencial hidrogeológico asociado al fracturamiento y a los procesos de karstificación desarrollados en las calizas, los cuales generan permeabilidades elevadas y una importante capacidad de transmisión del flujo subterráneo. Este comportamiento es consistente con lo descrito por INGEMMET (2018) y por estudios regionales en el sur del Perú, donde las calizas fracturadas y kársticas actúan como acuíferos de alta productividad. Sin embargo, al igual que lo señalado para la cuenca Cañipía, la presencia de oquedades y conductos kársticos introduce una alta incertidumbre en el control del flujo subterráneo, pudiendo favorecer pérdidas de agua hacia niveles profundos o desconectados del sistema de captación, lo que limita su aprovechamiento directo sin estudios hidrogeológicos complementarios.

La Unidad Choquechambe presenta un comportamiento hidrogeológico dual, coherente con lo reportado en antecedentes locales para unidades intrusivas del área de Espinar. En sectores intensamente fracturados, actúa como un acuífero de permeabilidad secundaria, con caudales generalmente bajos y estacionales. En contraste, en zonas menos fracturadas funciona como un acuífero, alimentando manantiales permanentes de caudal significativo, especialmente durante la época de estiaje. Este rol regulador y de descarga superficial ha sido documentado también en la cuenca Salado, donde las intrusivas fracturadas cumplen una función clave en la sostenibilidad de manantiales, más que como acuíferos directamente explotables (Peña Laureano et al., 2013).

Por su parte, el Grupo Maure, compuesto por dolomías, limoarcillitas y diatomitas, presenta permeabilidades muy bajas y una limitada capacidad de almacenamiento, por lo que actúa principalmente como acuífero o acuiclude. Esta función de confinamiento ha sido ampliamente reconocida en estudios nacionales (INGEMMET, 2018; ANA, 2019), donde se señala que estas

unidades controlan el flujo subterráneo y separan hidráulicamente a los acuíferos más productivos, condicionando la circulación regional del agua subterránea.

Los resultados obtenidos permiten validar la hipótesis 5, confirmando la existencia de unidades hidrogeológicas con permeabilidades contrastantes que determinan su potencial como acuíferos locales y subsuperficiales. El comportamiento observado en Huisa Collana es consistente con los antecedentes locales y nacionales de la provincia de Espinar, donde los depósitos cuaternarios representan las unidades más favorables para explotación, mientras que las calizas fracturadas y kársticas presentan alto potencial pero mayor complejidad hidrogeológica, y las unidades intrusivas y volcanosedimentarias cumplen principalmente un rol regulador del sistema hídrico subterráneo.

11.7 Hidroquímica

11.7.1 Resultados de hidroquímica

El análisis hidroquímico de la microcuenca Ccoloyo permitió diferenciar tres tipos principales de fuentes de agua: acuíferos porosos no consolidados, aguas subterráneas alojadas en acuíferos de la Formación Choquechambe y aguas superficiales.

Los parámetros físico-químicos *in situ* muestran que el pH varía entre 6.8 y 10.3, con predominio de condiciones neutras a ligeramente básicas. La conductividad eléctrica (30 a 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indica aguas de baja a moderada mineralización, mientras que la turbidez (7 a 70 NTU) refleja procesos de escorrentía, principalmente durante lluvias.

Los diagramas hidroquímicos (Piper, Schoeller, Stiff) evidencian la predominancia de facies cárnicas. En estiaje, las aguas presentan mayor evolución hidroquímica ($\text{Ca}-\text{Cl}$ y $\text{Ca}-\text{SO}_4$), asociada a procesos de disolución y tiempos de residencia prolongados. En lluvias, predomina la facies $\text{Ca}-\text{HCO}_3$, típica de aguas jóvenes de recarga meteórica.

En cuanto a aniones, los niveles de sulfatos y cloruros se mantienen dentro de los límites de los ECA, mientras que en la época de lluvias se registraron excedencias de fluoruros en algunos puntos de muestreo.

Respecto a los elementos minoritarios, la mayoría de metales (Al, Zn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd) se encuentran en concentraciones bajas y por debajo de los valores establecidos por la normativa. Sin embargo, se detectaron casos relevantes:

- Mercurio (Hg): presentó concentraciones que exceden los ECA tanto en fracción total como disuelta en ambas campañas.
- Cobalto (Co): superó los límites en un punto de muestreo durante la época de estiaje.

Con relación al origen hidrogeológico, las muestras MA-06 y MA-09 corresponden a aguas alojadas en el acuífero de la Formación Choquechambe (más mineralizadas y evolucionadas). Las muestras MA-08 y ESP-AS-1 provienen de acuíferos porosos no consolidados, caracterizados por aguas jóvenes de recarga meteórica. Finalmente, la muestra MA-11 representa agua superficial, con mayor variabilidad por influencia de escorrentía y sedimentos.

Tabla 57

Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para bebedero de animales

Parámetro	ECA bebedero de animales	Temporada de lluvia					Temporada de estiaje		
		M06	M09	M08	AS1	M11	M11	M09	M06
Plata, Ag		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Aluminio, Al	5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Arsénico, As	0.2	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Boro, B	5	0.033	0.032	0.105	0.185	0.158	0.457	0.016	0.025
Bario, Ba		0.0186	0.0297	0.0338	0.0507	0.0436	0.015	0.01	0.004
Berilio, Be	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bismuto, Bi		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.03	0.03	0.03
Calcio, Ca		20.882	11.989	17.093	72.528	51.575	140.528	18.361	14.847
Cadmio, Cd		0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0005
Cerio, Ce		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08

Cobalto, Co	1	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009
Cromo, Cr	1	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0024	0.0009	0.0009	0.0009
Cobre, Cu	0.5	0.0096	0.0101	0.0137	0.0111	0.0098	0.0014	0.0014	0.0014
Hierro, Fe		0.095	0.265	0.098	0.185	0.15	0.018	1.251	0.211
Mercurio, Hg	0.01	0.01	0.027	0.01	0.018	0.015	0.0004	0.0004	0.0004
Potasio, K		1.42	0.918	0.421	7.472	6.833	17.4	0.3	2.1
Litio, Li	2.5	0.0009	0.0009	0.0009	0.0688	0.0612	0.3327	0.0013	0.0035
Magnesio, Mg	250	3.265	2.696	3.536	13.41	9.84	24.8	3.52	2.04
Manganoso, Mn	0.2	0.0135	0.0288	0.0085	0.0192	0.018	0.0035	0.0062	0.0047
Molibdeno, Mo		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sodio, Na		7.666	4.65	6.319	51.772	42.253	122.64	0.95	1.36
Níquel, Ni	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fósforo, P		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Plomo, Pb	0.05	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Antimonio, Sb		0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Selenio, Se	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Sílice, SiO ₂		12.255	10.27	14.843	8.883	4.514	25.159	27.499	16.845
Estaño, Sn		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Estroncio, Sr		0.16009	0.06972	0.11124	0.7601	0.50487	1.501	0.1561	0.1437
Titano, Ti		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
Talio, Tl		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Uranio, U		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.02	0.02
Vanadio, V		0.0021	0.0009	0.0008	0.0023	0.0054	0.0008	0.0008	0.0008
Zinc, Zn	24	0.0082	0.0047	0.0073	0.0067	0.0052	0.0005	0.0005	0.0005
Cloruros		18.74	42.42	13.81	116.41	89.77	143	5	5
Bicarbonatos		37.58	23.15	36.23	59.05	26.5	130.05	47.58	41.24
Fluoruros		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.52	1.68	0.21
Nitrato		1.64	0.11	0.2	1.23	0.11	0.6	0.2	0.2
Nitritos		0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Sulfatos	1000	5.17	2.5	2.5	224.09	159.36	336.6	4.4	6.3
Fosfatos		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

Tabla 58

Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego de vegetales

Parámetro	ECA riego de vegetales	Temporada de lluvia					Temporada de estiaje		
		M06	M09	M08	AS1	M11	M11	M09	M06
Plata, Ag		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Aluminio, Al	5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Arsénico, As	0.1	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Boro, B	1	0.033	0.032	0.105	0.185	0.158	0.457	0.016	0.025
Bario, Ba	0.7	0.0186	0.0297	0.0338	0.0507	0.0436	0.015	0.01	0.004
Berilio, Be	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bismuto, Bi		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.03	0.03	0.03
Calcio, Ca		20.882	11.989	17.093	72.528	51.575	140.528	18.361	14.847
Cadmio, Cd	0.01	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0005

Cerio, Ce	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
Cobalto, Co	0.05	0.007	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009
Cromo, Cr	0.1	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0024	0.0009	0.0009
Cobre, Cu	0.2	0.0096	0.0101	0.0137	0.0111	0.0098	0.0014	0.0014
Hierro, Fe	5	0.095	0.265	0.098	0.185	0.15	0.018	1.251
Mercurio, Hg	0.001	0.01	0.027	0.01	0.018	0.015	0.0004	0.0004
Potasio, K		1.42	0.918	0.421	7.472	6.833	17.4	0.3
Litio, Li	2.5	0.0009	0.0009	0.0009	0.0688	0.0612	0.3327	0.0013
Magnesio, Mg		3.265	2.696	3.536	13.41	9.84	24.8	3.52
Manganoso, Mn	0.2	0.0135	0.0288	0.0085	0.0192	0.018	0.0035	0.0062
Molibdeno, Mo		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sodio, Na		7.666	4.65	6.319	51.772	42.253	122.64	0.95
Níquel, Ni	0.2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fósforo, P		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Plomo, Pb	0.05	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Antimonio, Sb		0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Selenio, Se	0.02	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Sílice, SiO ₂		12.255	10.27	14.843	8.883	4.514	25.159	27.499
Estaño, Sn		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Estroncio, Sr		0.16009	0.06972	0.11124	0.7601	0.50487	1.501	0.1561
Titanio, Ti		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
Talio, Tl		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Uranio, U		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.02
Vanadio, V		0.0021	0.0009	0.0008	0.0023	0.0054	0.0008	0.0008
Zinc, Zn	2	0.0082	0.0047	0.0073	0.0067	0.0052	0.0005	0.0005
Carbonatos						5	5	5
Cloruros	518	18.74	42.42	13.81	116.41	89.77	143	5
Bicarbonatos	500	37.58	23.15	36.23	59.05	26.5	130.05	47.58
Fluoruros	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.52	1.68
Nitrato		1.64	0.11	0.2	1.23	0.11	0.6	0.2
Nitritos		0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01
Sulfatos	1000	5.17	2.5	2.5	224.09	159.36	336.6	4.4
Fosfatos		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

Tabla 59

Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) consumo humano (aguas que pueden ser potabilizadas)

Parámetro	ECA aguas que pueden ser potabilizadas	Temporada de lluvia					Temporada de estiaje		
		M06	M09	M08	AS1	M11	M11	M09	M06
Plata, Ag		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Aluminio, Al	0.9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Arsénico, As	0.01	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008

Boro, B	2.4	0.033	0.032	0.105	0.185	0.158	0.457	0.016	0.025
Bario, Ba	0.7	0.0186	0.0297	0.0338	0.0507	0.0436	0.015	0.01	0.004
Berilio, Be	0.012	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bismuto, Bi		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.03	0.03	0.03
Calcio, Ca		20.882	11.989	17.093	72.528	51.575	140.528	18.361	14.847
Cadmio, Cd	0.003	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0005
Cerio, Ce		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
Cobalto, Co		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009
Cromo, Cr	0.05	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0024	0.0009	0.0009	0.0009
Cobre, Cu	2	0.0096	0.0101	0.0137	0.0111	0.0098	0.0014	0.0014	0.0014
Hierro, Fe	0.3	0.095	0.265	0.098	0.185	0.15	0.018	1.251	0.211
Mercurio, Hg	0.001	0.01	0.027	0.01	0.018	0.015	0.0004	0.0004	0.0004
Potasio, K		1.42	0.918	0.421	7.472	6.833	17.4	0.3	2.1
Litio, Li		0.0009	0.0009	0.0009	0.0688	0.0612	0.3327	0.0013	0.0035
Magnesio, Mg		3.265	2.696	3.536	13.41	9.84	24.8	3.52	2.04
Manganoso, Mn	0.4	0.0135	0.0288	0.0085	0.0192	0.018	0.0035	0.0062	0.0047
Molibdeno, Mo	0.07	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sodio, Na		7.666	4.65	6.319	51.772	42.253	122.64	0.95	1.36
Níquel, Ni	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fósforo, P		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Plomo, Pb	0.01	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Antimonio, Sb	0.02	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Selenio, Se	0.04	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Sílice, SiO ₂		12.255	10.27	14.843	8.883	4.514	25.159	27.499	16.845
Estaño, Sn		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Estroncio, Sr		0.16009	0.06972	0.11124	0.7601	0.50487	1.501	0.1561	0.1437
Titanio, Ti		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
Talio, Tl		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Uranio, U	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.02	0.02
Vanadio, V		0.0021	0.0009	0.0008	0.0023	0.0054	0.0008	0.0008	0.0008
Zinc, Zn	3	0.0082	0.0047	0.0073	0.0067	0.0052	0.0005	0.0005	0.0005
Cloruros		18.74	42.42	13.81	116.41	89.77	143	5	5
Bicarbonatos		37.58	23.15	36.23	59.05	26.5	130.05	47.58	41.24
Fluoruros		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.52	1.68	0.21
Nitrato		1.64	0.11	0.2	1.23	0.11	0.6	0.2	0.2
Nitritos		0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Sulfatos		5.17	2.5	2.5	224.09	159.36	336.6	4.4	6.3
Fosfatos		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

11.7.2 Discusiones de hidroquímica

En relación con el objetivo específico 6, orientado a evaluar la composición hidroquímica del agua y su aptitud para distintos usos, los resultados obtenidos en la microcuenca Ccoloyo evidencian una estrecha relación entre la calidad del agua, la unidad hidrogeológica que la aloja y

la estacionalidad climática. Las aguas analizadas presentan pH predominantemente neutro a ligeramente básico y conductividades eléctricas bajas a moderadas, lo que indica un bajo a moderado grado de mineralización, característico de sistemas hidrogeológicos altoandinos con recarga meteórica activa.

Los diagramas hidroquímicos muestran un predominio de facies bicarbonatadas cálcicas ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), especialmente en los acuíferos porosos no consolidados durante la época de lluvias, lo que refleja aguas jóvenes con tiempos de residencia cortos y limitada interacción agua-roca. Este comportamiento es consistente con los resultados reportados por Quispe et al. (2019) en acuíferos carbonatados del sur del Perú, quienes identificaron facies $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ como dominantes en sistemas asociados a calizas y depósitos cuaternarios, vinculadas a procesos de disolución de carbonatos y recarga directa por precipitación.

Durante la temporada de estiaje, se observa una evolución hidroquímica hacia facies más mineralizadas ($\text{Ca}-\text{SO}_4$ y $\text{Ca}-\text{Cl}$), principalmente en las aguas asociadas a acuitardos y acuíferos fisurados de la Unidad Choquechambe. Esta evolución refleja mayores tiempos de residencia y una interacción prolongada con la matriz rocosa, favoreciendo la disolución de minerales secundarios y la concentración de sales. Este patrón coincide con lo reportado en la Evaluación hidrogeológica de las cuencas Cañipía y Salado realizada por Peña Laureano et al. (2013), quienes señalan que en Espinar la calidad del agua subterránea puede verse influenciada por sulfatos y metales asociados a unidades volcánicas, intrusivas y procesos hidrotermales regionales.

En cuanto a los elementos traza, la mayoría de los metales analizados se encuentran por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para riego, consumo animal y, en varios casos, para potabilización. Sin embargo, la presencia puntual de concentraciones elevadas de mercurio y fluoruros constituye un aspecto crítico. Estos resultados son coherentes con antecedentes locales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la provincia de Espinar, donde se ha documentado

la ocurrencia natural de ciertos elementos, como metales y fluoruros, asociados al contexto geológico regional y a la interacción agua–roca, más que a procesos antrópicos directos.

La diferenciación hidroquímica entre aguas subterráneas someras, aguas alojadas en unidades de baja permeabilidad y aguas superficiales confirma que los acuíferos porosos no consolidados presentan la mejor calidad y mayor estabilidad química, lo que los posiciona como las fuentes más adecuadas para abastecimiento local. En contraste, las aguas asociadas a unidades fisuradas e intrusivas, aunque importantes como fuentes de descarga permanente, requieren un control y tratamiento previo para su uso seguro.

Estos resultados permiten validar la hipótesis 6, que plantea la predominancia de facies bicarbonatadas cárnicas o mixtas, con conductividades moderadas y evidencia de interacción agua–roca. Asimismo, confirman lo señalado por los antecedentes locales en Espinar, donde la calidad del agua subterránea está fuertemente condicionada por la geología, la estructura y los tiempos de residencia del flujo subterráneo (Peña Laureano et al., 2013; Quispe et al., 2019; ANA, 2019).

Conclusiones

1. La microcuenca de Ccoloyo presenta un relieve heterogéneo dominado por colinas intrusivas y sedimentarias (cerros Lequemarca, Marquiri, Huisajuluyo y Hunipampa), mesetas erosionadas en el sector noroeste (quebrada Ccoloyo) y planicies que incluyen terrazas fluviales y aluviales en la comunidad de Huisa Collana, así como superficies antrópicas modificadas por la actividad minera, como la relavera de Hunipampa. Esta configuración geomorfológica, con pendientes de moderadas a altas y control estructural marcado, se complementa con los resultados morfométricos, que indican una morfología oblonga-alargada (Elongación = 1.66; Compacidad = 1.53; Circularidad = 0.42; rectángulo equivalente 8.63×1.64 km). Los parámetros de pendiente (LMP = 4.44 %; S = 12.8 %) y el tiempo medio de traslado (3.2 h) evidencian una respuesta hidrológica rápida, con alta susceptibilidad a crecidas súbitas y procesos erosivos, especialmente en la quebrada Ccoloyo y sus afluentes. En conjunto, la integración de la geomorfología y la morfometría muestra que la cuenca posee una morfología dinámica y vulnerable, condicionada tanto por factores litológicos y estructurales como por la intervención antrópica, lo cual constituye un aspecto clave para la comprensión de su comportamiento hidrológico y la gestión de sus recursos hídricos.
2. La geología local de la zona de estudio está conformada por la Formación Arcurquina con afloramientos de calizas grises azulada con venillas de calcita y nódulos de chertz, se evidencian al oeste de la microcuenca, mientras que al sur se observa un alineamiento de dolinas. El Grupo Maure aflora al oeste de la microcuenca, compuesto por dolomitas de color gris blanquecino, arenas tufáceas gris blanquecinas, diatomitas y limoarcillas marrón rojizo. La unidad Choquechambe conformado por rocas ígneas de afloramientos de granodiorita aflora al este de la microcuenca Ccoloyo, los afloramientos evidencian diferentes grados de fracturamiento por la actividad tectónica; y por último, los depósitos

cuaternarios recientes como depósitos fluviales y aluviofluviales, que tiene la litología de gravas de clastos subredondeados de matriz arenosa aflorando en la parte central de la microcuenca Ccoloyo.

3. El análisis estructural realizado en la microcuenca Ccoloyo permite concluir que la deformación está dominada por una orientación regional NW–SE, reflejada en los rumbos de los estratos que se concentran entre 230° y 260°, con un valor promedio de 245°. Los buzamientos varían entre 15° y 70°, predominando aquellos moderados de 30° a 50° (promedio $\approx 40^\circ$). Esta disposición evidencia un control tectónico definido, responsable de la configuración de pliegues y fallas que estructuran la zona.

Los pliegues reconocidos en el área muestran ejes con azimuts coincidentes con la tendencia regional, entre 230° y 260°, y plunges bajos que oscilan de 2° a 20°, con un promedio de 6°. Esto indica la presencia de pliegues mayoritariamente subhorizontales, aunque en el sector noroeste se manifiesta una mayor complejidad estructural asociada a pliegues apretados que generan variaciones locales en el rumbo y buzamiento.

La falla F1 de dirección NW–SE se evidencia por la distribución de dolinas a lo largo de la Formación Arcurquina. En cuanto a la deformación frágil, la Falla F2 constituye un rasgo principal, con rumbo de 245°, azimut de 75° y buzamiento empinado estimado entre 50° y 85°. Su orientación, coincidente con la de los estratos, sugiere una posible relación genética con el plegamiento o un evento de reactivación tectónica que aprovechó planos de debilidad preexistentes.

Las fallas inferidas F3 y F4 con direcciones NE–SW presentan manantes alineados, lo que constituye un indicador de su posible influencia en la circulación de agua subterránea.

4. El análisis morfométrico e hidrometeorológico de la microcuenca de Ccoloyo permite establecer que se trata de un sistema de respuesta rápida frente a eventos de precipitación, condicionado por su relieve con pendientes moderadas a altas (declividad equivalente

constante de 12,8 % y línea de máxima pendiente de 4,44 %) y un tiempo medio de traslado reducido (3,2 horas).

La precipitación media anual es de 862,8 mm, concentrándose entre enero y marzo con un máximo de 190,3 mm en enero, mientras que los valores mínimos se registran en junio (4,1 mm), lo que refleja la marcada estacionalidad del régimen hídrico. Esta condición determina la variabilidad en la recarga de acuíferos y, por consiguiente, la disponibilidad de agua en los manantiales, los cuales presentan caudales más abundantes en época de lluvias y reducidos en la estación seca (mayo–agosto).

Las temperaturas mínimas medias alcanzan valores negativos en invierno (-6,9 °C en julio), lo que, junto con los altos niveles de evaporación (máximo de 133,3 mm en setiembre) y la menor humedad relativa (53,7 % en setiembre), intensifica la pérdida de agua y disminuye la infiltración efectiva durante la época seca.

5. En el análisis de las líneas de tomografía, se determina el nivel freático entre 1-10 m de profundidad a lo largo de las secciones, las líneas de tomografía eléctrica (LT-HU-01 a LT-HU-08) en la parte baja evidencia un acuífero libre poco profundo dentro de los depósitos cuaternarios, caracterizado por resistividades bajas entre 2 y 30 $\Omega \cdot m$ desde los 5 a 40 m de profundidad, en conexión directa con bofedales y cauces. En las secciones cercanas al dique y relaves (LT-HU-03, 04 y 05), estas resistividades bajas se intensifican. Por debajo de 40 m, se observan resistividades intermedias de 30 a 150 $\Omega \cdot m$, que corresponden a materiales del Grupo Maure, que actúa como acuitardo-acuiclude. A mayor profundidad (100–150 m), las resistividades aumentan a 100–500 $\Omega \cdot m$, asociadas a la Formación Arcurquina, compuesta por calizas fracturadas y kársticas que representan un acuífero de productividad media a buena. Las resistividades altas entre 150-680 $\Omega \cdot m$ corresponden al intrusivo Choquechambe y puntualmente indica el contacto entre la formación Arcurquina y Choquechambe al noroeste de la microcuenca Ccoloyo.

De acuerdo a las secciones geofísicas, las secciones FF', GG' y HH' son las zonas propuestas para ubicar pozos abiertos debido a que se encuentran fuera del área inmediata de influencia de la relavera Huinipampa, se evidencia un acuífero poroso no consolidado que ofrece una recarga transmisible y extracción mediante pozos abiertos y no se observa proximidad de cuerpos carbonáticos fisurados u oquedades que faciliten perdida rápida de agua hacia niveles profundos; además, existe una posible influencia de las fallas regionales inferidas F2 y F3 que pueden contribuir en la alimentación y recarga de agua. El tipo de pozo propuesto tiene las siguientes características: profundidad 10m, diámetro interior de 1m, revestimiento para asegurar las paredes con anillos de concreto y tapa hermética de concreto.

6. El análisis hidrogeológico de la microcuenca de Ccoloyo evidencia la presencia de unidades con diferente capacidad de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, destacando en primer lugar a los depósitos cuaternarios, los cuales constituyen la unidad más favorable para el abastecimiento comunitario mediante perforación de pozos. Estos depósitos, conformados por arenas, gravas y limos con espesores de hasta 40 metros, presentan porosidades elevadas (25–40 % en sectores arenosos y gravosos; 35–55 % en limos y arcillas) y permeabilidades moderadas (0.017–0.03 m/d). Si bien los manantiales muestrados (MA-08 y HU-04) registraron caudales de hasta 0.14 L/s, dichos valores no reflejan la capacidad real de almacenamiento del acuífero granular, que por su naturaleza continua y homogénea constituye el reservorio más confiable para el desarrollo de pozos de abastecimiento.

Un aspecto estructural relevante es la presencia de las fallas inferidas F3 y F4, que atraviesan los depósitos cuaternarios. Estas fallas, de dirección NE, se interpretan como parte de un sistema de fallamiento regional. Su traza favorece la conectividad hidráulica y la recarga subterránea, constituyendo un posible aporte adicional de agua hacia los

depósitos cuaternarios. La interacción entre este sistema de fracturas regionales y el acuífero granular incrementa la probabilidad de obtener caudales sostenidos en caso de perforación de pozos en esta zona.

La formación Arcurquina representa un segundo acuífero de interés, conformado por calizas intensamente fracturadas y sectores kársticos, con permeabilidades de hasta 59.88 m/d. Los valores de RMR (51–72 en ventanas 2, 6, 7 y 8) reflejan un macizo de calidad moderada a buena, con fracturas interconectadas que permiten la circulación de agua. No obstante, la presencia de cavernas y conductos asociados a procesos de karstificación puede favorecer la pérdida de agua hacia niveles más profundos, lo cual constituye un riesgo para su almacenamiento sostenido. Aunque no se registraron caudales directos en manantiales, la evidencia estructural e hidrogeológica confirma su rol como un acuífero fisurado–kárstico de alto potencial pero condicionado.

La Unidad Choquechambe muestra un comportamiento contrastante en función de su fracturamiento. En los sectores intensamente fisurados (granodioritas), se identificaron manantiales estacionales (MA-01 a MA-04 y HU-01) con caudales de 0.022 a 0.41 L/s, y una permeabilidad calculada de 239.52 m/d, reflejando que el flujo depende directamente de la conectividad de fracturas. Los valores de RMR (39–40) corresponden a macizos de baja calidad geomecánica, lo que coincide con la mayor presencia de agua en zonas fracturadas. En contraste, en sectores menos fracturados, donde la granodiorita actúa como acuitardo, se obtuvieron valores más altos de RMR (57, 61 y 72), que corresponden a macizos competentes con baja conectividad hidráulica. En estas zonas, sin embargo, se localizan manantiales permanentes como el MA-09 (11.6 L/s), junto con otros de caudales bajos (0.09 L/s y varios sin datos reportados), evidenciando que el acuífero puede concentrar flujos importantes bajo condiciones estructurales favorables.

El Grupo Maure (Miembros II y III) actúa mayoritariamente como un sistema acuitardo-acuiclude, limitando el flujo subterráneo hacia las unidades más productivas. El Miembro II, compuesto por dolomías y limoarcillitas, presenta porosidades de 5–20 % y una permeabilidad reducida (≈ 0.48 m/d), mientras que el Miembro III, compuesto por limoarcillas y diatomitas, posee porosidades de 5–10 % y permeabilidad de apenas 0.072 m/d. No se identificaron manantiales ni valores de RMR en esta unidad, lo que confirma su función de sello hidrogeológico.

7. El análisis hidroquímico de la microcuenca Ccoloyo evidencia que las características del agua están fuertemente condicionadas por la geología local, la estacionalidad y el tipo de fuente de origen. Los resultados obtenidos muestran que, en general, las aguas presentan un rango de pH entre ligeramente ácido y fuertemente básico, con predominio de condiciones neutras a alcalinas, conductividades bajas a moderadas y turbidez variable según la influencia de la escorrentía. Estas condiciones reflejan una interacción natural con los materiales geológicos, pero también evidencian diferencias marcadas entre aguas de recarga reciente, aguas más evolucionadas y fuentes superficiales.

Los diagramas hidroquímicos (Piper, Schoeller y Stiff) confirman la predominancia de facies cálcicas, principalmente del tipo Ca–HCO₃ en época de lluvias, lo que se asocia a aguas jóvenes de recarga meteórica, y facies Ca–Cl y Ca–SO₄ en estiaje, que reflejan tiempos de residencia más prolongados asociados a aguas regionales, procesos de disolución de evaporitas y mayor evolución química. Esta dinámica estacional indica que durante las lluvias predomina el aporte de aguas someras, mientras que en estiaje se concentran sales y metales por la mayor influencia de aguas alojadas en unidades de baja permeabilidad.

La comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) muestra que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de los valores permitidos. No obstante, se

identificaron excedencias puntuales: en temporada de estiaje, la muestra M09 presenta un valor de 1.251 mg/L de hierro (Fe) para consumo humano (aguas que pueden ser potabilizadas), superando el límite máximo permitido de 0.3 mg/L.

Cabe resaltar que el punto más cercano al pozo propuesto en los depósitos cuaternarios se encuentra dentro de los parámetros establecidos por los ECA para aguas destinadas a potabilización, bebedero de animales y riego, lo que confirma su aptitud como fuente de aprovechamiento.

El estudio integral de la microcuenca de Ccoloyo demuestra que los depósitos cuaternarios constituyen la unidad hidrogeológica más importante para el abastecimiento y gestión del recurso hídrico. Estos depósitos, conformados por gravas, arenas y limos en terrazas y planicies fluviales, presentan una alta porosidad (25–55 %) y permeabilidades moderadas (0.017 a 0.03 m/d), lo que les confiere un comportamiento favorable como acuíferos libres poco profundos. La información geofísica refuerza esta interpretación, al evidenciar resistividades bajas entre 2 y 30 $\Omega \cdot m$ hasta los 40 m de profundidad, características de materiales saturados con agua subterránea de buena calidad.

El control tectónico, ejercido por fallas y fracturas de rumbo NW–SE y sistemas NE–SW, favorece la conectividad vertical y lateral de estos depósitos, facilitando su recarga y transmisión hidráulica. Asimismo, la alineación de manantiales y dolinas confirma que los cuaternarios actúan como zonas de infiltración activa, con una dinámica de respuesta rápida frente a las precipitaciones.

Un aspecto clave del estudio es que las secciones de tomografía eléctrica fueron obtenidas en época de estiaje, lo cual demuestra que, pese a la disminución estacional de las lluvias, los depósitos cuaternarios mantienen reservas significativas de agua subterránea. Este hecho

confirma su potencial de abastecimiento sostenido durante todo el año, consolidándolos como el reservorio estratégico más confiable y accesible de la microcuenca.

En este contexto, se propone la perforación de tres pozos (por el costo y por la cantidad de personas en la comunidad) en las secciones FF', GG' y HH', las cuales representan los sectores más favorables para la explotación, al encontrarse alejados de la relavera de Hunipampa y, por tanto, menos expuestos a posibles riesgos de contaminación, además de que tienen la particularidad de una posible influencia regional evidenciado por el alineamiento de manantes que pueden ser probables aportantes de agua. Estos pozos aprovecharán la continuidad del acuífero cuaternario y su elevada capacidad de almacenamiento, convirtiéndose en una solución viable y estratégica para garantizar el abastecimiento de agua en la comunidad de Huisa Collana.

Finalmente, la hidroquímica de las aguas asociadas a los depósitos cuaternarios, dominada por facies Ca-HCO₃ en lluvias y con baja mineralización, respalda su rol como fuentes de recarga meteórica directa y de buena calidad.

Recomendaciones

1. Se recomienda la construcción de un pozo abierto en las secciones geofísicas HU-06 HU-07 y HU-08, correspondiente a depósitos cuaternarios no consolidados y saturados, debido a que presenta condiciones hidrogeológicas favorables, está asociada a fallas regionales, se encuentra alejada de la relavera Hunipampa y existe un manantial cercano con parámetros de calidad aceptables.
2. Se recomienda la instalación de un piezómetro de monitoreo multinivel, con puntos de observación en el acuífero poroso superior y en la roca subyacente, a fin de evaluar la dinámica vertical de las aguas subterráneas y determinar su calidad.

3. Se recomienda evaluar las condiciones hidrogeológicas del acuífero fisurado Choquechambe y definir un método de explotación propicio en base a la caracterización definida en este trabajo de tesis, puesto que evidencia caudales que pueden ser aprovechables para temporadas de sequía.

Referencias bibliográficas

- Análisis de Situación de Salud – Espinar (2020).
- https://www.redsaludcce.gob.pe/Modernidad/archivos/epidemiologia/ASIS/ASIS_Espinar_2020.pdf
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (1996). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema.
- Arque Cahuana, W. B., & Quispe Pariguana, O. (2023). Modelamiento Hidrogeológico para Determinar la Influencia del Flujo Subterráneo a los Acuíferos de la Cuenca Huanacahuire, San Jerónimo—Cusco. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Resolución administrativa N° 0375-2013-ANA/ALA AVV*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Resolución administrativa N° 0873-2019-ANA-AAA.PA*.
- <http://www.ana.gob.pe/normatividad/resolucion-directoral-ndeg-0873-2019-ana-aaapa>
- Banco de Datos de Pueblos Indígenas. (2007). *Huisa Collana*. Ministerio de Cultura del Perú. Recuperado el 12 de agosto de 2025, de <https://bdpi.cultura.gob.pe/localidades/huisa-collana>
- Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: A challenge for new resources. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 148–160. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0402-9>
- Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000—[Boletín A 138]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/99>
- Carlotto, V., & Cárdenas, J. (2025). *Geología, mineralizaciones y aguas subterráneas del distrito minero Tintaya-Antapaccay: Una mirada geoambiental desde los resultados de la Mesa de Diálogo de Espinar (2012-2013) hasta la Evaluación Ambiental de Causalidad (2022-2023)*.

- Cerpa, L., Cereceda, C., Torres, D., Muñoz, L., Aguilar, R., & Rodriguez, F. (2011). Geología del cuadrángulo de Condoroma, hoja 31-t, escala 1:50,000—[Boletín A 143]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/105>
- Chacón, A., Navarro Ramírez, J. P., Cerpa Cornejo, L. M., Aguilar Contreras, R., Siesquen, D., Muñoz Valdivia, L. M., & Martínez Martínez, J. (2013). La Formación Arcurquina en el área de Santa Ana, Ayacucho, sur del Perú. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2226>
- Chara Olgún Y. y Soncco Mamani Y. E. (2022). “Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querqueccocha, Distrito de Velille, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco, 2020”. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*.
- De la Cruz, N. (1995). Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, hojas 30-s, 30-t, 30-u y 30-v—[Boletín A 58]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/179>
- Elorrieta Agramonte, J. I., Lastarria Rivera, M. E., & Ricalde Ríos, E. (2017). *Plan de desarrollo concertado, municipalidad distrital de San Jerónimo, Cusco* (p. 532).
- Ford, D. C., & Williams, P. W. (2017). *Karst hydrogeology and geomorphology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson education.
- González, N. (2002). *Hidrogeología aplicada*. Universidad Politécnica de Valencia.
- INGEOGIS. (2024). *Estudios Hidrogeológicos Boyacá*. <https://ingeogis.com/geologia-y-mineria/hidrogeología>
- Ingol, E., & Castañeda Zavaleta, M. E. (2017). *DIRECTRICES PARA EL MODELAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN PERÚ*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16265.49760>

Jadoon, K. Z., Rahman, A., & Shahid, S. (2019). Groundwater potential assessment in mountainous areas using GIS-based multicriteria analysis: A case study from the High Atlas, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 78(6), 1–18.

<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8182-6>

Kirpich, Z. P. (1940). *Time of concentration of small agricultural watersheds*. Civil Engineering, 10(6), 362.

López Fiestas, E. D. (2022). *Evaluación hidrogeológica y geofísica para la búsqueda de recursos hídricos subterráneos en el predio P2-206 y 207—Sector Víctor Raúl Haya de la Torre—Cieneguillo Sur—Distrito, provincia y departamento de Piura—Perú*.
<https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/4069>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.100: Suministro de agua potable*. MVCS.

Millan Araujo, M. (2020, August 14). *GUÍA CIUDADANA PARA PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO* by PRIGA_UNA - Issuu
https://issuu.com/jmillan/docs/guia_recursos_hidricos_08-20

Municipalidad Provincial de Espinar. (s. f.). *Plan de Desarrollo Concertado Provincial de Espinar al 2033*. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7031484/6053692>-OEFA. (2019). *Muestreo ambiental en zonas aledañas a la comunidad campesina de Huisa*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

Peña Laureano, F., Farfán Meza, J. C., & Ng Cutipa, W. L. (2013). Evaluación hidrogeológica de las cuencas Cañipía y Salado, zona de influencia de la compañía minera Tintaya. Región Cusco, provincia de Espinar, distrito de Espinar. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2291>

- Portocarrero Huaco, J. (2010). *Captación y abastecimiento de agua potable manantial Choquepito*. Expediente Técnico. <https://es.scribd.com/document/372781513/Memoria-Agua-Potable-Manantial-Choquepito#>
- Pulido, J. (2007). *Calidad del agua*. McGraw-Hill.
- Servicio Geológico Mexicano – SGM. (2016). *Manual de estratigrafía*.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Moghaddam, D. D. (2021). *Groundwater potential mapping in fractured carbonate aquifers using remote sensing and GIS-based multicriteria decision analysis*. *Journal of Hydrology*, 596, 126082. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126082>
- Ramos, J. A., Miranda, W. R. R., & Gamazo, P. (2016). Evaluación hidrogeológica en Melo, Uruguay, con el empleo de métodos geofísicos y técnicas geomáticas. *Revista Cubana de Ingeniería*, 7(3), Article 3.
- SGM. (2016). *Introducción Estratigrafía*. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Estratigrafia/Introduccion-estratigrafia.html>
- Sánchez, A., & Zapata, A. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Sicuani (29-t), Nuñoa (29-u), Macusani (29-v), Limbani (29-x), Sandia (29-y), San Ignacio (29-z), Yauri (30-t), Azángaro (30-v), Putina (30-x), La Rinconada (30-y), Condoroma (31-t), Ocuvir (31-u), Juliaca (31-v), Callalli (32-t), y Acora (32-x) escala 1:100,000. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2072>
- Soto-Loaiza, I. M., & Cuador-Gil, J. Q. (2016). Factores geológicos que afectan la continuidad espacial del flujo en la inyección de agua en las unidades del yacimiento LGITJ-0102. *Minería y Geología*, 32(2), 1–16.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117–1142.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2016). *Metodología para la estimación del consumo de agua potable en el ámbito urbano y rural del país* (Informe técnico). SUNASS.

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2010). *Ciencias de la tierra: Una introducción a la geología física*. Pearson Educación Prentice Hall.

Villarroya, F. (2009). Hidrogeología. Universidad de Zaragoza.

Villón, M. (2002). *Hidrología de cuencas*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima-Perú.

Lytman S. Jordán G., Edward Sánchez V., Marco Acebedo Z., y Mario C. Lázaro (2014). Controles estructurales en el distrito minero de Tintaya. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET*. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/BSGP-109-67.pdf>

Anexos

1. Informe de ensayos de laboratorio para el análisis hidroquímico.

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0922

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 10:54 am (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Uranio)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



Diego Romano Vergaray D'Arrigo
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0922

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

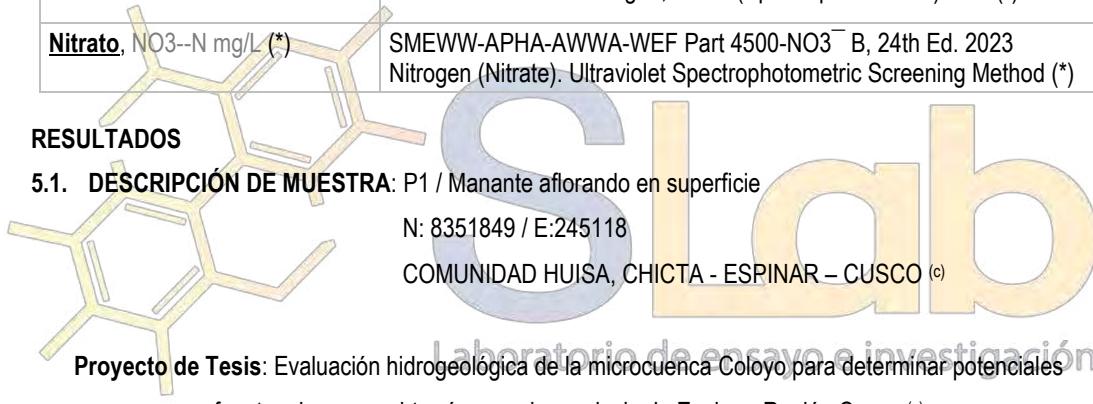
ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃--N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P1 / Manante aflorando en superficie

N: 8351849 / E:245118

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR – CUSCO (c)



INFORME DE ENSAYO IE-2024-0922

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.152
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0234
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	23.926
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0070
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0140
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.192
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.019
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	1.696
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	3.727
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0159
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	9.190
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	14.646
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.18930
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0028
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0231

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0922

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.033
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0186
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	20.882
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0096
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.095
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.010
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	1.42
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	3.265
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0135
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	7.666
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	12.255
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.16009
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0021
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0082

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0922

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1801	Cloruros (*)	Cl- mg/L	5.00	18.74
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO3	5.00	37.58
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO3--N mg/L	0.20	1.64
	Nitrito (*)	NO2-N mg/L	0.01	0.02
	Sulfato (*)	mg SO4/L	2.50	5.17
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método
LDM: Límite de Detección de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
 - El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
 - El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
 - Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
 - Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0923

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 09:26 am (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0923

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃-N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P2 / Manantial aflorando en superficie

N: 8350823 / E: 244651

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR - CUSCO (c)

Laboratorio de ensayo e investigación

Proyecto de Tesis: Evaluación hidrogeológica de la microcuenca Coloyo para determinar potenciales

fuentes de agua subterránea en la provincia de Espinar, Región Cusco (c)

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0923

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.065
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0333
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	12.867
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0023
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0136
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.266
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.027
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	0.93
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	2.889
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0295
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	4.916
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	11.466
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.07695
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0011
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0073

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0923

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.032
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0297
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	11.989
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0101
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.265
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.027
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	0.918
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	2.696
	Manganoso, Mn	mg/L	0.00002	0.0002	0.0288
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	4.650
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	10.270
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.06972
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0009
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0047

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0923

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1802	Cloruros (*)	Cl ⁻ mg/L	5.00	42.42
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO ₃	5.00	23.15
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO ₃ ⁻ -N mg/L	0.20	0.11
	Nitrito (*)	NO ₂ -N mg/L	0.01	0.02
	Sulfato (*)	mg SO ₄ /L	2.50	<2.50
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método
LDM: Límite de Detección de Método.

(*) Información suministrada por el cliente.

(†) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.



- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
- Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0924

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 10:11 am (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0924

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃--N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P3 / Manante aflorando en superficie

N: 8351339 / E: 244312

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR - CUSCO (c)

Laboratorio de ensayo e investigación

Proyecto de Tesis: Evaluación hidrogeológica de la microcuenca Coloyo para determinar potenciales

fuentes de agua subterránea en la provincia de Espinar, Región Cusco (c)

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0924

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.107
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0393
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	17.362
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0015
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0152
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.120
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.013
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	0.47
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	3.641
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0104
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	6.423
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	14.992
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.11622
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0010
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0172

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0924

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.105
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0338
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	17.093
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0137
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.098
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.010
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	0.421
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	<0.0009
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	3.536
	Manganoso, Mn	mg/L	0.00002	0.0002	0.0085
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	6.319
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	14.843
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.11124
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0008
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0073

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0924

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1803	Cloruros (*)	Cl- mg/L	5.00	13.81
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO ₃	5.00	36.23
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO ₃ -N mg/L	0.20	<0.20
	Nitrito (*)	NO ₂ -N mg/L	0.01	0.01
	Sulfato (*)	mg SO ₄ /L	2.50	<2.50
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método

LDM: Límite de Detección de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.



Laboratorio de ensayo e investigación

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
- Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0925

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 14:04 pm (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



Diego Romano Vergaray D'Arrigo
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0925

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃--N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P4 / Manante junto a un canal de captación

N: 8351016 / E:242104

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR - CUSCO ^(c)

Laboratorio de ensayo e investigación

Proyecto de Tesis: Evaluación hidrogeológica de la microcuenca Coloyo para determinar potenciales

fuentes de agua subterránea en la provincia de Espinar, Región Cusco ^(c)

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0925

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.246
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0571
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	87.452
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0062
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0116
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.236
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.024
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	9.01
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0833
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	16.101
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0346
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	62.790
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	10.605
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.87280
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0025
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0072

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0925

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.185
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0507
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	72.528
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	<0.0008
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0111
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.185
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.018
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	7.472
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0688
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	13.410
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0192
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	51.772
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	8.883
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.76010
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0023
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0067

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0925

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1804	Cloruros (*)	Cl ⁻ mg/L	5.00	116.41
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO ₃	5.00	59.05
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO ₃ -N mg/L	0.20	1.23
	Nitrito (*)	NO ₂ -N mg/L	0.01	0.03
	Sulfato (*)	mg SO ₄ /L	2.50	224.09
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método
LDM: Límite de Detección de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
- Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0926

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 14:24 pm (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃--N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P5 / Rio superficial /Temporal

N: 8350965 / E: 241944

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR - CUSCO (c)

SLab
Laboratorio de ensayo e investigación

Proyecto de Tesis: Evaluación hidrogeológica de la microcuenca Coloyo para determinar potenciales fuentes de agua subterránea en la provincia de Espinar, Región Cusco (c)

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.227
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0493
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	59.939
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0024
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0115
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.153
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.016
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	7.88
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0748
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	11.553
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0189
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	49.935
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	5.071
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.56977
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0057
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0080

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.158
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0436
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	51.575
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0024
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0098
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.150
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.015
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	6.833
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0612
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	9.840
	Manganoso, Mn	mg/L	0.00002	0.0002	0.0180
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	42.253
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	4.514
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.50487
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0054
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0052

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1805	Cloruros (*)	Cl ⁻ mg/L	5.00	89.77
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO ₃	5.00	26.50
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO ₃ -N mg/L	0.20	0.11
	Nitrito (*)	NO ₂ -N mg/L	0.01	0.02
	Sulfato (*)	mg SO ₄ /L	2.50	159.36
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método
LDM: Límite de Detección de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
 - El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
 - El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
 - Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
 - Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0926

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : YANETH M. HUAMANI MENDIGURE / DAHIZE LIDIA MOYNA
 MENDOZA
 1.2 RUC o DNI : 73624036 / 73615341
 1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : AGUA NATURAL
 2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
 2.3 Número de Muestras : 01
 2.4 Fecha de Recepción : 2024-05-06
 2.5 Periodo de Ensayo : 2024-05-06 al 2024-05-15
 2.6 Fecha de Emisión : 2024-05-16
 2.7 Fecha y Hora de Muestreo : 2024-05-05 / 14:24 pm (c)
 2.8 N° de cotización : COT-117440-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
<u>Alcalinidad por Bicarbonatos</u>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed. 2023 Alkalinity. Titration Method
<u>Fosfato</u>	"EPA Method 365.3 Ed. 1978 Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent) - (Total Phosphorus (P)-Total Orthophosphate (P, ortho)-Dissolved Orthophosphate (P-D, ortho))"
<u>Flúor</u> (Como Fluoruros)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F-C, 24th Ed. 2023 Fluoride. Ion-Selective Electrode Method
<u>Sulfato (*)</u>	EPA Method 375.4 (Revisión 1978) Sulfate (Turbidimetric) (*)
<u>Metales Disueltos ICP-OES</u> (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	"EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 Method 200.7 Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry"



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

4. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA (CONTINUACIÓN)

ENSAYO	MÉTODO
Metales Totales ICP-OES (Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Sílice, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc, Bismuto, Urano)	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Cloruros (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method. (*)
Nitrito, NO₂-N mg/L (*)	EPA Method 354.1 Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric) 1971(*)
Nitrato, NO₃--N mg/L (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ ⁻ B, 24th Ed. 2023 Nitrogen (Nitrate). Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (*)

5. RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: P5 / Rio superficial /Temporal

N: 8350965 / E: 241944

COMUNIDAD HUISA, CHICTA - ESPINAR - CUSCO (c)

SLab
Laboratorio de ensayo e investigación

Proyecto de Tesis: Evaluación hidrogeológica de la microcuenca Coloyo para determinar potenciales
fuentes de agua subterránea en la provincia de Espinar, Región Cusco (c)

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES TOTALES ICP-OES

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.227
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0493
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	59.939
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0024
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0115
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.153
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.016
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	7.88
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0748
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	11.553
	Manganoso, Mn	mg/L	0.0001	0.0002	0.0189
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	49.935
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	5.071
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.56977
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0057
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0080

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE METALES DISUELtos ICP-OES

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LDM	LCM	Resultados
	Plata, Ag	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Aluminio, Al	mg/L	0.005	0.020	<0.020
	Arsénico, As	mg/L	0.002	0.008	<0.008
	Boro, B	mg/L	0.002	0.008	0.158
	Bario, Ba	mg/L	0.0002	0.0010	0.0436
	Berilio, Be	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Bismuto, Bi	mg/L	0.002	0.0070	<0.0070
	Calcio, Ca	mg/L	0.002	0.006	51.575
	Cadmio, Cd	mg/L	0.0001	0.0004	<0.0004
	Cerio, Ce	mg/L	0.02	0.07	<0.07
	Cobalto, Co	mg/L	0.002	0.007	<0.007
	Cromo, Cr	mg/L	0.0002	0.0008	0.0024
	Cobre, Cu	mg/L	0.0003	0.0010	0.0098
	Hierro, Fe	mg/L	0.001	0.004	0.150
	Mercurio, Hg	mg/L	0.001	0.001	0.015
	Potasio, K	mg/L	0.04	0.10	6.833
	Litio, Li	mg/L	0.0003	0.0009	0.0612
	Magnesio, Mg	mg/L	0.005	0.020	9.840
	Manganoso, Mn	mg/L	0.00002	0.0002	0.0180
	Molibdeno, Mo	mg/L	0.0006	0.0020	<0.0020
	Sodio, Na	mg/L	0.004	0.010	42.253
	Níquel, Ni	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Fósforo, P	mg/L	0.01	0.04	<0.04
	Plomo, Pb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Antimonio, Sb	mg/L	0.002	0.006	<0.006
	Selenio, Se	mg/L	0.001	0.005	<0.005
	Sílice, SiO ₂	mg/L	0.001	0.004	4.514
	Estaño, Sn	mg/L	0.001	0.003	<0.003
	Estroncio, Sr	mg/L	0.00004	0.00010	0.50487
	Titanio, Ti	mg/L	0.0007	0.0020	<0.0020
	Talio, Tl	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Uranio, U	mg/L	0.0003	0.0010	<0.0010
	Vanadio, V	mg/L	0.0002	0.0007	0.0054
	Zinc, Zn	mg/L	0.0001	0.0004	0.0052

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0926

5.4. RESULTADOS OBTENIDOS FISICO - QUIMICOS

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-1805	Cloruros (*)	Cl ⁻ mg/L	5.00	89.77
	Alcalinidad Bicarbonato	mg /L CaCO ₃	5.00	26.50
	Flúor (como Fluoruros)	mg/L	0.10	<0.10
	Nitrato (*)	NO ₃ -N mg/L	0.20	0.11
	Nitrito (*)	NO ₂ -N mg/L	0.01	0.02
	Sulfato (*)	mg SO ₄ /L	2.50	159.36
	Fosfato	P mg /L	0.01	<0.01

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método
LDM: Límite de Detección de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
 - El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
 - El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
 - Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.
 - Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

FIN DE DOCUMENTO