

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



TESIS

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL
HIDRICO DE LA CUENCA DE COLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE,
PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023**

PRESENTADO POR:

BACH. YENY KARINA ANCCO CURAMPA

BACH. EDITH ROSMERY LIMACHI CATARI

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

ASESOR:

DR. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO

CUSCO – PERU

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:.....
" ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA
CUENCA COLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO-2023."

presentado por: EDITH ROSMERY LIMACHI CATARI..... con DNI Nro.: 77012218..... presentado
por: YENY KARINA ANCCO CURAMPA..... con DNI Nro.: 70339623..... para optar el
título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO.....

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

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

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

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

Cusco, 24 de Marzo..... de 2025.....

F. Bustamanti P.
.....
Firma

Post firma Fredy Victor Bustamanti Prado.....

Nro. de DNI 29457667.....

ORCID del Asesor Orcid.org/0000-0001-6291-7541.....

Se adjunta:

1. REPORTE GENERADO POR EL SISTEMA ANTIPLAGIO
2. ENLACE DEL REPORTE GENERADO POR EL SISTEMA ANTIPLAGIO : OIJ 27259:410885421

Edith Limachi

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DIST.docx

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:440885421

Fecha de entrega

19 mar 2025, 6:22 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 mar 2025, 3:42 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLC.....docx

Tamaño de archivo

12.3 MB

255 Páginas

27.178 Palabras

150.903 Caracteres

8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

- 7%  Internet sources
- 1%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
66 suspect characters on 2 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, agradeciéndole por todas las bendiciones que me ha dado en la vida, por ser mi guía en cada paso, por darme sabiduría, fortaleza y constancia para alcanzar esta meta tan importante en mi desarrollo profesional.

A mis queridos padres, Rosa Curampa Valdez y Juan Pio Ancco Puma, por su amor y apoyo incondicional, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, y por inculcarme desde niña los valores que hoy me definen. A mi hermano, Fernando Miguel Ancco Curampa, a quien admiro profundamente por lo que es como persona y como profesional; gracias por ser un ejemplo para mí, por tu compañía constante, por consolarme en mis caídas y celebrar conmigo cada alegría. A mi cuñada Yuli Troncoso ya mis sobrinos, Ariana Guadalupe y Jose Gael, por su cariño, apoyo y compañía. A ustedes, mi querida familia, los amo con todo mi corazón; son lo más valioso que tengo en esta vida.

A mi compañero incondicional, el regalo que Dios puso en mi camino, Franklin Jarvy Sanchez Gibaja, por tu paciencia, amor y comprensión. Gracias por acompañarme en este proceso, por compartir conmigo tu experiencia y conocimientos, por tu ayuda en las salidas de campo y, sobre todo, por ser mi soporte, motivándome a no desistir incluso en mis peores momentos; gracias por alentarme siempre a seguir adelante.

A mis compañeros y amigos de universidad, código 15-II, por su amistad y apoyo durante estos años. A los docentes de nuestra querida Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por compartir sus conocimientos y enseñanzas.

Y a todas las personas que, de una u otra forma, formaron parte de este camino; gracias por cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo. Todos han dejado una huella en este logro. ¡Muchas gracias!

Yeny Karina Ancco Curampa

Dedicatoria

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para recorrer este camino. A mis padres, Olga Catari y Valentín Limachi, por darme la oportunidad de iniciar esta carrera universitaria y por su amor incondicional, apoyo constante y los valores que me inculcaron, los cuales han forjado la persona que soy hoy.

A mis hermanos, Pilar L. Limachi Catari y Alex N. Limachi Catari, por ser guías y ejemplos en mi vida, por estar siempre presentes con su apoyo y por inspirarme a luchar por un futuro mejor.

A Alex Chalco, mi fiel compañero, gracias por estar a mi lado en las largas noches de desvelo, en cada salida de campo y animarme incluso en los momentos difíciles. También a su familia, la familia Chalco Rado, por acogerme y brindarme su apoyo sincero e incondicional.

A todos mis familiares, por su presencia, aliento y cariño constante.

A mis compañeros del código 15-II y amigos entrañables, por su compañía, por celebrar mis logros conmigo y por motivarme a seguir adelante. Siempre llevare su lealtad y amistad en mi corazón, con profunda gratitud.

Edith Rosmery Limachi Catari

Agradecimiento

Expresamos nuestra más sincera gratitud a nuestro asesor de tesis, el Dr. Fredy Víctor Bustamante Prado, por el tiempo dedicado a esta investigación, así como sus valiosos aportes, observaciones y correcciones, fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradecemos profundamente al Ing. Edison Mekias Barrios Sallo, gran amigo y profesional, por su constante apoyo, y por la motivación brindada desde el inicio hasta la culminación de este proyecto.

Nuestro reconocimiento también al Dr. Juan Carlos Ascue Cuba, Dra. Rocio Pacheco Roman y Dr. Ronald Luis Lopez Zapana por sus observaciones y recomendaciones brindadas, tiempo y dedicación durante la revisión del trabajo de tesis, que contribuyeron significativamente a mejorar el presente trabajo.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a los señores docentes de nuestra Escuela Profesional, por la formación académica, los conocimientos compartidos y las experiencias transmitida a lo largo de nuestra vida universitaria.

Resumen

Este estudio de investigación: “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO – 2023”, surge debido a las dificultades de suministro de agua en la población mencionada, por lo que se propuso objetivos para establecer el potencial hídrico en la cuenca de Ccolcayqui. En la cuenca Ccolcayqui se han identificado acuíferos fisurados que pertenecen a la formación Kayra, Sonco y Punacancha que son de origen sedimentario, los acuíferos no consolidados identificados son los depósitos aluviales y coluviales. La cuenca de Ccolcayqui evidencia un equilibrio entre el ingreso y descarga del agua dentro del sistema hidrogeológico, con una totalidad de capa de agua caída sobre la cuenca es de 948.55mm. Además, presenta una precipitación media mensual de 704.40 mm/año, cuenta con una temperatura media mensual es de 12.2 °C, en tanto la temperatura máxima es de 20.4 °C, en tanto la temperatura mínima es de 4 °C. Análogamente la evapotranspiración real es de 34.35 mm, con una escorrentía superficial de 183.25 mm, una infiltración de 367.49 mm/año, y como resultado -186.370 de déficit en el balance hídrico de almacenamiento el vendría hacer una cantidad de agua donde se necesita poder satisfacer las demandas potenciales en el distrito de Lucre. Y por ultimo se realizó un análisis hidro químico por iones dominantes del agua donde se determinó que el agua de la cuenca es cálcica sulfatada bicarbonatada magnésica, también se hizo el análisis hidro químico por el diagrama de potabilidad de Sholler-Berkaloff y se determinó que las aguas de la cuenca Ccolcayqui son aptas para el consumo humano.

PALABRA CLAVE: Hidrogeología, Cuenca, Hidrología, Potencial Hídrico, Balance hídrico

Abstract

This research study: "HYDROGEOLOGICAL STUDY TO DETERMINE THE WATER POTENTIAL OF THE CCOLCAYQUI BASIN, LUCRE DISTRICT, QUISPICANCHI PROVINCE, CUSCO DEP. - 2023 It arises due to the difficulties of water supply in the aforementioned population, so objectives were proposed to establish the water potential in the Ccolcayqui basin. In the Ccolcayqui basin, fissured aquifers have been identified that belong to the Kayra, Sonco and Punacancha formation, which are of sedimentary origin. The unconsolidated aquifers identified are alluvial and solivial deposits; A hydrochemical analysis was also carried out by dominant ions of the water where it was determined that the water in the basin is sulphated calcium, bicarbonated magnesium, the hydrochemical analysis was also carried out using the Sholler-Berkaloff potability diagram and it was determined that the waters of the basin Ccolcayqui are suitable for human consumption. The Ccolcayqui basin presents a water balance, between contributions and losses of water throughout the hydrogeological basin, the value of 9448.18mm per year, which is the value of the water stored in the aquifers. Finally, electrical prospecting by the method of electrical tomography and spontaneous potential has determined and identified the types of aquifers that vary from fissured sedimentary deposits to unconsolidated sedimentary deposits, and their depth of important volumes of water varies from 20 meters in the aquifers. unconsolidated detritus while in fissured sedimentary aquifers they have been identified at depths greater than 40 meters.

KEYWORD: Hydrogeology, Basin, Hydrology, Water Potential

Introducción

La importancia de evaluar el potencial de las aguas subterráneas para su aprovechamiento, nos impulsa a la necesidad de estimar su potencial hídrico de los acuíferos en estudios para evaluar las aguas subterráneas. En Cusco se realizan varios estudios con el fin de establecer el potencial hídrico de las cuencas en base a las precipitaciones y coeficientes de infiltración de los suelos en nuestro departamento. (Schosinsky. G, 2007).

Este trabajo se llevará a cabo en la comunidad de Ccolcayqui, Distrito de Lucre, Provincia de Quispicanchi y Departamento de Cusco, en una zona de 40.25 km² de área dentro de la quebrada Colcayqui, perteneciente a la cuenca de Lucre. Su objetivo principal es realizar estudios hidrogeológicos para calcular el potencial hídrico del acuífero de la cuenca, analizando los procesos hidrológicos tanto superficiales como subterráneos.

La cuenca Ccolcayqui, está conformada por la geomorfología cuyas subunidades que se encontraron son: Montañas en rocas sedimentarias, piedemonte coluvial de detritos, piedemonte coluvio deluvial, vertiente aluvio torrencial, terrazas aluviales, y con una pendiente fuertemente empinada. En geología tenemos las unidades litoestratigráficas como la formación Kayra, Soncco, Punacancha y depósitos cuaternarios. En geología estructural destacan las fallas inversas y anticlinal Saylla-Lucre. Hidrogeológicamente, la cuenca está en fase de juventud según la curva hipsométrica, realizando el balance hídrico se obtuvo una deficiencia de -186.37mm. Hidrogeológicamente la caracterización de las aguas subterráneas depende de factores como el tipo de rocas, su estructura y composición química, que influyen en su movimiento, almacenamiento y contenido. Este análisis también permite estudiar los procesos de recarga y descarga en la cuenca de Ccolcayqui. Y por último en la hidroquímica el agua es adecuada para que pueda consumir el ser humano y clasificada como cálcica sulfatada.

INDICE

Dedicatoria	I
Agradecimiento	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Introducción	VI
INDICE.....	VII
INDICE DE TABLAS	XVII
INDICE DE FIGURAS	XXII
Capítulo I: Generalidades	1
1.1. Ubicación	1
1.1.1. Ubicación Política.....	1
1.1.2. Ubicación Geográfica	1
1.2. Accesibilidad	3
1.3. Planteamiento del Problema.....	3
1.3.1. Descripción del Problema	3
1.3.2. Formulación del Problema General.....	4
1.3.3. Formulación del Problemas Específicos.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5

1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis General	5
1.5.2. Hipótesis Especifica.....	5
1.6. Importancia y Justificación	6
1.6.1. Importancia	6
1.6.2. Justificación.....	7
1.7. Operacionalización de variables.....	8
1.7.2. <i>Variables dependientes</i>	8
1.7.3. <i>Indicadores</i>	8
1.8. Metodología de trabajo	9
1.8.1. <i>Enfoque de Investigación</i>	9
1.8.2. Alcance De Investigación	9
1.9. Fases de Elaboración del Estudio	11
1.9.1. Fase de Recopilación de Información.....	11
1.9.2. Fase de Investigaciones de Campo.....	11
1.10. Antecedentes.....	12
1.11. Materiales y Equipos.....	13
Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.....	15

2.2.	Marco Conceptual.....	17
2.2.1.	Definición de la Cuenca Hidrográfica	17
2.2.2.	Clasificación de la Cuenca Hidrográfica	18
2.2.3.	Sistema de Codificación De Pfastetter	19
2.2.4.	Parámetros Fisiográficos O Geomorfológicos de la Cuenca	19
2.3.	Clima.....	20
2.3.1.	Precipitación.....	20
2.3.2.	Temperatura	20
2.3.3.	Humedad Relativa	20
2.3.4.	Evaporación.....	21
2.3.5.	Evapotranspiración	21
2.4.	Geomorfología.....	21
2.4.1.	Mapa Geomorfológico	21
2.4.2.	Pendientes	21
2.5.	Geología	22
2.5.1.	Depósitos deluviales:	22
2.5.2.	Depósitos proluviales:.....	22
2.5.3.	Clasificación de las Fallas.....	22
2.5.4.	Tipos de Pliegues.....	23
2.6.	Ciclo Hidrogeológico	24

	X
2.6.1. Oferta Hídrica Generada	24
2.6.2. Demanda hidrica:.....	25
2.6.3. Balance hídrico:.....	25
2.7. Hidrogeología.....	25
Capítulo III: Geomorfología	28
3.1. Geomorfología Regional.....	28
3.1.1. Altiplano.....	28
3.1.2. Depresión de Cusco–Huacarpay.....	28
3.1.3. Montañas del Cusco.....	28
3.1.4. Montañas de Pachatusan	29
3.1.5. Meseta de Huaccoto.....	29
3.2. Geomorfología Local	31
3.2.1. Montañas en Rocas Sedimentarias	31
3.2.2. Piedemonte Coluvial De Detritos.....	32
3.2.3. Vertiente Eluvial.....	33
3.2.4. Vertiente Aluvio Torrencial	34
3.2.5. Terrazas Aluviales	34
3.3. Pendiente	37
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA.....	41
4.1. Geología Regional.	41

4.2.	Geología Local.	44
4.2.1.	Grupo San Jerónimo	45
4.2.2.	Formación Punacancha miembro I (Nom-pu I).	60
4.2.3.	Formación Punacancha II (Nom-pu II).....	60
4.2.4.	Cuaternario.....	61
Capítulo V: Geología Estructural		69
5.1.	Generalidades	69
5.2.	Geología Estructural Regional	69
5.2.1.	DOMINIO DEL ALTIPLANO	69
5.2.2.	NEOTECTONICA.....	70
5.2.2.1.	FALLAS	70
5.2.2.1.1.	Falla San Juan de Quihuares	70
5.2.2.1.2.	Falla De Tambomachay	71
5.2.2.1.3.	Falla Cusco.....	72
5.2.2.1.4.	Falla de Rondocan	72
5.2.2.2.	PLEGAMIENTO.....	72
5.2.2.2.1.	Anticlinal Saylla -Lucre	72
5.3.	Geología Estructural Local.....	76
5.3.1.	PLEGAMIENTO.....	76
5.3.2.	Fallas en la Cuenca Ccolcayqui.....	78

5.3.3. VENTANA ESTRUCTURAL	82
5.3.3.1. Discontinuidades	82
5.3.3.2. Resistencia estimada.....	82
5.3.3.3. Índice de calidad de roca RQD	83
5.3.3.4. Espaciado	84
5.3.3.5. Persistencia.....	85
5.3.3.6. Abertura	86
5.3.3.7. Rugosidad.....	87
5.3.3.8. Relleno.....	88
5.3.3.9. Grado de alteración y/o intemperismo.....	88
5.3.3.10. Presencia de agua.....	90
5.3.4. VENTANA ESTRUCTURAL: FORMACIÓN KAYRA	90
5.3.4.1. Ventana estructural: Formación Kayra	90
5.3.4.2. Ventana estructural: formación Soncco I.....	94
5.3.4.3. Ventana estructural: formación Soncco II	97
5.3.4.4. Ventana estructural: formación Punacancha I.....	100
5.3.4.5. Ventana estructural: formación Punacancha II	103
Capítulo VI: Hidrología.....	107
6.1. Ubicación Hidrográfica de la Cuenca	107
6.2. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca	108

6.2.1. Variable Superficial	108
6.2.2. Variables Lineales	108
6.2.3. Variables de Desnivel	109
6.2.4. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias	113
6.3. Parámetros Hidromorfométricos de la Cuenca.....	115
6.3.1. Tipo de Corriente.....	115
6.3.2. Orden de Corriente	115
6.3.3. Razón de Bifurcación.....	116
6.3.4. Longitud total de corrientes de agua.....	117
6.3.5. Cantidad total de corrientes de agua.....	117
6.3.6. Densidad de corrientes (frecuencias de ríos)	117
6.3.7. Densidad de drenaje.....	118
6.3.8. Coeficiente de Torrencialidad:	119
6.4. Información Hidrometeorológica	120
6.4.1. Análisis de Precipitación.....	121
6.5. Análisis y Tratamiento de la Información.....	123
6.5.1. Análisis de consistencia	123
6.5.2. Análisis visual grafico	123
6.5.3. Análisis de Doble Masa	124
6.5.5. Análisis de Saltos.....	126

6.6.	Regionalización y Extrapolación.....	128
6.6.1.	Polígonos Thiessen	128
6.6.2.	Regionalización Temperatura	134
6.7.	Evapotranspiración	138
6.7.1.	Evapotranspiración Potencial.....	138
6.6.2.	Evapotranspiración Real	140
6.7.	Escorrentía Superficial.....	141
6.8.	Infiltración.....	141
6.9.	Balance Hídrico de la Cuenca.....	142
Capítulo VII: Geofísica.....		145
7.1.	Exploración Geofísico.....	147
7.2.	Equipo Utilizado.....	149
7.3.	Exploración en Campo.....	150
7.3.1.	Ubicación de Puntos	152
7.4.	Resultados de los Ensayos Obtenidos:.....	154
7.4.1.	Columna Geo eléctrica 01	154
7.4.2.	Columna Geo eléctrica 02.....	156
7.4.3.	Columna Geo eléctrica 03.....	158
7.5.	Interpretación de perfiles geoelectricos de configuración Schlumberge:	159
7.5.1.	Perfil Geoelectricos A'-A	160

7.6.	Interpretación Geológica y Descripción de Resultados	161
Capítulo VIII: Hidrogeología.....		162
8.1.	Registro de Fuentes de agua.....	162
8.2.	Evaluación de parámetros Hidrogeológicos.....	167
8.3.	Porosidad.....	167
8.3.1.	Porosidad en suelos:	167
8.4.	Permeabilidad	174
8.4.1.	Permeabilidad en materiales no consolidados.....	175
8.4.2.	Permeabilidad para materiales Consolidados.....	181
8.5.	Direcciones del Flujo	186
8.6.	Identificación Zonas de Recarga y Descarga	189
8.6.1.	Zonas de Recarga:	189
8.6.2.	Zonas de Descarga:.....	190
8.7.	Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca.....	190
8.7.1.	Acuíferos.....	191
Capítulo IX: Hidroquímica		203
9.1.	Hidroquímica de Aguas Subterráneas.....	203
9.2.	Muestreo y Determinación de Campo	203
9.3.	Análisis de Resultados	204
9.3.1.	pH	204

9.3.2. Conductividad Eléctrica.....	207
9.3.3. Clasificación Hidroquímica del Agua Subterránea	209
CONCLUSIONES.....	217
RECOMENDACIONES.....	221
BIBLIOGRAFIA.....	222
ANEXOS	225

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas Geográficas y UTM en la zona de estudio.	1
Tabla 2 Resumen del tiempo y la distancia de la ciudad del Cusco a la cuenca Ccolcayqui	3
Tabla 3 Tabla de la Variabilidades	8
Tabla 4 Unidades Geomorfológicas de la Región del Cusco.....	31
Tabla 5 Clasificación de Pendientes Según Ministerio de Agricultura y Riego	37
Tabla 6 Clasificación de Pendientes en la cuenca Ccolcayqui. Según MINAG	38
Tabla 7 Orden cronológico de la geología local de la cuenca Ccolcayqui	44
Tabla 8 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 01	47
Tabla 9 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 02.....	48
Tabla 10 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 03	48
Tabla 11 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 04.....	54
Tabla 12 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 05.....	54
Tabla 13 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 06.....	58
Tabla 14 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 07	58
Tabla 15 Unidades geológicas locales de la cuenca Ccolcayqui.....	66
Tabla 16 Grado de resistencia in Situ	83
Tabla 17 Tabla de valor de RQD.....	84
Tabla 18 Descripción del espaciado.	85
Tabla 19 Abertura de las juntas	86
Tabla 20 Variación de la rugosidad	88
Tabla 21 Grado de intemperismo	89

Tabla 22 Valor según la presencia de filtraciones de agua	90
Tabla 23 Análisis del macizo rocoso según RMR.....	92
Tabla 24 Descripción macroscópica del macizo rocoso.	93
Tabla 25 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco I	95
Tabla 26 Descripción macroscópica del macizo rocoso de la Formación Soncco I.....	96
Tabla 27 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco II.....	98
Tabla 28 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco II.....	99
Tabla 29 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha I	101
Tabla 30 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha I	102
Tabla 31 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha II....	104
Tabla 32 Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha II....	105
Tabla 33 <i>Codificación Pfasterter de la Cuenca Ccolcayqui</i>	107
Tabla 34: Numero de Escurrimientos	109
Tabla 35 Rangos de Elevación	110
Tabla 36 Parámetros de gravelious.....	112
Tabla 37 Parámetros del factor de forma.....	113
Tabla 38 Hidrografía de la Cuenca de Ccolcayqui.....	115
Tabla 39 Tabla de clasificación de Strahler	116
Tabla 40 Longitud total de corrientes de agua.	117
Tabla 41 número total de corrientes de agua	117
Tabla 42 Datos de la densidad de corriente	118
Tabla 43 Parámetros de la densidad de drenaje según.....	119
Tabla 44 Tabla de densidad de drenaje.....	119

Tabla 45 datos de coeficiente de torrencialidad	120
Tabla 46 <i>Estaciones Meteorológica</i>	120
Tabla 47 <i>Tabla de precipitaciones media mensual de la estación de Kayra</i>	122
Tabla 48 Periodos de comparación en la Estación de Kayra.	124
Tabla 49 División de Periodos	127
Tabla 50 Prueba t Para dos Muestras.....	127
Tabla 51 Evaluación de Consistencia en la Media.....	127
Tabla 52 Consistencia de la desviación estándar	128
Tabla 53 Precipitación media calculada por el método Kriging en el área de estudio...	131
Tabla 54 Descripción de Puntos Meteorológicos con Datos de Temperatura Media	
Anual.....	134
Tabla 55 Temperatura media mensual vs elevación.....	135
Tabla 56 Temperatura máxima mensual vs elevación.....	135
Tabla 57 Temperatura mínima mensual vs elevación.	135
Tabla 58 Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite	139
Tabla 59 <i>Método de Turc</i>	140
Tabla 60 <i>Materiales, equipos y herramientas</i>	149
Tabla 61 <i>Softwares usados para el control de datos y procesamiento de los datos</i>	
<i>geoelectricos</i>	151
Tabla 62 <i>Coordenadas UTM del ensayo de Sondaje Eléctrico Vertical</i>	152
Tabla 63 <i>Resultados obtenidos de los SEV en campo</i>	154
Tabla 64 Inventario de fuentes de agua en los diferentes puntos de la cuenca Ccolcayqui	
Lucre.....	164

Tabla 65 Cálculo de la porosidad	170
Tabla 66 <i>Estimación de la porosidad para la zona de estudio.</i>	170
Tabla 67 Determinación del peso específico y Porosidad	171
Tabla 68 Valores de porosidad de la roca	172
Tabla 69 Determinación de porosidad efectiva en la formación Kayra	172
Tabla 70 Determinación de porosidad efectiva para la formación Soncco I	172
Tabla 71 Determinación de porosidad efectiva de la formación Soncco II.....	173
Tabla 72 Determinación de porosidad efectiva para la formación Punacancha	173
Tabla 73 Clasificación de terrenos por la permeabilidad según Benítez.	174
Tabla 74 Clasificación de la permeabilidad según Silin Bekchurin para terrenos no consolidados	174
Tabla 75 Resumen de Valores de Permeabilidad.....	175
Tabla 76 Síntesis de ensayos de permeabilidad con datos de apertura y espaciamento en materiales consolidados.....	182
Tabla 77 Calidad de roca de la Fm. Kayra hallando el RQD.....	192
Tabla 78 Índice de la calidad de roca, para areniscas en la Fm. Kayra	192
Tabla 79 Calidad de roca de la formación Soncco I hallando el RQD.....	193
Tabla 80 Índice de la calidad de la roca, para las areniscas de la Formación Soncco I .	194
Tabla 81 Calidad de roca de la formación Soncco II hallando el RQD	196
Tabla 82 Valor de la condición de la roca, para los depósitos arenosos de la formación Soncco II.....	196
Tabla 83 Calidad de roca de la formación Punacancha hallando el RQD.....	198
Tabla 84 Índice de calidad de las rocas, para areniscas de la Formación Punacancha...	198

Tabla 85 Descripción hidrogeológica de las unidades geológicas en la cuenca Ccolcayqui -Lucre	200
Tabla 86 Ph de la fuente hídrica en la cuenca Ccolcayqui-Lucre	205
Tabla 87 <i>Tabla de criterios nacionales para la condición ambiental del agua.</i>	206
Tabla 88 Conductividad eléctrica de Fuentes de Agua en la cuenca Ccolcayqui – Lucre	208
Tabla 89 Clasificación de las facies hidro químicas de las fuentes hídricas.....	214

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Componentes de una Cuenca</i>	19
Figura 2 <i>clasificación de fallas: (1) falla normal, (2)falla inversa, (3)falla de rumbo izquierdo, (4)falla de rumbo derecho.</i>	23
Figura 3 <i>Tipos de Pliegues: (1) Anticlinal, (2)Sinclina,(3)Isoclinal, (4)Monoclinal, (5) Anticlinorio, (6) Sinclinorio, (7)Recostado, (8)Acostado tumbado, (9)Abanico, (10) Afallado. </i> ..	24
Figura 4 <i>Ciclo Hidrológico</i>	26
Figura 5 <i>Vista Panorámica de las Montañas en Rocas Sedimentarias.</i>	32
Figura 6 <i>Vista de vertiente coluvial de detritos.</i>	33
Figura 7 <i>Vista panorámica de la vertiente eluvial.</i>	33
Figura 8 <i>Vista de la formación de quebradas.</i>	34
Figura 9 <i>Vista de las terrazas aluviales.</i>	35
Figura 10 <i>Diagrama de Distribución de Pendientes en la Cuenca Ccolcayqui</i>	38
Figura 11 <i>Vista Panorámica de la Cuenca Ccolcayqui.</i>	42
Figura 12 <i>Columna estratigráfica regional del cuadrángulo del Cusco 28-s (IV)</i>	42
Figura 13 <i>Modelado de la Cuenca Ccolcayqui.</i>	45
Figura 14 <i>Afloramiento de areniscas marrón grisáceas de la Formación Kayra,</i>	46
Figura 15 <i>Presencia de venillas de calcita.</i>	46
Figura 16 <i>Presencia de malaquita en la formación Kayra</i>	47
Figura 17 <i>Columna estratigráfica de la Formación Kayra.</i>	49
Figura 18 <i>Vista panorámica desde la población de Ccolcayqui.</i>	50
Figura 19 <i>Vista panorámica de la Formación Soncco.</i>	51
Figura 20 <i>Vista de la Formación Soncco Miembro I.</i>	52

Figura 21 <i>Fracturamiento de la Formación Soncco Miembro I</i>	52
Figura 22 <i>Vista de capa de calcita superficial en la Formación Soncco Miembro I</i>	53
Figura 23 <i>Presencia de ripples en la Formación Soncco Miembro I</i>	53
Figura 24 <i>Columna estratigráfica de la Formación Soncco Miembro I</i>	55
Figura 25 <i>Contacto entre de la Formación Soncco I y II miembro</i>	56
Figura 26 <i>Presencia de Nódulos de Lutita</i>	57
Figura 27 <i>Afloramiento de la Fm. Soncco Miembro II</i>	57
Figura 28 <i>Columna estratigráfica de la Formación Soncco miembro II</i>	59
Figura 29 <i>Formación Punacancha miembro I (X= 193931.00, Y= 8488349.00), presencia de roca sedimentaria identificada como areniscas grisáceas con intercalaciones de lutitas bien consolidadas de coloración gris</i>	60
Figura 30 <i>Formación Punacancha miembro II</i>	61
Figura 31 <i>Depósitos Fluviales</i>	62
Figura 32 <i>Presencia de Depósitos Aluviales</i>	63
Figura 33 <i>Presencia de Depositos Coluviales</i>	64
Figura 34 <i>Presencia de Depositos Proluviales</i>	65
Figura 35 <i>Sedimentación de los Depósitos Eluviales</i>	66
Figura 36 <i>Vista panorámica de la falla regional de Anyarate -San Juan de Quijuares</i> ..	71
Figura 37 <i>Mapa de dominios estructurales del cuadrángulo de Cusco (28s)</i>	74
Figura 38 <i>Sección estructural regional A-A' en parte del cuadrángulo de Cusco ubicada en la Figura 37</i>	74
Figura 39 <i>Anticlinal regional de Saylla–Lucre en la Cuenca Ccolcayqui</i>	76
Figura 40 <i>Anticlinal en la población Ccolcayqui</i>	77

Figura 41 <i>Anticlinal al corte de la carretera.</i>	77
Figura 42 <i>Sinclinal -Anticlinal al corte de la carretera en vista local.</i>	78
Figura 43 <i>Presencia de anticlinal.</i>	78
Figura 44 <i>Vista de la Falla Inversa con Relleno de Calcita.</i>	79
Figura 45 <i>Vista Panorámica de la Longitud del Corte de la Falla Inversa</i>	79
Figura 46 <i>Vista Panorámica de la Falla Inferida de tipo inversa.</i>	80
Figura 47 <i>Vista Panorámica de la Vista Panorámica de la Falla Inferida de tipo inversa.</i>	81
Figura 48 <i>Vista de la falla de rumbo dextral al sureste.</i>	81
Figura 49 <i>Vista Panorámica de la Vista Panorámica de la Falla Inversa inferida ubicada a la cabecera.</i>	82
Figura 50 <i>Vista de la medida del RQD en una ventana estructural.</i>	84
Figura 51 <i>Vista del espaciado entre dos discontinuidades de una misma familia.</i>	85
Figura 52: <i>Vista del espaciado entre dos discontinuidades de una misma familia.</i>	86
Figura 53: <i>Medida de la abertura de las discontinuidades</i>	87
Figura 54: <i>Ventana estructural en el margen izquierdo de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Kayra.</i>	90
Figura 55: <i>Ventana estructural en el margen derecho de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Soncco miembro I.</i>	94
Figura 56: <i>Ventana estructural en el margen derecho de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Soncco miembro II.</i>	97
Figura 57: <i>Ventana estructural en el margen derecho con respecto a la Formación Punacancha miembro I.</i>	100

Figura 58 <i>Ventana estructural: formación Punacancha II</i>	103
Figura 59 <i>Figura de la curva hipsométrica del porcentaje de área sobre la altura relativa vs la altura relativa</i>	114
Figura 60 <i>Curva hipsométrica de la cuenca Ccolcayqui</i>	114
Figura 61 <i>Serie Histórica de Precipitación</i>	124
Figura 62: Gráfico de análisis de doble masa.....	125
Figura 63 Gráfico de análisis de doble masa de la Estación de Kayra.....	126
Figura 64 Polígonos Thiessen.....	129
Figura 65 Cálculo de precipitación.....	130
Figura 66 Precipitación en la Cuenca Colcayqui.....	132
Figura 67 Gráfico de ecuación de regionalización de precipitación.....	132
Figura 68 Gráfico de ecuación de regionalización de temperatura.....	134
Figura 69 Gráfico del análisis de temperatura.....	136
Figura 70 Método de Thornthwaite.....	139
Figura 71 Balance hídrico de la cuenca Ccolcayqui según Thornthwaite.....	143
Figura 72 Valores de evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración real.....	144
Figura 73 <i>Comportamiento de la corriente inyectada en el subsuelo</i>	147
Figura 74 Esquema de Configuración Electrónica del Dispositivo Schlumberger.....	148
Figura 75 Geometría utilizada para el registro de los datos, Schlumberger.....	148
Figura 76 <i>Equipo Mangusta 96/EC</i>	150
Figura 77 Control de calidad de las curvas de resistividad con software IPI2WIN.....	151
Figura 78 Imagen satelital del SEV-01 con coordenadas (X=193960; Y=8488225). ...	155
Figura 79 Columna Geoelectrica SEV-01.....	156

Figura 80 Columna Geoelectrica SEV-02.	157
Figura 81 Imagen satelital del SEV-02 con coordenadas (X=197748; Y=8488225)	157
Figura 82 Columna Geoelectrica SEV-03	159
Figura 83 Imagen satelital del SEV-03 con coordenadas (X=197748; Y=8488225)	159
Figura 84 Sección Geofísica entre el SEV-02 y SEV-03	160
Figura 85 Sección Litológica entre el SEV-02 y SEV-03	161
Figura 86 Clasificación de las Fuentes Hídricas según su Caudal.....	162
Figura 87 Medición de caudal en el sector Tauca.....	163
Figura 88 Relación de Volumen Vs Peso	168
Figura 89 <i>Realizando ensayos de la humedad y peso específico de las muestras obtenidas en campo.....</i>	171
Figura 90 <i>Ensayos de humedad de las muestras de rocas tomadas en campo.....</i>	173
Figura 91 Ensayo de Lefranc con nivel variable.....	176
Figura 92 <i>Realización del ensayo de Permeabilidad de Lefranc de Carga Variable</i>	177
Figura 93 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-002</i>	178
Figura 94 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-003</i>	178
Figura 95 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-005</i>	179
Figura 96 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-006</i>	179

Figura 97 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-009</i>	180
Figura 98 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-010</i>	180
Figura 99 <i>Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-013</i>	181
Figura 100 <i>Prueba de permeabilidad EPMC-001</i>	183
Figura 101 <i>Prueba de permeabilidad EPMC-004</i>	183
Figura 102 <i>Prueba de permeabilidad EPMC-007</i>	184
Figura 103 <i>Prueba de permeabilidad EPMC-008</i>	184
Figura 104 <i>Redes de flujo.</i>	186
Figura 105 <i>Imagen en 3D modelado en Leapfrog de las direcciones flujo de la cuenca Ccolcayqui</i>	187
Figura 106 <i>Zona de recarga del sector Tauca</i>	189
Figura 107 <i>Vista panorámica de la Cuenca Ccolcayqui.</i>	190
Figura 108 <i>Acuífero fisurado sedimentario Kayra</i>	193
Figura 109 <i>Acuitardo en la formación Soncco</i>	194
Figura 110 <i>Acuíferos encontrados en la formación Soncco II</i>	195
Figura 111 <i>Acuífero fisurado sedimentario Soncco II</i>	197
Figura 112 <i>Acuífero fisurado sedimentario Punacancha</i>	198
Figura 113 <i>Acuífero poroso aluvial, sector Quisuarcancha</i>	199
Figura 114 <i>Imagen en 3D, modelamiento hidrogeológico de la cuenca Ccolcayqui</i>	201
Figura 115 <i>Recolección de Muestra de Agua Para Análisis Químico</i>	203

Figura 116 Entrega de las muestras hidricas en el laboratorio MC QUIMICALAB	204
Figura 117 Resultados de los Análisis químicos.....	204
Figura 118 Valores de pH en la cuenca Ccolcayqui – Lucre.....	207
Figura 119 Niveles de la Conductividad Eléctrica en la cuenca Ccolcayqui – Lucre....	208
Figura 120 Diagrama triangular de Piper-Hill-Langerier	210
Figura 121 Diagrama triangular de Piper-Hill-Langerier. (Grapher).....	210
Figura 122 <i>Diagrama de Piper Hill Langelier para análisis de las fuentes de agua de la cuenca Ccolcayqui – Lucre, realizado en Grapher.</i>	211
Figura 123 Diagrama de Piper de los resultados de las fuentes de agua de la cuenca Ccolcayqui – Lucre	211
Figura 124 Diagramas de Stiff de los resultados de las fuentes hídricas subterráneas diseñado en aquiferApp.....	212
Figura 125 Diagrama de Scholler-Berkaloff de la cuenca de Ccolcayqui – Lucre.....	213

Capítulo I: Generalidades

1.1. Ubicación

1.1.1. Ubicación Política

La zona de investigación está situada en la parte sur del Perú, al sureste de Cusco, ubicado en la comunidad de Ccolcayqui perteneciente al distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco.

1.1.2. Ubicación Geográfica

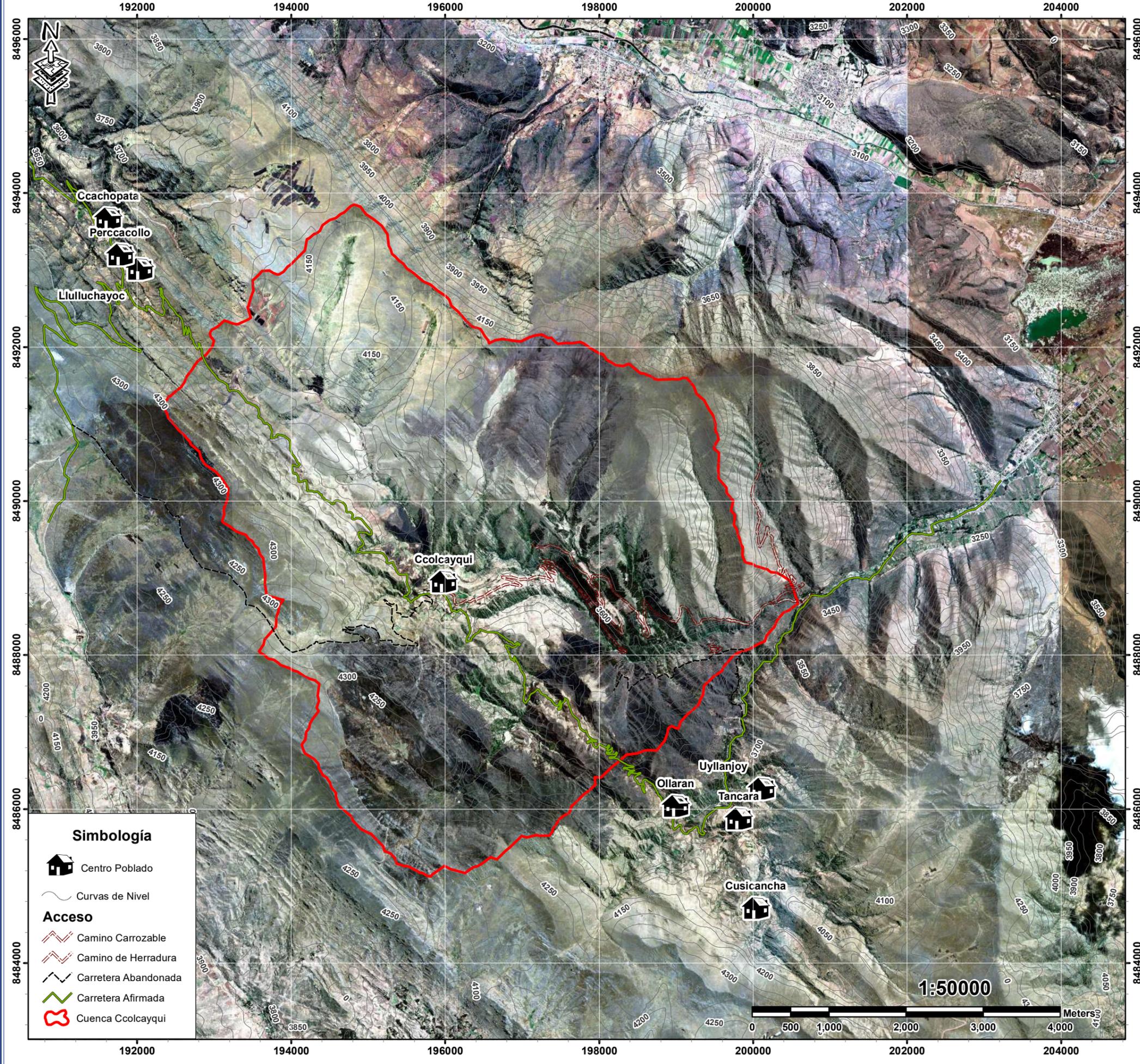
La cuenca de Ccolcayqui se encuentra localizada en la zona 19L, utilizando el datum WGS 1984, con las coordenadas geográficas y UTM:

Tabla 1

Coordenadas Geográficas y UTM en la zona de estudio.

Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud Sur	Longitud Oeste	Este	Norte
13°39'11.40"	71°48'34.28"	196039.00	8488871.00

MAPA DE UBICACION DE LA MICROCUENCA DE COLCCAYQUI



MAPA POLITICO DEL PERÚ



MAPA REGIONAL



MAPA PROVINCIAL



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO		
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA COLCCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"		
Mapa: PLANO DE UBICACION		
Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicacion: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	Escala: INDICADA Fecha: 2025
		Lamina: 01

1.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio es posible hasta el distrito de Lucre mediante transporte público, pero a la zona de estudio se necesita caminar un aproximadamente de cuatro horas puesto que la vía es trocha, se debe atravesar el distrito de Lucre para llegar a la zona de estudio; cubriendo una distancia de 4.9km desde el punto de partida hasta el área de estudio. A continuación, esta información se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 2

Resumen del tiempo y la distancia de la ciudad del Cusco a la cuenca Ccolcayqui

PUNTO DE PARTIDA	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Cusco (Universidad UNSAAC) - Lucre	30.4 Km	55 min aprox.	Asfaltada de 2do orden
Lucre-zona de estudio	4.9 Km	104 min aprox.	Afirmada de 3 ^{do} orden

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Descripción del Problema

En el lugar de estudio de Lucre se encuentra en crecimiento y expansión urbana, en donde los últimos años se presentó un aumento gradual en los habitantes de las poblaciones, según el último censo del INEI del 2017 se cuenta con 4029 habitantes en las comunidades del distrito de Lucre que van incrementando cada año, en donde la demanda hídrica en las diferentes comunidades está siendo muy afectada por el déficit hídrico, donde una de las causas podría ser el uso inadecuado del agua variabilidad climática en donde algunas comunidades del distrito de Lucre no tienen suficiente agua destinada para el consumo humano y tampoco para la agricultura.

Debido a la problemática planteada, nace la necesidad de realizar un estudio del potencial hídrico de la cuenca Ccolcayqui ya que es una de las cuencas que abarca una mayor área del distrito de Lucre, tomando en cuenta las reservas de agua de los principales acuíferos (manantes), también sus propiedades hidrológicas, geológicas, geomorfológicas y estructurales con el propósito de mejorar la falta de agua para el uso del ser humano y así poder mejorar el abastecimiento de agua en las zonas bajas del distrito de Lucre.

1.3.2. Formulación del Problema General

¿Cuál es el potencial hídrico en la cuenca Ccolcayqui, distrito de Lucre, provincia Quispicanchi?

1.3.3. Formulación del Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las unidades geomorfológicas de la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cuáles son las unidades geológicas regionales y locales de la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cómo caracterizar y determinar la geología estructural de la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cuáles son las características de los procesos hidrológicos superficiales de la cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cómo calcular el balance hídrico de la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cómo Identificar y clasificar las diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cómo identificar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos en la Cuenca Ccolcayqui?
- ¿Cómo analizar las características hidroquímicas del agua subterránea de la Cuenca Ccolcayqui?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio hidrogeológico en la Cuenca Ccolcayqui para determinar el potencial hídrico con fines de mejorar el abastecimiento de agua para consumo humano.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar las unidades geomorfológicas de la Cuenca Ccolcayqui
- Determinar las unidades geológicas de la Cuenca Ccolcayqui
- Caracterizar y determinar la geología estructural de la Cuenca Ccolcayqui
- Determinar las características de los procesos hidrológicos superficiales de la cuenca Ccolcayqui
- Calcular el balance hídrico de la cuenca Ccolcayqui
- Identificar y clasificar las diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Ccolcayqui
- Determinar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos en la Cuenca Ccolcayqui.
- Analizar las características hidroquímicas del agua subterránea de la Cuenca Ccolcayqui.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Este estudio hidrogeológico posibilitara la evaluación del potencial hídrico de las aguas subterráneas, considerando las características geológicas, estructurales e hidrogeológicas presentes en la cuenca Ccolcayqui.

1.5.2. Hipótesis Especifica

HE 1: Las unidades geomorfológicas serán clave para identificar las áreas propicias para la retención de aguas subterráneas dentro de la cuenca Ccolcayqui.

HE 2: El análisis de las unidades geológicas, tanto a nivel regional como local facilitara la clasificación de las distintas unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca Ccolcayqui.

HE 3: La evaluación de la geología estructural contribuirá a determinar los posibles tipos de acuíferos que se desarrollaran en la cuenca Ccolcayqui.

HE 4: La determinación de las características de los procesos hidrológicos superficiales facilitara la cuantificación y clasificación del comportamiento hidrológico en la cuenca Ccolcayqui.

HE 5: El cálculo del balance hídrico permitirá estimar el promedio anual de almacenamiento de agua subterránea en la cuenca Ccolcayqui.

HE 6: La identificación y la clasificación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas nos permitirá en definir los tipos de acuíferos dentro de la cuenca Ccolcayqui.

HE 7: Al identificar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos permitirá determinar el almacenamiento y transporte de las aguas subterráneas en la cuenca Ccolcayqui.

HE 8: El análisis hidroquímico facilitara la identificación de los parámetros químicos y la evaluación de las aguas subterráneas en la cuenca Ccolcayqui.

1.6. Importancia y Justificación

1.6.1. Importancia

La importancia de esta investigación radica en que proporcionara a los pobladores del área de estudio información sobre el potencial hídrico, basado en los resultados de los estudios hidrogeológicos, con el objetivo de optimizar el suministro de agua, así también es esencial para la gestión responsable y sostenible del agua subterránea. Toda esta información será vital para identificar acuíferos adecuados y evaluar la cantidad y calidad del agua disponible. Este conocimiento informado guía la toma de decisiones de los representantes y contribuye al

bienestar de la comunidad que depende del agua subterránea. En última instancia, el estudio hidrogeológico garantiza el uso adecuado del recurso hídrico y mantener el balance entre el progreso humano y protección del medio ambiente

1.6.2. Justificación

La escasez de agua en los últimos años se ha transformado en una preocupación urgente, especialmente durante las épocas de sequía, afectando la capacidad de captación necesaria para satisfacer el consumo humano. En el distrito de Lucre, este problema se agrava debido al crecimiento urbano y al aumento progresivo de la demanda hídrica en sus comunidades.

Esta situación genera una presión significativa sobre los recursos hídricos locales, comprometiendo tanto el acceso como la sostenibilidad del agua para la población actual y futura.

Este estudio permitirá ampliar el conocimiento sobre el potencial hídrico subterráneo de la cuenca Ccolcayqui, incluyendo una evaluación detallada de los acuíferos principales (manantes) y sus características hidrológicas, geomorfológicas, geológicas y estructurales.

Los resultados del trabajo proporcionarán una base técnica valiosa para que los habitantes de la cuenca comprendan sus recursos hídricos y para el desarrollo de proyectos futuros. Esto incluye captaciones de agua para consumo humano, implementación de riego tecnificado y programas de reforestación que proveen la gestión sostenible del recurso hídrico en la región.

Este esfuerzo no solo busca responder a las necesidades actuales, sino también servir como referencia para estudios y medidas futuras que fomenten una gestión más eficaz y justa de los recursos hídricos.

1.7. Operacionalización de variables

En el siguiente estudio se ha definido las variables dependientes e independientes, así como sus indicadores e índices:

1.7.1. Variables independientes

- Estudio hidrogeológico

1.7.2. Variables dependientes

- Potencial hídrico de la cuenca.

1.7.3. Indicadores

Tabla 3

Tabla de la Variabilidades

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	DATOS
INDEPENDIENTES				
Estudio Hidrológico de la Cuenca	Geomorfología	Parámetros Geomorfológicos	Pendiente	Clasificación
	Geología	Estratigrafía	Litología	Tipo de roca
	Geología estructural	Formas estructurales	Tipos de formas estructurales	Fallas, discordancias
	Hidrología	Morfometría de unidad hidrográfica	Forma, tamaño, relieve, drenaje	Pliegues
	Hidrogeología	Tipos de Acuíferos	Acuíferos sedimentarios, fisurados y Acuíferos porosos no consolidados	Área, perímetro
DEPENDIENTES				
Potencial hídrico de la cuenca	Características de acuíferos	Transmisibilidad hidráulica	Ensayo de infiltración, mecánica de rocas	Permeabilidad
		Porosidad	Primaria, secundaria	Porcentaje de porosidad
		Clasificación de acuíferos	Inventario de fuentes de agua	Manantes
			Caudales	litr/seg
	Hidroquímica	Análisis del agua	Recarga y descarga de los acuíferos	m3/año
			Conductividad eléctrica	µS/cm
			Turbidez	mgr/ltr
		Dureza	Ppm	
		Salinidad	pm	

1.8. Metodología de trabajo

1.8.1. Enfoque de Investigación

Mixto: (Hernández, 2014) Es la mezcla de métodos cualitativos y cuantitativos; partiendo de una idea, estudios y formulas del problema, obtención de datos en el terreno, estableciendo de la muestra inicial, recopilación de datos, evaluación de los datos numéricos, hallazgos obtenidos, redacción del informe de lo obtenido y conclusiones.

1.8.2. Alcance De Investigación

Descriptivo: (Hurtado, 2000) Se describe las condiciones hidrogeológicas de la cuenca, como la ubicación, los tipos de acuíferos, la calidad del agua, las zonas de recarga y descarga, y las propiedades químicas y físicas de la cuenca Ccolcayqui.

Explicativa: (Hurtado, 2000) Analizar el impacto de la litología y las estructuras geológicas en la capacidad de retener y transferir el agua subterránea.

Científico: (Ander Egg, 1987) Se aplican modelos matemáticos y análisis estadísticos para estimar el potencial hídrico de la cuenca y validar los resultados obtenidos mediante muestreo y medición in situ.

1.8.3. Tipo y Diseño de la investigación

Cuantitativo – Cualitativo

Se hace uso de la recolección de datos para comprobar una hipótesis, haciendo distintas mediciones (Hernández et al., 2006); tomaremos los datos obtenidos para hacer los modelamientos de los cuales se hará un análisis exhaustivo.

MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS TITULADA: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO.				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Independiente	Enfoque de Investigación
¿Cuál es el potencial hídrico en la cuenca Ccolcayqui, distrito de Lucre, provincia Quispicanchi?	Realizar un estudio hidrogeológico en la Cuenca Ccolcayqui para determinar el potencial hídrico con fines de mejorar el abastecimiento de agua para consumo humano.	Este estudio hidrogeológico posibilitara la evaluación del potencial hídrico de las aguas subterráneas, considerando las características geológicas, estructurales e hidrogeológicas presentes en la cuenca Ccolcayqui.	Estudio hidrogeológico	Mixto: (Hernández, 2014) Es la mezcla de métodos cualitativos y cuantitativos; partiendo de una idea, estudios y formulas del problema, obtención de datos en el terreno, estableciendo de la muestra inicial, recopilación de datos, evaluación de los datos numéricos, hallazgos obtenidos, redacción del informe de lo obtenido y conclusiones.
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específicas	Dependiente	Alcance De Investigación
¿Cuáles son las unidades geomorfológicas de la Cuenca Ccolcayqui?	Identificar las unidades geomorfológicas de la Cuenca Ccolcayqui	HE 1: Las unidades geomorfológicas serán clave para identificar las áreas propicias para la retención de aguas subterráneas dentro de la cuenca Ccolcayqui.	Potencial Hídrico	<p>Descriptivo: (Hurtado, 2000) Se describe las condiciones hidrogeológicas de la cuenca, como la ubicación, los tipos de acuíferos, la calidad del agua, las zonas de recarga y descarga, y las propiedades químicas y físicas de la cuenca Ccolcayqui.</p> <p>Explicativa: (Hurtado, 2000) Analizar el impacto de la litología y las estructuras geológicas en la capacidad de retener y transferir el agua subterránea.</p> <p>Científico: (Ander Egg, 1987) Se aplican modelos matemáticos y análisis estadísticos para estimar el potencial hídrico de la cuenca y validar los resultados obtenidos mediante muestreo y medición in situ.</p> <p>Tipo y Diseño de la investigación Cuantitativo – Cualitativo Se hace uso de la recolección de datos para comprobar una hipótesis, haciendo distintas mediciones (Hernández et al., 2006); tomaremos los datos obtenidos para hacer los modelamientos de los cuales se hará un análisis exhaustivo.</p>
¿Cuáles son las unidades geológicas regionales y locales de la Cuenca Ccolcayqui?	Determinar las unidades geológicas de la Cuenca Ccolcayqui	HE 2: El análisis de las unidades geológicas, tanto a nivel regional como local facilitara la clasificación de las distintas unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cómo caracterizar y determinar la geología estructural de la Cuenca Ccolcayqui?	Caracterizar y determinar la geología estructural de la Cuenca Ccolcayqui	HE 3: La evaluación de la geología estructural contribuirá a determinar los posibles tipos de acuíferos que se desarrollaran en la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cuáles son las características de los procesos hidrológicos superficiales de la cuenca Ccolcayqui?	Determinar las características de los procesos hidrológicos superficiales de la cuenca Ccolcayqui	HE 4: La determinación de las características de los procesos hidrológicos superficiales facilitara la cuantificación y clasificación del comportamiento hidrológico en la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cómo calcular el balance hídrico de la Cuenca Ccolcayqui	Calcular el balance hídrico de la cuenca Ccolcayqui	HE 5: El cálculo del balance hídrico permitirá estimar el promedio anual de almacenamiento de agua subterránea en la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cómo Identificar y clasificar las diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Ccolcayqui?	Identificar y clasificar las diferentes fuentes de aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Ccolcayqui	HE 6: La identificación y la clasificación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas nos permitirá en definir los tipos de acuíferos dentro de la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cómo identificar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos en la Cuenca Ccolcayqui?	Determinar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos en la Cuenca Ccolcayqui.	HE 7: Al identificar y clasificar los diferentes tipos de acuíferos permitirá determinar el almacenamiento y transporte de las aguas subterráneas en la cuenca Ccolcayqui.		
¿Cómo analizar las características hidroquímicas del agua subterránea de la Cuenca Ccolcayqui?	Analizar las características hidroquímicas del agua subterránea de la Cuenca Ccolcayqui.	HE 8: El análisis hidroquímico facilitara la identificación de los parámetros químicos y la evaluación de las aguas subterráneas en la cuenca Ccolcayqui.		

1.9. Fases de Elaboración del Estudio

1.9.1. Fase de Recopilación de Información

A lo largo del proceso investigativo del estudio, se revisaron y recopilaron los siguientes datos existentes:

- Información geológica regional de INGEMMET.
- Mapas regionales disponibles.
- Antecedentes históricos del área y proyectos cercanos.

Para continuar, se prepararon mapas base, esenciales para recolectar datos en campo y cartografiar el área de interés, con el objetivo de analizar sus características específicas usando equipos y software geológico como el ARCGIS. También se realizaron:

- La creación de mapas base del área.
- La elaboración del cronograma de actividades.

1.9.2. Fase de Investigaciones de Campo

Pre Campo:

En esta fase se llevará a cabo una revisión bibliográfica relacionada con el área de estudio a nivel regional, posteriormente se realizará la elaboración de los mapas de la zona, así como la revisión bibliográfica de conceptos para un mejor desempeño en el campo.

Trabajos de Campo “Campo I”

En esta segunda etapa se realizaron reconocimientos de la zona, cartografiado y toma de datos, reconocimiento y mapeo de las geformas presentes, ensayos de permeabilidad, muestreo de suelos, medida de caudales y encuestas a los pobladores.

Etapa de Gabinete “Gabinete II”

En esta fase final, se realizaron y procesaron los datos recolectados, así como la elaboración de mapas temáticos necesarios para la evaluación de los niveles de riesgos, las cuales son, el mapa geológico local, mapa geomorfológico local, mapa de pendientes, mapa hidrológico

1.10. Antecedentes

- Actualización hidrogeológica y estimación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos de las cuencas del Río Teno y Lontué, Región del Maule tiene como objetivo analizar el comportamiento hidrogeológico del acuífero Teno-Lontué en la región del Maule, (Márquez Gajardo, 2024)
- Geología regional del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s-IV. INGEMMET. (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011)
- Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Río Lucre. (Choquehuanca, 1999)
- Estudio Hidrogeológico de las Microcuencas Santo Domingo – Acopia y Huayrachapi – Miskiunu, en el Distrito de Acopia, Acomayo, Cusco – 2019. (Calderon Yopez & Quillahuaman Muñoz, 2021)
- Estudio Hidrogeológico para determinar el potencial hídrico en la microcuenca de Ccorao – Mandorani, Distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco, Región Cusco-2022. (Lopez, 2023)

1.11. Materiales y Equipos

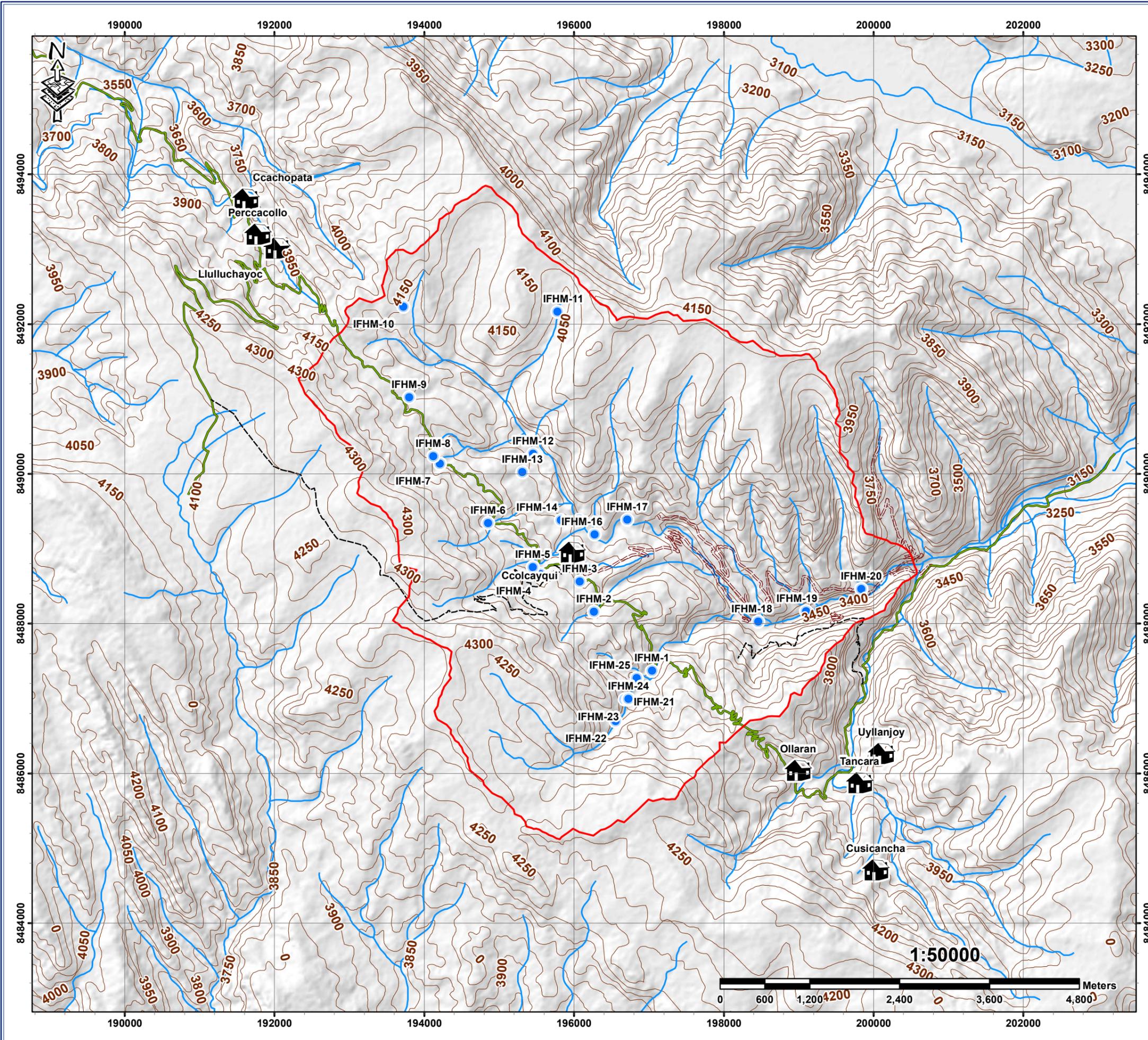
Equipos:

- **Instrumentos de campo:** La Brújula, GPS, cronómetro, cinta métrica de 50 metros, picota, Balde de agua, cronómetro; tubos, cincel, Pluviómetro, cámara fotográfica, linterna, botas, etc.
- **Instrumentos que se usó en gabinete:** Laptop, impresora.

Materiales

- **Materiales de campo:** Imagen satelital, mapa topográfico, tablero, colores, flexómetro, bolsas para recolección de muestras, marcador, ácido muriático, lupa, rayador, libreta de campo.
- **Materiales de gabinete:** Papel A-4, lapiceros, laptop.

PLANO BASE DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Simbología

- Centro Poblado Ccolcayqui
- Manantes
- Cuenca Ccolcayqui
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Drenaje
- Curvas de Nivel

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 ABAAD DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO				
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"				
Mapa:	PLANO BASE			
Asesor:	Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable:	Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicación:	Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyección: UTM ZONA 19 L	Escala: INDICADA Fecha: 2025	Lamina: 02

Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1. Antecedentes de la investigación

Se tomarán en cuenta los siguientes estudios anteriores:

Antecedente 1:

Márquez Gajardo (2024) Actualización hidrogeológica y estimación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos de las cuencas del Río Teno y Lontué, Región del Maule, tiene como objetivo analizar el comportamiento hidrogeológico del acuífero Teno-Lontué en la región del Maule, Chile. La investigación busca determinar el potencial hídrico de la zona en el contexto de una sequía, a través de la caracterización hidráulica del acuífero y un balance hídrico que permita evaluar su sostenibilidad frente a la explotación actual y las condiciones climáticas cambiantes. Este boletín nos ayudara a evaluar el potencial hídrico en la cuenca, mediante los análisis hidrogeológicos, balances hídricos y la caracterización del acuífero.

Antecedente 2:

Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011) Geología regional del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-sIV. El principal objetivo de este estudio es elaborar un actual formato de mapas con una escala de 1:50,000 con respecto al cuadrángulo 28s, con el fin de poner a disposición la información recopilada y procesada a la disposición de las autoridades y pobladores para la evaluación de los peligros geológicos y recursos naturales dentro del cuadrangulo; se llegó a la conclusión en este estudio con la realización de cuatro mapas geológicos y en el boletín se llegó a la identificación de los diferentes unidades litológicas, estructurales, metalogeneticos y minerales industriales. El cuadrángulo del Cusco (IV) en la parte sur está conformado por areniscas con feldespatos e intercalaciones de lutitas rojas formando medios fluviales entrelazado y llanuras de inundación. La zona media a superior es más gruesa y está compuesta por

areniscas, microconglomerados y cuarcíticos de un medio de origen fluvial. Hacia el sur las facies se presentan más gruesas y aparecen los conglomerados. El acuífero de kayra está conformado por areniscas con intercalación de lutitas rojas de estratos pequeños, originados por medios fluviales. Además, se observan los micro conglomerados y conglomerados, esta información nos ayudará para el reconocimiento de las unidades geológica de la zona de estudio.

Antecedente 3:

Choquehuanca (1999) Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Río Lucre. Este estudio tiene como objetivo en determinar de manera sintética los diferentes parámetros utilizados como los parámetros morfométricos de la cuenca de Lucre y allí analizar indicadores empleados por los geógrafos físicos en sus esfuerzos por lograr una sistematización de los cálculos, teniendo como conclusión del estudio la cuenca lucre tiene un área aproximada de 9.5 km² con perímetro de 65 kilómetros en su tipo de suelos en su mayoría es a nivel agrícola con impactos en la capacidad de la infiltración y el régimen hídrico. Este artículo nos ayudara en utilizar como modelo referente para sacar los parámetros morfométricos de la cuenca de Ccolcayqui.

Antecedente 4:

Calderon y Quillahuaman (2021) Estudio Hidrogeológico de las Microcuencas Santo Domingo – Acopia y Huayrachapi – Miskiunu, en el Distrito de Acopia, Acomayo, Cusco – 2019.

El estudio tiene como objetivo en determinar e identificar los acuíferos en las microcuencas de estudio, con el fin de realizar un inventario de manantes que afloran en las cuencas para el beneficio de los pobladores de la zona. Llegando a una conclusión la identificación del acuífero en Anta, acuíferos fisurados fioriticos, acuíferos kársticos realizando

el correcto mapeo de la zona. Este estudio nos ayudara a tener una referencia sobre el estudio hidrogeológico de un área determinada.

Antecedente 5:

(Lopez, 2023) Estudio Hidrogeológico para determinar el potencial hídrico en la microcuenca de Ccorao – Mandorani, Distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco, Región Cusco-2022.

El estudio tiene como objetivo establecer el potencial hídrico presente en la microcuenca estudiada, con el fin de proponer la instalación de pozos tubulares con el fin de explotar las aguas subterráneas, junto con medidas destinadas a incrementar la recarga de los acuíferos.

Llegando a una conclusión la identificación del acuífero en Ccorao, acuíferos fisurados y acuíferos porosos no consolidados lo cual se encuentran en las formaciones Kayra y Soncco y acuitardos correspondiente a la formación quilque así realizando con el correcto mapeo de la zona. Este estudio nos ayudara a tener una referencia sobre la identificación del tipo de acuífero en la zona de estudio.

2.2.Marco Conceptual

2.2.1. Definición de la Cuenca Hidrográfica

También conocida como hoya hidrográfica es un sector definido topográficamente, y es atravesada por un curso de agua con caudal efluente se evacua mediante una salida. Monsalve (1999)

Se define como el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común. Ordoñez (2011)

Según Araque (2019), es un área drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida para que todo el caudal sea descargado.

2.2.2. Clasificación de la Cuenca Hidrográfica

Según Araque (2019), se clasifican por:

Por su tamaño:

- a) **Cuencas muy grandes:** los cuales son cuencas que tienen una superficie $> 5000 \text{ km}^2$.
- b) **Cuenca grande:** tienen una superficie en un parámetro de $2500 \text{ km}^2 - 5000 \text{ km}^2$.
- c) **Cuenca intermedia:** poseen una superficie en un rango de $500 \text{ km}^2 - 2500 \text{ km}^2$.
- d) **Cuenca intermedia pequeña:** poseen una superficie en un rango de $250 \text{ km}^2 - 500 \text{ km}^2$.
- e) **Cuenca pequeña:** poseen una superficie en un parámetro de 25 km^2 a 250 km^2 .
- f) **Cuenca muy pequeña:** Poseen una superficie en un rango menor de 25 km^2 .

Según el lugar de desembocadura:

Se modifica según el destino final del río, ya sea el océano, un lago o una laguna:

- a) **Cuenca endorreica:** son cuencas en el cual, el punto de salida de las aguas superficiales se encuentra dentro de la misma cuenca, puede ser lago o laguna.
- b) **Cuenca exorreica:** son cuencas donde el punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que fluye hasta océano.
- c) **Cuenca arreica:** son cuencas donde las aguas no desembocan en cuerpos de agua, si embargo su agua se infiltra al subsuelo o también se evapora.

Su uso:

Las cuencas se pueden agrupar de acuerdo a su principal función como: abastecimiento de agua potable, para agua, para riego o agua para navegación.

2.2.3. Sistema de Codificación De Pfastetter

Se trata de un sistema de codificación propuesto por Otto Pfastetter en 1989, posteriormente difundido en 1997 por Verdín y adoptado por el servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) como un estándar internacional.

Es una codificación lo cual sirve como identificadores (Ids) a unidades de drenaje en función a la topología de la superficie del suelo; es decir, asigna identificadores a una cuenca para relacionarla con sus cuencas vecinas, locales o internas.

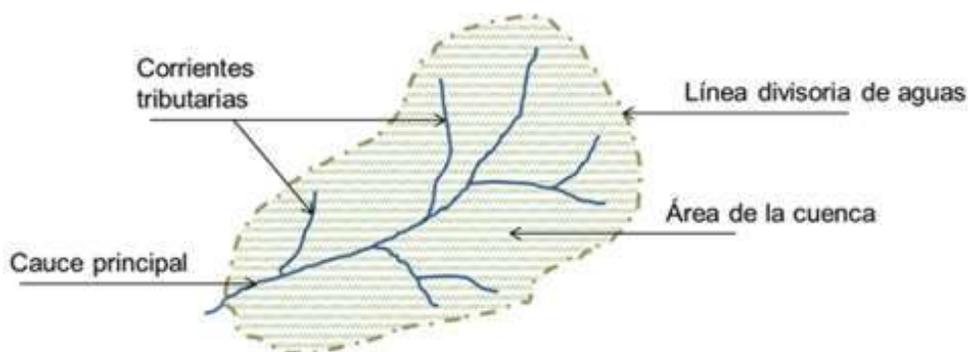
2.2.4. Parámetros Fisiográficos O Geomorfológicos de la Cuenca

Según (Monsalve, 1999), dependen de la morfología, los tipos de suelos, la capa vegetal, la geología y son:

- a. **Área de drenaje:** es la superficie plana delimitada por su divisoria topográfica.
- b. **Forma de la cuenca:** está asociada con el lapso de escorrentía, que es el periodo necesario desde el inicio de la precipitación hasta que la totalidad de la cuenca contribuya al flujo en la sección del cauce analizado.
- c. **Perímetro de la cuenca:** corresponde a la medida de la longitud que delimitada el entorno del área de la cuenca.

Figura 1

Componentes de una Cuenca



Fuente: https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26

2.3.Clima

Chereque (1989), es el conjunto variable de condiciones atmosféricas, el cual se define como los estados y la evolución del tiempo, dentro de un periodo suficientemente largo en un lugar específico.

2.3.1. Precipitación

Araque (2019), la cuenca hidrográfica es un fenómeno físico que implica el movimiento de cantidades de agua, en sus distintas maneras como la precipitación, cristales de hielo, pedrisco, etc. Desde la capa gaseosa hasta el suelo. La elevación del aire es el proceso clave que provoca la precipitación. Al elevarse, las masas de aire se enfrían de forma adiabática hasta alcanzar su punto de rocío. La precipitación puede ocurrir tanto en estado fluido, como la precipitación líquida, como en forma sólida, incluyendo cristales de hielo y el pedrisco. Es importante distinguir entre las formas de condensación, como la neblina y el rocío, ya que estas no se consideran tipos de precipitación.

2.3.2. Temperatura

Custodio y Llamas (1983), mediante la temperatura se refleja de forma numérica el efecto del calor en los cuerpos, originado por el balance entre la radiación absorbida y la radiación emitida.

2.3.3. Humedad Relativa

Custodio y Llamas (1983), este coeficiente se expresa como la diferencia entre la presión de vapor en un momento dado y la tensión del aire correspondiente a la temperatura del aire en ese momento

2.3.4. Evaporación

Chereque (1989) indica que la evaporación es una fase permanente del ciclo hidrológico, que se presenta de manera continua en todas las superficies húmedas. Este proceso, que se considera un fenómeno puramente físico donde el agua se transforma en vapor, también incluye otro tipo de evaporación inducida por la actividad de las plantas, conocida como transpiración.

2.3.5. Evapotranspiración

Martinez, y Castaño (2005) definen la evapotranspiración como el volumen de agua que se transforma de su estado sólido o líquido a vapor en la atmósfera, ya sea mediante la evaporación directa o a través de la transpiración vegetal. Generalmente, este proceso se mide en mm durante un período de tiempo específico.

2.4. Geomorfología

Gutierrez (2008) indica que, la geomorfología estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos.

2.4.1. Mapa Geomorfológico

Existen diversas interpretaciones sobre el concepto de un mapa geomorfológico, donde dependen según la formación de los autores y el propósito específico de la cartografía. Según Panizza, este tipo de mapa estudia las variaciones del paisaje según su morfología interpretativa, considerando los procesos que las originan y las formas, así como su evolución y el grado de equilibrio en el entorno natural. Sin embargo, Garzón enfatiza que su representación debe de seguir normas generales previamente establecidas para su correcta interpretación.

2.4.2. Pendientes

Este mapa representa la distribución espacial de las inclinaciones del terreno y es una herramienta de cartografiado esencial, su identificación sirve para elaborar mapas de relieve o de

fisiografía. Además, la inclinación es un factor clave para delimitar áreas, permitiendo al superponer mapas de tipo litológico, geotécnico, de cobertura vegetal y de suelos, se consiga evaluar la estabilidad de talud, el comportamiento hidrológico y la distribución de actividades económicas, como la agricultura y forestal.

2.5. Geología

Según Mantilla (2017), la geología es la ciencia que estudia la Tierra, abarcando su composición, estructura en los procesos que han ocurrido y que continúan ocurriendo, su evolución como planeta, su relación con otros cuerpos celestes en el universo y la historia de la vida registrada en las rocas.

Además de ser una ciencia de disciplina descriptiva, también tiene un enfoque genético y evolutivo, buscando identificar la causa de los fenómenos observados.

2.5.1. Depósitos deluviales:

Los depósitos deluviales son acumulaciones de sedimentos transportados por la escorrentía superficial en laderas o al pie de pendientes. Se caracterizan por ser mal clasificados (mezcla de materiales finos y gruesos) y se forman cuando el agua pierde velocidad y deposita el material que arrastra, son comunes en zonas de montañas y pendiente.

2.5.2. Depósitos proluviales:

Son depósitos sedimentarios tipo deltaico, compuesto por material fragmentado, estos depósitos se acumulan en la base de una pendiente debido a una avenida torrencial ocasional.

2.5.3. Clasificación de las Fallas

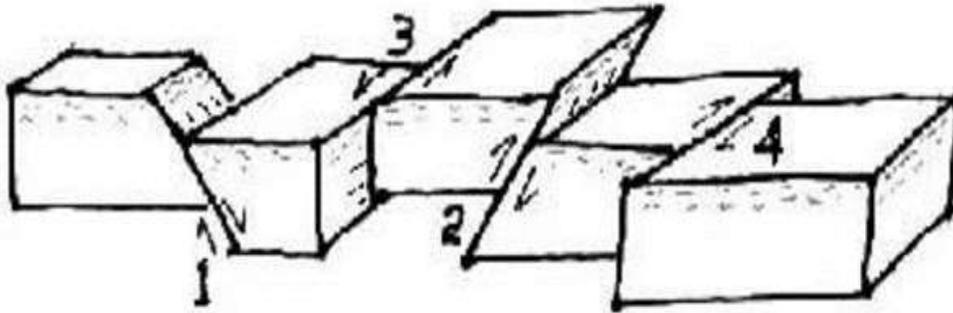
Se clasifican en un punto de vista debido a los esfuerzos que lo generan:

- Falla normal (tensión aparente).
- Falla inversa (compresión aparente).

- Falla de rumbo izquierdo
- Falla de rumbo derecho

Figura 2

clasificación de fallas: (1) falla normal, (2) falla inversa, (3) falla de rumbo izquierdo, (4) falla de rumbo derecho.



Fuente: <https://godues.wordpress.com/2014/12/31/geologia-estructural-manualgeo-cap-11/>

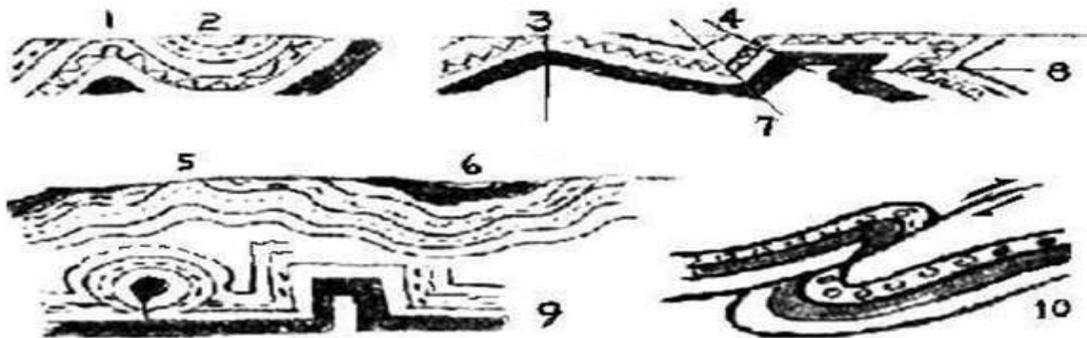
2.5.4. Tipos de Pliegues

Los pliegues son estructuras de deformación que se forma cuando las rocas tienden a deformarse por el esfuerzo tectónico, tenemos los siguientes pliegues: anticlinal, sinclinal, isoclinal derecho (simétrico), monoclinal (rodilla), anticlinorio, sinclinorio, recostado inclinado o asimétrico, acostado tumbado (recurrente), abanico (encofrado), afallado (cabalgadura).

Figura 3

Tipos de Pliegues: (1) Anticlinal, (2) Sinclina, (3) Isoclinal, (4) Monoclinal, (5) Anticlinorio, (6) Sinclinorio, (7) Recostado, (8) Acostado tumbado, (9) Abanico, (10) Afallado.

2.6. Ciclo Hidrogeológico



Fuente: <https://godues.wordpress.com/2014/12/31/geologia-estructural-manualgeo-cap-11/>

Es el proceso mediante el cual el agua experimenta distintos cambios en la naturaleza, pasando por sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso y adoptando diversas formas como agua superficial y subterránea.

2.6.1. Oferta Hídrica Generada

Las relaciones entre la precipitación y drenaje natural son fundamentales para el diseño, pronósticos y evaluaciones, especialmente en situaciones donde los datos de escurrimiento son limitados. Estas relaciones facilitan la estimación del escurrimiento a partir de datos de precipitación, que son más accesibles y abundantes. Cuando se establece una relación sólida entre la lluvia y el escurrimiento en una cuenca específica, se pueden obtener estimaciones más precisas de los caudales extremos en comparación con extrapolaciones basadas en datos de escurrimiento. El proceso de establecer estas relaciones se realiza en dos etapas: primero, se determina el volumen de drenaje natural resultante de una cantidad de precipitación en un lapdo

definido; segundo, se analiza la distribución temporal del escurrimiento, considerando factores como la evapotranspiración, la infiltración y el tiempo de recorrido del agua.

2.6.2. Demanda hídrica:

Se refiere a la cantidad de agua asignada para usos específicos, a un precio establecido, que se distribuye a los usuarios en períodos de tiempo determinados.

2.6.3. Balance hídrico:

Según Martínez y Castaño (2005) la ecuación de continuidad se basa en el principio de conservación de la masa propuesta por Lavoisier, el cual indica que “nada se crea ni se destruye”. Esta ecuación se expresa de la siguiente manera:

Variación en el almacenamiento = precipitación - evapotranspiración - escorrentía.

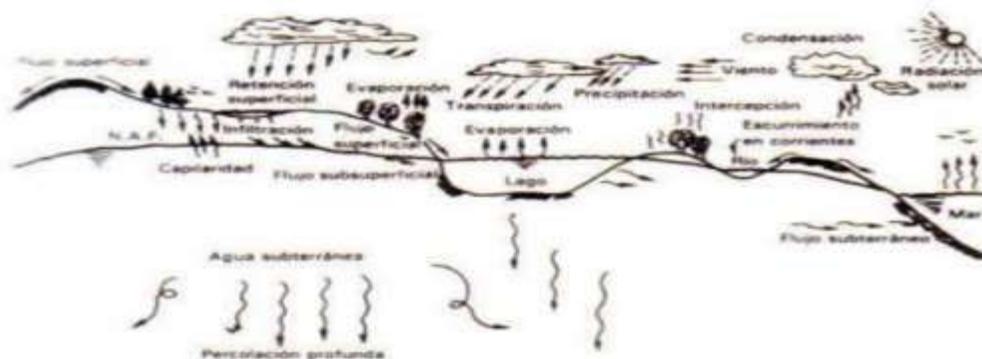
2.7.Hidrogeología

Es la ciencia donde es parte de la geología que analiza la distribución y el comportamiento de las aguas subterráneas. Estudia los distintos tipos de rocas y formaciones geológicas que contienen, considerando sus estructuras. Además, se encarga del aprovechamiento de estos recursos hídricos para el beneficio humano. Davila (2011); pág. 413.

Ciclo hidrológico: se define como “el continuo movimiento que realizan las partículas de agua en sus tres estados físicos. Este ciclo ocurre de forma natural y, que ello afecte su cantidad total. Mejia (2018)

Figura 4

Ciclo Hidrológico



Fuente: Tomado de Fundamentos de Hidrología de Superficie

Acuíferos: Roca con porosidad y permeabilidad que facilita la acumulación de agua en cantidades suficientes para su extracción y aprovechamiento en beneficio del ser humano. Los acuíferos se dividen en: acuíferos confinados, acuíferos libres, acuíferos semiconfinados, y acuíferos porosos no consolidados, etc. Davila (2011)

- **Acuíferos Confinados:** Acuífero ubicado entre dos rocas impermeables. Davila (2011)
- **Acuíferos Libres:** se denominan “aquellos que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable”.
- **Acuíferos Semiconfinados:** Se trata de aquellos en cuyos bordes, ya sea el muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, permitiendo así el flujo vertical del agua”. Ordoñez (2011)
- **Acuíferos Fisurados Sedimentarios:** son sistemas hidrogeológicos en los que el agua subterránea se aloja y fluye principalmente a través de fracturas o fisuras en las rocas. Este tipo de acuífero está parcialmente cubierto por una capa de baja

permeabilidad, que restringe en cierta medida, pero no bloquea por completo, su interacción con otras fuentes de recarga o descarga. Custodio y Llamas (1996)

- **Acuíferos Porosos No Consolidados:** aquellos formados por sedimentos sueltos, tales como gravas y arenas, cuyos espacios intergranulares permiten almacenar y conducir el agua subterránea de manera eficiente, gracias a la elevada permeabilidad que caracteriza a estos materiales. Custodio y Llamas (1996)

Acuitardos: Rocas que almacenan agua y la transmiten de manera lenta.

Acuicludo: Rocas con alta capacidad de retención, pero con una transmisión casi inexistente.

Acuifugo: Rocas impermeables sin la capacidad de almacenamiento ni transmisión de agua.

Capítulo III: Geomorfología

3.1. Geomorfología Regional

El boletín de Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco, la geomorfología del Cusco es consecuencia a los diferentes episodios de modelamiento tectónicos y climáticos quienes fueron los responsables de las cadenas montañosas. Por lo tanto, estos procesos dieron lugar a una variedad de paisajes para así constituir a la geomorfología actual. Desde un punto de vista regional, el Cusco presenta cuatro unidades morfoestructurales y dentro de ellas se pueden observar diferentes paisajes, según Benavente (2013).

3.1.1. *Altiplano.*

Según (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011), emergen roca de edad mesozoica de estratos menores a comparación a la cordillera occidental. Morfológicamente se distinguen por ser una altiplanicie con altitudes que oscilan entre los 3800 y 4000 m. sobre el nivel del mar, aun así, existen montañas que pueden superar los 4400 metros, a su vez este se encuentra atravesada por varios ríos y modelada por el efecto de los glaciares, lo que resulta una topografía muy escarpada.

3.1.2. *Depresión de Cusco–Huacarpay.*

Se presenta con una forma alargada y una dirección NO-SE con longitud de 30km y una altitud que va de los 3400 metros, actualmente pertenece al valle del rio Huatanay. Está conformado por relleno aluviales, lacustres y fluviales de serie pliocuaternaria, (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011).

3.1.3. *Montañas del Cusco*

Ubicado al norte de la Meseta de Saqsayhuaman, por la zona de Tambomachay existe una estructura de falla del mismo nombre que la zona que divide la unidad, esta estructura

presenta relieves elevados, claro ejemplo es el cerro Pícol que alcanza una altura de 4000 msnm, (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011).

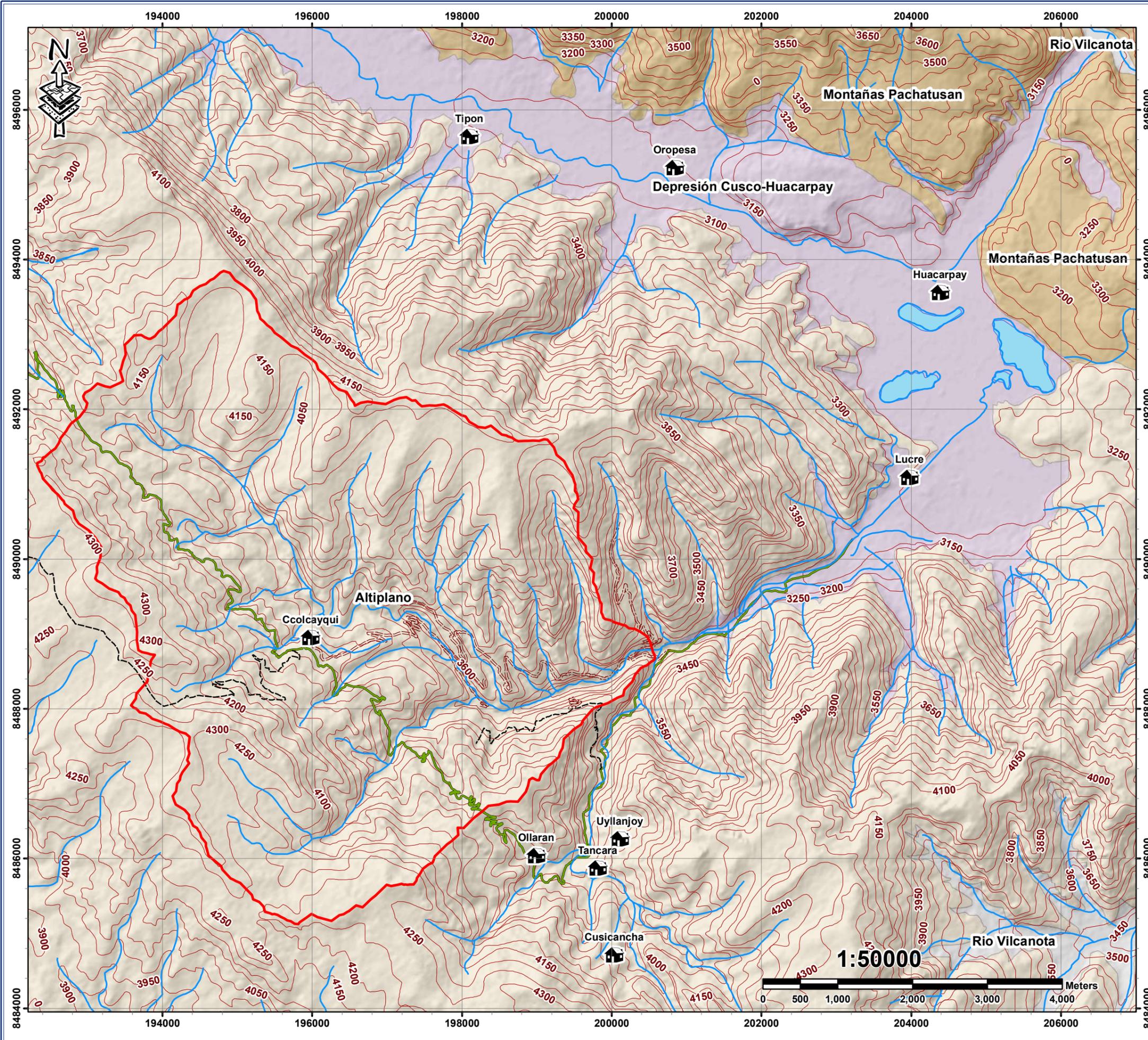
3.1.4. *Montañas de Pachatusan*

Se presenta con relieve accidentado con pendientes pronunciadas y valles profundos, por parte de su vegetación desarrolla suelos poco desarrollados debido a su erosión, lo cual presenta en vegetación pajonales altoandinos y pastizales; esta unidad actúa como divisoria de aguas influenciando el flujo de los ríos cercanos, (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011).

3.1.5. *Meseta de Huaccoto*

Se ubica cerca de la ciudadela de Cusco, forma parte del sistema geomorfológicos andino, influenciada por procesos tectónicos, sedimentarios y erosivos característicos de las regiones de las mesetas altoandinas. (Carlotto Caillaux & Cardenas Roque , 2011).

PLANO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Leyenda

Unidades Geomorfológicas Regionales

-  Altiplano
-  Depresión Cusco-Huacarpay
-  Montañas Pachatusan
-  Rio Vilcanota

Simbología

-  Cuenca Ccolcayqui
-  Centros Poblados
-  Drenaje
- Acceso**
-  Camino Carrozable
-  Camino de Herradura
-  Carretera Abandonada
-  Carretera Afirmada
-  Curvas de Nivel
-  Lagunas

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 INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa:	PLANO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL		
Asesor:	Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable:	Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARIL EDITH ROSMERY
Ubicación:	Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTMZONA 19 L	Escala: INDICADA Fecha: 2025
			03

3.2. Geomorfología Local

Para el mapeo geomorfológico de la zona local se realizó con la ayuda del mapeo geológico, imágenes satelitales y las salidas de campo dentro de la cuenca de Colcayqui.

Dentro de la cuenca Ccolcayqui se pudo observar las siguientes subunidades geomorfológicas en un punto de vista local:

Tabla 4

Unidades Geomorfológicas de la Región del Cusco

GEOFORMAS	SUB UNIDAD GEOMORFOLOGICA	SIMBOLO	AREA (Km ²)	Área %
Degracional - Erosional	Montaña en Roca Sedimentaria	RM-rs	37.87	94.09
	Rio	Rio	0.13	0.32
Deposicional y agradacional	Vertiente Coluvial de Detritos	V-d	0.67	1.67
	Vertiente Eluvial	V-el	0.88	2.19
	Vertiente Aluvio Torrencial	P-at	0.66	1.65
	Terrazas Aluviales	T-al	0.03	0.08
	Total		40.25	100

3.2.1. *Montañas en Rocas Sedimentarias*

Esta sub unidad está conformado por rocas sedimentarias y la conforman la mayor parte de la cuenca, donde está conformada por el grupo San Jerónimo conformada por la formación Kayra y la formación Soncco, se encuentran tanto en ambos márgenes del rio principal de la cuenca Ccolcayqui, presentan una variación de 3315 – 4280 msnm. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

Figura 5

Vista Panorámica de las Montañas en Rocas Sedimentarias.



Se muestra una vista panorámica de la cuenca tomada desde la cabecera del margen derecho de la cuenca conformadas por rocas sedimentarias identificadas como areniscas recubiertas por la vegetación propio de la zona.

3.2.2. Piedemonte Coluvial De Detritos

El piedemonte coluvial de detritos en las zonas de estudio se encuentra como depósitos de bloques de macizo rocoso ubicado al pie de las laderas de montañas, lo cual son producidas por caídas o meteorización física. Se asocian con las colinas de escombros.

Figura 6

Vista de vertiente coluvial de detritos.



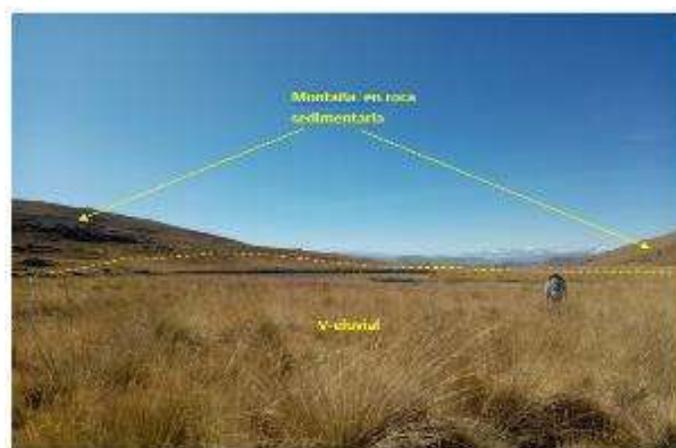
Vista de la vertiente coluvial ubicado al margen derecho de la Cuenca cerca a la población de Ccolcayqui

3.2.3. Vertiente Eluvial

El piedemonte coluvio – deluvial se encuentran alrededor del río principal de la cuenca Colcayqui, que va desde una altitud de 3398 msnm hasta los 4090 msnm, se asocian a las quebradas susceptibles a los flujos de detritos que son arrastrados por el flujo de agua superficial.

Figura 7

Vista panorámica de la vertiente eluvial.



Vertiente Eluvial rodeada de las montañas sedimentarias en la cabecera de la cuenca Ccolcayqui.

3.2.4. *Vertiente Aluvio Torrencial*

Esta subunidad geomorfológica está formada por acumulaciones de corrientes de aguas estacionales, se puede observar en las quebradas dentro de la cuenca y en las quebradas.

Figura 8

Vista de la formación de quebradas.



3.2.5. *Terrazas Aluviales*

Se presentan alrededor del curso del río y está compuesta por rocas fragmentadas, gravas envueltas bajo una matriz arenas y limos lo cual son transportado por el agua de la cuenca, donde se depositan en forma de terrazas en ambos márgenes del río.

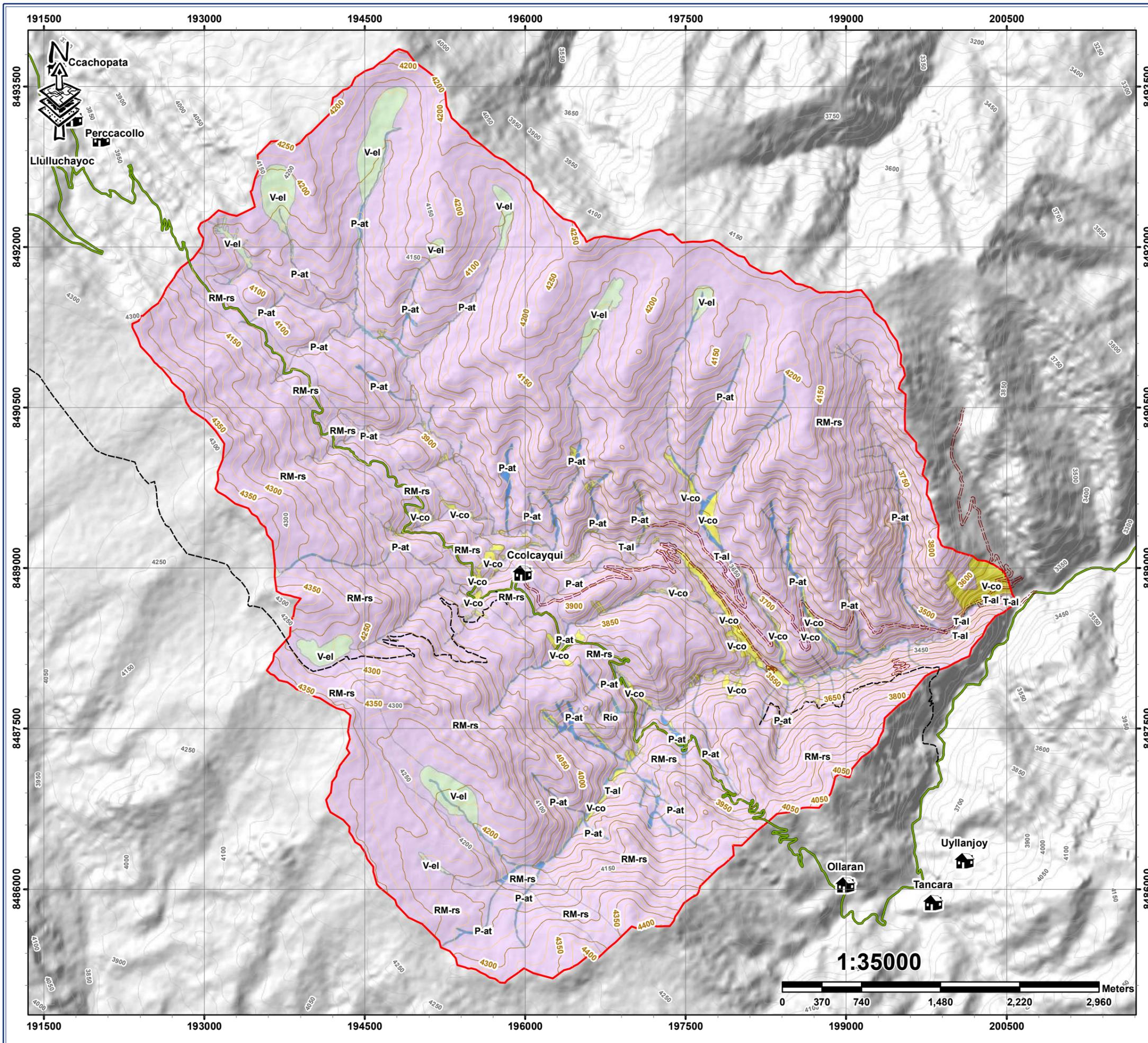
Figura 9

Vista de las terrazas aluviales.



Vista de terrazas aluviales ubicadas al pie del margen izquierdo del punto de aforo de la cuenca.

PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Leyenda

Sub unidades Geomorfológicos Locales

- P-at: Vertiente aluvio torrencial
- RM-rs: Montaña en roca sedimentaria
- Río
- T-al: Terraza aluvial
- V-co: Vertiente coluvial
- V-el: Vertiente eluvial

Simbología

- Centros Poblados
- Curvas de Nivel**
 - Primarias
 - Secundarias
- Acceso**
 - Camino Carrozable
 - Camino de Herradura
 - Carretera Abandonada
 - Carretera Afirmada
 - Cuenca Ccolcayqui

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 INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa:		PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL	
Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicación:	Dato:	Escala:	Lamina:
Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	INDICADA Fecha: 2025	04

3.3.Pendiente

Se define como grado de inclinación de la superficie en relación con la horizontal, para la realización del plano de pendientes se tomó como referencia el “Reglamento de Clasificación de Tierras MINAG-2002” el cual clasifica las tierras según por su capacidad de uso mayor.

Tabla 5

Clasificación de Pendientes Según Ministerio de Agricultura y Riego

CLASE DE PENDIENTE	RANGO PENDIENTE (%)	DESCRIPCIÓN
A	0 - 2	Plano o casi nivel o allanada
B	2 - 4	Llano a Ligeramente inclinado
C	4 - 8	Moderadamente inclinadas
D	8 - 15	Fuertemente inclinadas
E	15 - 25	Moderadamente empinadas
F	25 - 50	Empinadas
G	50 - 75	Fuertemente empinadas
H	Mas de 75	Extremadamente Empinadas

Fuente: REGLAMENTO DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS MINAG-2002

En la cuenca Colccayqui se identificaron 6 rangos con sus respectivas áreas en la siguiente tabla:

Tabla 6

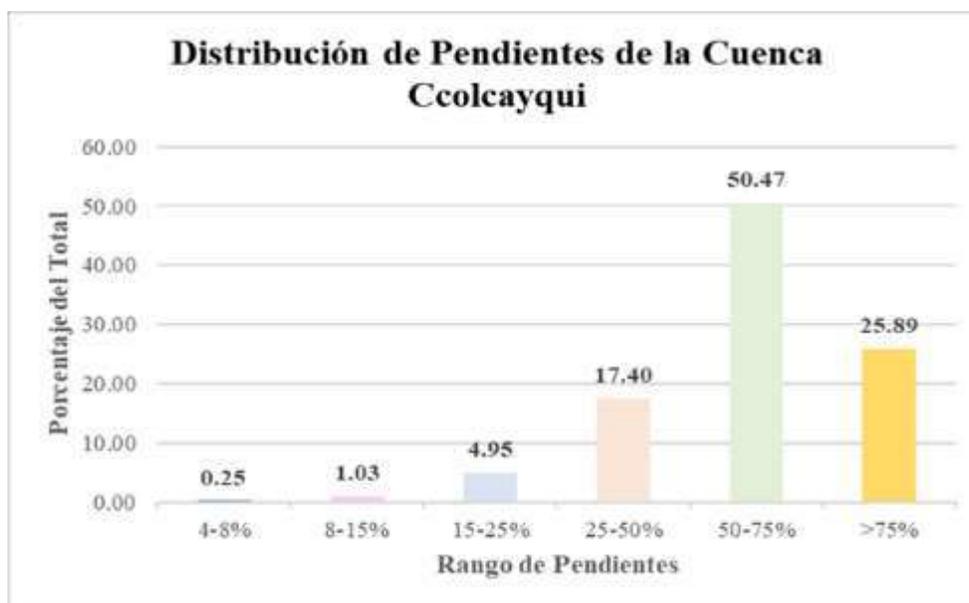
Clasificación de Pendientes en la cuenca Ccolcayqui. Según MINAG

Clase de Pendiente	Rango Pendiente (%)	Descripción	Área (km ²)	Área (%)
C	4 - 8	Moderadamente inclinadas	0.10	0.25
D	8 - 15	Fuertemente inclinadas	0.42	1.03
E	15 - 25	Moderadamente empinadas	1.99	4.95
F	25 - 50	Empinadas	7.00	17.40
G	50 - 75	Fuertemente empinadas	20.31	50.47
H	Mas de 75	Extremadamente Empinadas	10.42	25.89
Total			40.24	

Fuente: REGLAMENTO DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS MINAG-2002

Figura 10

Diagrama de Distribución de Pendientes en la Cuenca Ccolcayqui



En la figura N°10 se puede apreciar que la pendiente predominante es la fuertemente empinada con un porcentaje de (50% - 75%), seguidamente de la Extremadamente Empinada

con un porcentaje de (75% a más) así sumando más de la mitad del total, por consecuencia se puede concluir que el porcentaje de las pendientes allanadas son demasiadas pequeñas.

A continuación, se describen las pendientes presentes en la Cuenca Ccolcayqui:

i. Moderadamente Inclinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 4–8%, lo cual representa el 0.25% de la superficie del total de la cuenca.

ii. Fuertemente Inclinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 8–15%, lo cual representa el 1.03% de la superficie del total de la cuenca.

iii. Moderadamente Empinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 15–25%, lo cual representa el 4.95% de la superficie del total de la cuenca.

iv. Empinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 25–50%, lo cual representa el 17.40% de la superficie del total de la cuenca.

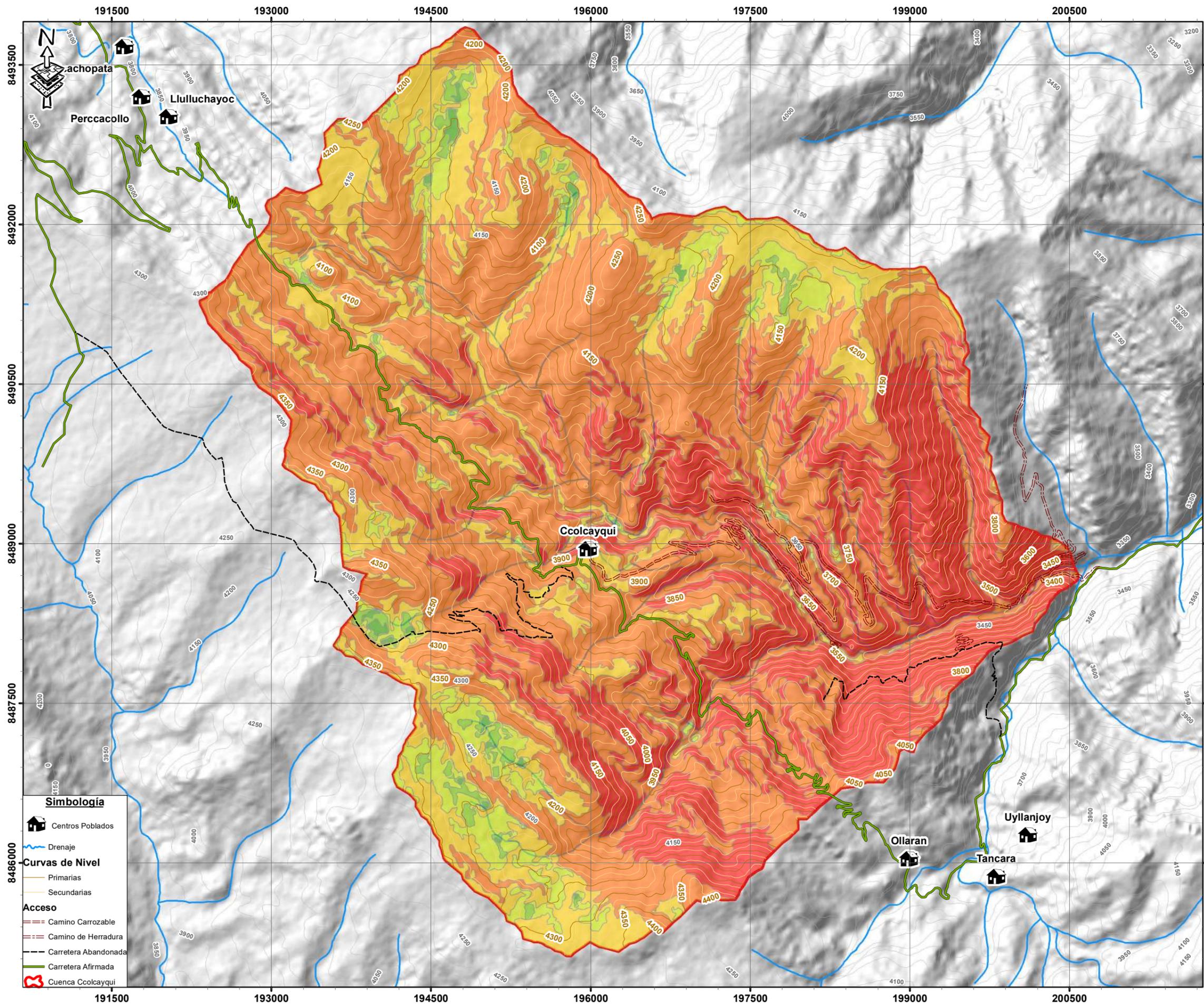
v. Fuertemente Empinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 50–75%, lo cual representa el 50.47% de la superficie del total de la cuenca.

vi. Extremadamente Empinada

Son aquellas pendientes cuya inclinación de la superficie en relación con la horizontal que oscila entre 75% a más, lo cual representa el 25.89% de la superficie del total de la cuenca.

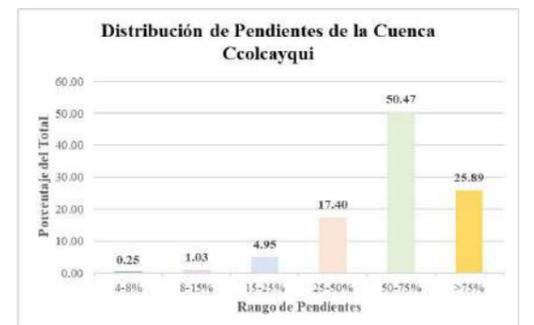
PLANO PENDIENTE DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Distribución de Pendientes en la Cuenca Ccolcayqui

Clase de Pendiente	Rango Pendiente (%)	Descripción	Área (km ²)	Área (%)
C	4 - 8	Moderadamente inclinadas	0.1	0.25
D	8 - 15	Fuertemente inclinadas	0.42	1.03
E	15 - 25	Moderadamente empinadas	1.99	4.95
F	25 - 50	Empinadas	7	17.4
G	50 - 75	Fuertemente empinadas	20.31	50.47
H	Mas de 75	Extremadamente Empinadas	10.42	25.89
Total			40.24	100

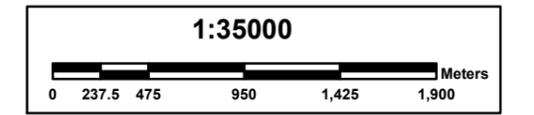
Cuenca Ccolcayqui



Leyenda

- Moderadamente inclinadas
- Fuertemente inclinadas
- Moderadamente empinadas
- Empinadas
- Fuertemente empinadas
- Extremadamente Empinadas
- Curvas de Nivel-Regional

ESCALA



- ### Simbología
- Centros Poblados
 - Drenaje
 - Curvas de Nivel**
 - Primarias
 - Secundarias
 - Acceso**
 - Camino Carrozable
 - Camino de Herradura
 - Carretera Abandonada
 - Carretera Afirmada
 - Cuenca Ccolcayqui

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

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO
 "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"

Mapa: PLANO PENDIENTE

Autor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA YENY KARINA
	Bach. LIMACHI CATARIL EDITH ROSMERY
Ubicación: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datam: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTMZONA 19 L
	Escala: INDICADA Fecha: 2025
	Lamina: 05

CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA

4.1. Geología Regional.

A nivel regional la zona de estudio, abarca las siguientes formaciones: formación Kayra (Peo-ky), formación Soncco (Peo-so) con el primer y segundo miembro, así también se encuentran presentes la Formación Puna cancha (Nom-pu) con el primer y segundo miembro.

El Grupo San Jerónimo se distingue por presentar una potente serie roja de origen continental que aflora de manera extensa en la región del Cusco. Esta formación se apoya en las siguientes formaciones: Formación Kayra y la Formación Soncco, estas dos formaciones están conformadas principalmente por areniscas feldespáticas intercaladas con limolitas y algunos conglomerados, teniendo un origen fluvial y con una edad eocena inferior-oligocena inferior. Asimismo, se encuentra la formación Punacancha, data entre el oligoceno superior–mioceno inferior, yace con una ligera discordancia angular sobre la formación Soncco; esta formación comprende dos miembros, el miembro I está compuesto por lutitas y limolitas rojas asociadas a llanuras de inundación y microconglomerados fluviales, el miembro II se muestra una secuencia grano-estrato creciente de areniscas y conglomerados fluviales con presencia de clastos. Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

Figura 11 Vista Panorámica de la Cuenca Ccolcayqui

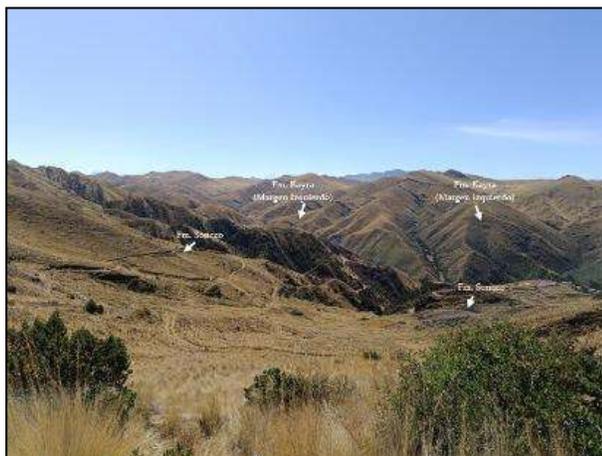
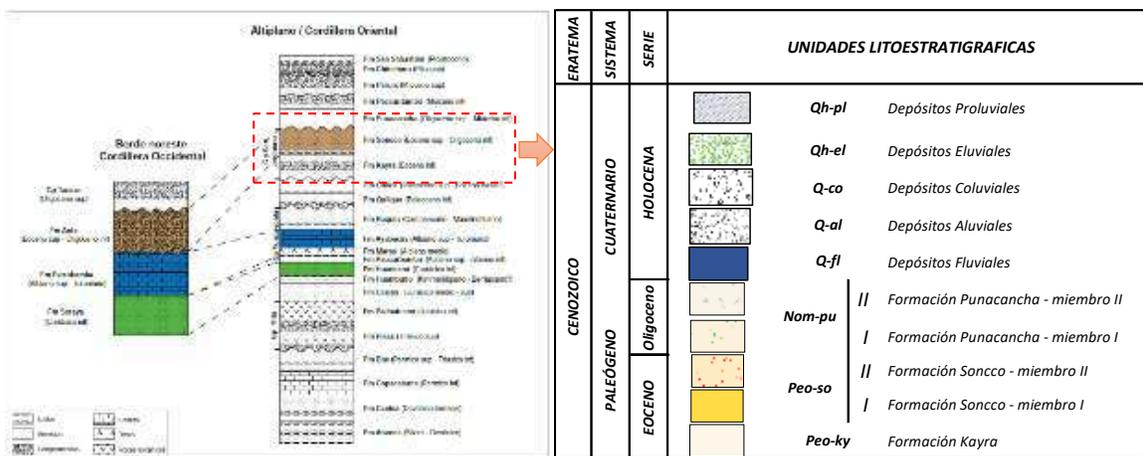


Figura 12 Columna estratigráfica regional del cuadrángulo del Cusco 28-s (IV)



Nota: Modificado del boletín del cuadrángulo de Cusco 28-s

PLANO GEOLÓGICO REGIONAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



ERA TEMÁTICA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		
			CUATERNARIO	HOLOCENO	
CENOZOICA	NEÓGENO	PLIOCENO	Q-la	Depósitos Lacustres	
			Q-co	Depósitos Coluviales	
			Q-al	Depósitos Aluviales	
			Q-fl	Depósitos Fluviales	
			Q-gi	Depósitos Glaciares	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	NpQ-ru	Formación Rumicolca	
				Formación Punacancha - miembro III	
				Formación Punacancha - miembro II	
				Formación Punacancha - miembro I	
				Formación Sancco - miembro II	
PALEÓGENO	EOCENO	Peo-so	Formación Sancco - miembro I		
		Peo-ky	Formación Kayra		
		Pp-ch	Formación Chilca		
		Pp-qu	Formación Quilque		
		MESOZOICA	CRETÁCICO	SUP.	Ks-pu
INF.	Ki-ma			Formación Maras	
Jurásico	Sup.		Ki-pb	Formación Paucarbamba	
	Sup.		Ki-hn	Formación Huancane	
Paleozoico	Pérmico	Sup.	Jski-hm	Formación Huambutío	
		Sup.	PsT-pa	Formación Pachatusan	
			Sup.	Ts-pi	Formación Pisac

Simbología

- Centros Poblados
- Manantes
- Curvas de Nivel
- Drenaje
- Acceso**
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Cuenca Ccolcayqui
- Lagos

Leyenda

Pliegue		Eje de anticlinal
		Eje de sinclinal
Fallas		Falla normal
		Falla inferida
		Falla inversa
Buzamientos		Rumbo y buzamiento de estratos
		Rumbo y buzamiento de estratos invertido
		Estrato vertical

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
		FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO				
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"				
Mapa: PLANO GEOLOGIA REGIONAL				
Asesor:		Responsable:		
Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY		
Ubicación:		Datum:	Escala:	Lamina:
Dep. CUSCO	Prov. QUISPICANCHI	WGS 84	INDICADA	06
Dist. LUCRE		Sistema de Proyección: UTM ZONA 19 L	Fecha: 2025	

4.2. Geología Local.

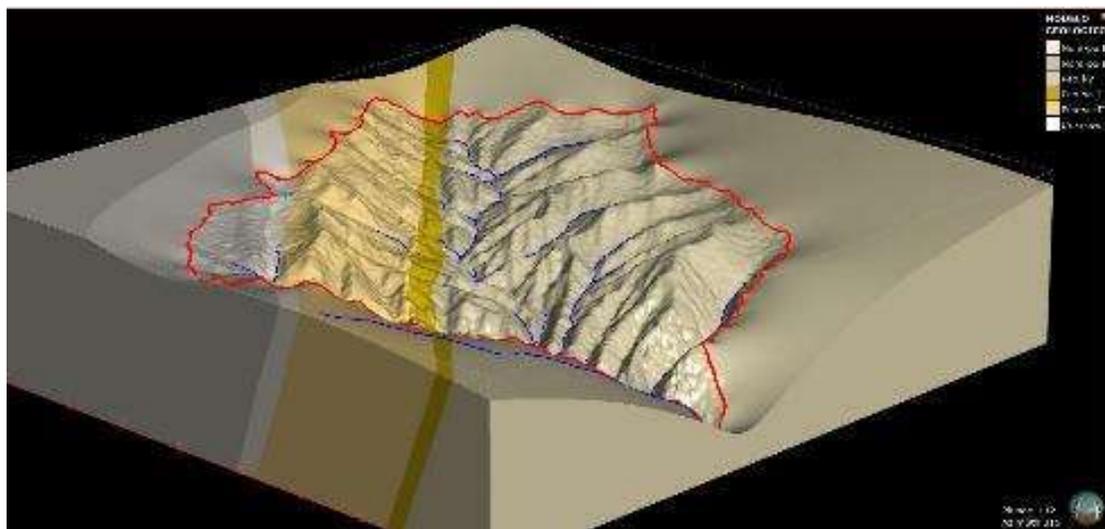
La geología local describe a los afloramientos litoestratigráficos que en ciertos casos son cortados por obras de riego, carreteras, sin embargo, en la mayoría de la zona de estudio predomina los afloramientos rocosos. Según el mapeo realizado en la etapa de campo se lograron identificar la Formación Kayra, Fm. Soncco, Fm. Punacancha, así como los depósitos cuaternarios. La secuencia cronológica de las unidades se presenta a continuación:

Tabla 7 Orden cronológico de la geología local de la cuenca Ccolcayqui

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		
Cenozoico	Cuaternario	Holocena	Depósitos Proluviales		
			Depósitos Eluviales		
			Depósitos Coluviales		
			Depósitos Aluviales		
			Depósitos Fluviales		
	Paleógeno	Oligocena	Fm. Punacancha	Miembro II	
				Miembro I	
		Eocena	Gpo. San Jerónimo	Fm. Soncco	Miembro II
					Miembro I
					Fm. Kayra

Nota: Adaptado de Carlotto, V., y Cárdenas, J. (2003).

Figura 13 Modelado de la Cuenca Ccolcayqui.



4.2.1. Grupo San Jerónimo

4.2.1.1. Formación Kayra (Peo-ky)

La formación Kayra aflora en la parte sureste, noreste y una parte de noroeste de la cuenca, tiene una extensión de área en la cuenca Ccolcayqui con 23.12 km² comprendiendo el 57.43% del total de área. Litológicamente está conformada por areniscas feldespáticas (areniscas arcosas) de grano medio con espesores > a 10 cm con intercalaciones de lutitas rojas con espesores menores a 10 cm, se presentan medianamente fracturado y presencia de venillas de calcita como también nódulos de areniscas de grano fino color marrón oscuro. Estos afloramientos presentan un buzamiento de 20° a 75°.

En el corte de carretera vía Lucre- Ccolcayqui (X= 198255.00; Y= 8486648.00) se observa presencia de malaquita en contacto sureste de la Cuenca Ccolcayqui (ver Figura 14).

Figura 14

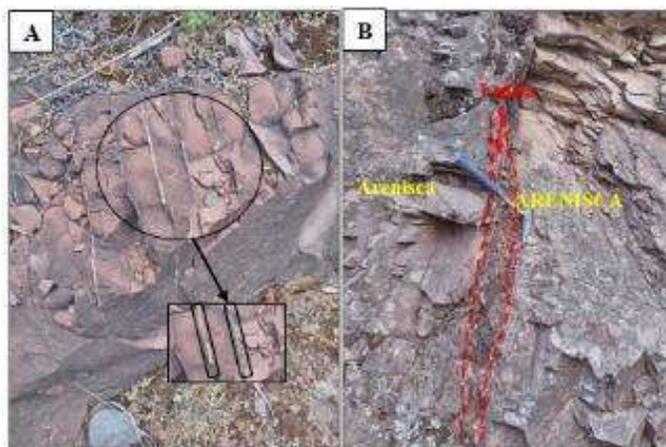
Afloramiento de areniscas marrón grisáceas de la Formación Kayra,



Afloramiento de rocas areniscas ubicadas en el margen Izquierda de la Cuenca Ccolcayqui correspondiente a la Formación Kayra, presenta un fracturamiento de roca con un RQD 48% de una calidad pobre, intensamente fracturada.

Figura 15

Presencia de venillas de calcita.



Afloramiento rocoso de areniscas de la Fm. Kayra, y la intercalación de lutitas rojizas con un RQD de 61.11% con calidad aceptable con un fracturamiento alto. En la figura A) se aprecia la presencia de venillas de calcita dentro de las areniscas fluviales, en la figura B) se muestra la intercalación de areniscas con lutitas de un espesor de 10 cm de coloración rojizas.

Figura 16

Presencia de malaquita en la formación Kayra



Presencia de mineralización de Malaquita en las areniscas de la Formación Kayra ubicadas en el Corte de Carretera en contacto con la formación soncco miembro I.

Tabla 8 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 01

DESCRIPCION MACROSCOPICA					
MUESTRAS:	M-01	COORDENADAS	X	Y	Z
FORMACION GEOLOGICA:	Formación Kayra		200143	8488647	3379
COLOR	Marrón Grisáceo		ZONA:	19L	
TIPO	Sedimentaria				
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.50 mm - 0.25 mm				
FORMA	Esferoidal -Equidimensional				
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado				
EMPAQUE	Completo				
SELECCIÓN	Bien seleccionado				
MADUREZ TEXTURAL	Madura				
MATRIZ	<10%				
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia de Venillas y Costras de Calcita				
NOMBRE	ARENISCA				

Tabla 9 Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 02

DESCRIPCION MACROSCOPICA					
MUESTRAS:	M-02	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Marrón Grisáceo		198255	8486648	3972
TIPO	Sedimentaria	ZONA:		19L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.50 mm - 0.25 mm				
FORMA	Esferoidal -Equidimensional				
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado				
EMPAQUE	Completo				
SELECCIÓN	Bien Seleccionado				
MADUREZ TEXTURAL	Madura				
MATRIZ	<15%				
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia de Malaquita, presencia de estratificación laminar				
NOMBRE	ARENISCA				

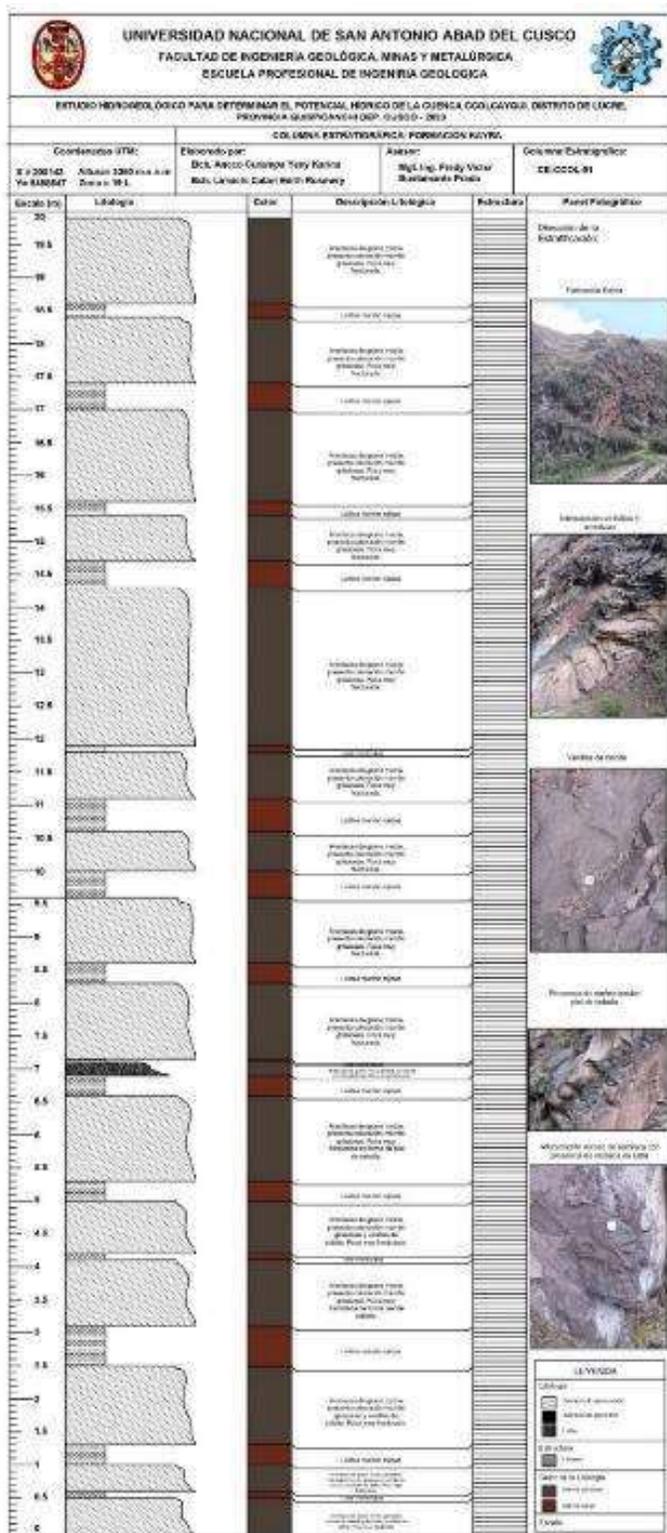
Tabla 10

Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 03

DESCRIPCION MACROSCOPICA					
MUESTRAS:	M-02	COORDENADAS	X	Y	Z
COLOR	Marrón Grisáceo		198255	8486648	3972
TIPO	Sedimentaria	ZONA:		19L	
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.50 mm - 0.25 mm				
FORMA	Esferoidal -Equidimensional				
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado				
EMPAQUE	Completo				
SELECCIÓN	Bien Seleccionado				
MADUREZ TEXTURAL	Madura				
MATRIZ	<15%				
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia de Malaquita, presencia de estratificación laminar				
NOMBRE	ARENISCA				

Figura 17

Columna estratigráfica de la Formación Kayra.

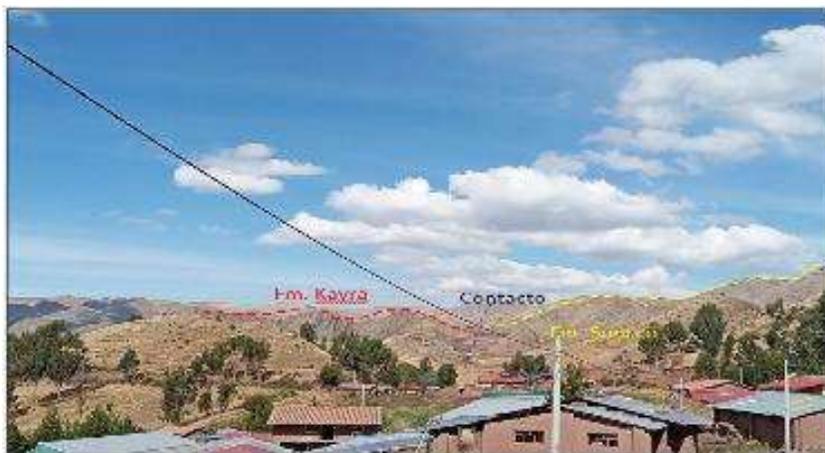


4.2.1.2. *Formación Soncco (Peo-so).*

La formación Soncco se observa al Sur y Noroeste de la cuenca Ccolcayqui, donde los afloramientos son visibles en algunos tramos gracias a los cortes de la carretera. Esta formación se encuentra en discordancia con la la formación Kayra: no obstante, el contacto entre estas dos formaciones es concordante, ya que los estratos superiores presentan un cambio en su inclinación.

Figura 18

Vista panorámica desde la población de Ccolcayqui.



Se muestra una vista del Contacto de la Formación Kayra y la Formación Soncco en el corte de la carretera para entrar a la cuenca Ccolcayqui.

Figura 19

Vista panorámica de la Formación Soncco.



Vista panorámica del contacto entre las areniscas de los miembros de la Fm. Soncco I y Fm. Soncco II.

4.2.1.3. Formación Soncco miembro I (Peo-so I)

Comprende un área de 2.47 km² representando el 6.13 % del área en total. En este miembro se observa secuencias de lutitas de coloración marrón rojizo que corresponde a las llanuras de inundación con intercalaciones de estratos de areniscas de grano medio a grueso de coloración marrón, se caracteriza este miembro en la zona de estudio por el grado de fracturamiento alto con estructura laminar, en la parte basal del miembro presencia de malaquita, también se observó presencia de capa superficial de yeso.

Figura 20

Vista de la Formación Soncco Miembro I.



Intercalaciones de lutitas y areniscas de coloración marrón rojizas de la formación Soncco miembro I, con presencia de grano fino a medio como se muestra en la imagen bajo la lupa.

Figura 21

Fracturamiento de la Formación Soncco Miembro I.



Presencia de areniscas con intercalaciones de lutitas de espesor menor de 10 cm. con un fracturamiento triturada o fragmentada con un RQD de 22.2% con calidad de roca muy pobre en corte de carretera ruta de Lucre hacia la población de Ccolcayqui..

Figura 22

Vista de capa de calcita superficial en la Formación Soncco Miembro I.



Presencia de areniscas marrón rojizas de estratificación laminar, en el afloramiento rocoso se observa en el techo presencia de capa superficial de yeso y cerca al techo presencia de mineralización de malaquita. (X=197233, Y=8487519).

Figura 23

Presencia de ripples en la Formación Soncco Miembro I.



Presencia de areniscas con sedimentación en el techo de ripples producida por corrientes de flujo de agua poco profundos dejando así patrones ondulados (X=195003, Y=8489567)

Tabla 11

Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 04.

DESCRIPCION MACROSCOPICA								
MUESTRAS:	M-04	COORDENADAS	X	Y	Z			
FORMACION GEOLOGICA:	Formación Soncco I		197600	8487362	3790			
COLOR	Blanquecino		ZONA:					
TIPO	Sedimentario		19L					
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.50 mm - 0.25 mm							
FORMA	Esferoidal -Equidimensional							
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado							
EMPAQUE	Completo							
SELECCIÓN	Moderadamente Seleccionado							
MADUREZ TEXTURAL	Madura							
MATRIZ	<15%							
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia mineral de calcitas							
NOMBRE	ARENISCA							

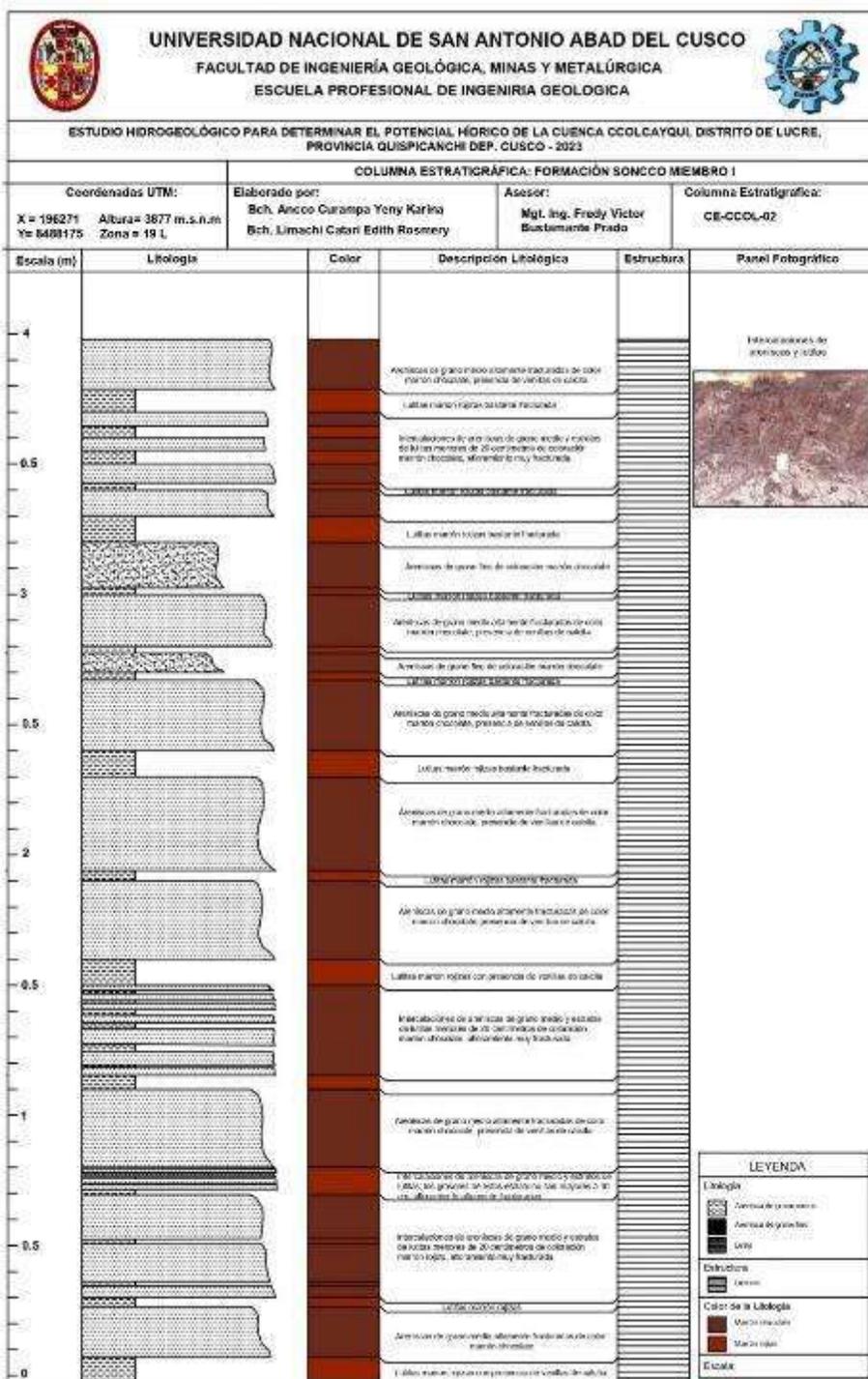
Tabla 12

Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 05.

DESCRIPCION MACROSCOPICA								
MUESTRAS:	M-05	COORDENADAS	X	Y	Z			
FORMACION GEOLOGICA:	Formación Soncco I		195003	8489567	3927			
COLOR	Marrón Rojizos		ZONA:					
TIPO	Sedimentaria		19L					
TAMAÑO DE GRANO	Grano medio 0.50 mm - 0.25 mm							
FORMA	Esferoidal -Equidimensional							
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado							
EMPAQUE	Completo							
SELECCIÓN	Bien seleccionado							
MADUREZ TEXTURAL	Madura							
MATRIZ	<15%							
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia de nódulos de Lutitas, estratificación laminar							
NOMBRE	ARENISCAS							

Figura 24

Columna estratigráfica de la Formación Soncco Miembro I



4.2.1.4. Formación Soncco miembro II (Peo-so II).

Comprende un área de 9.16 km² abarcando el 22.76% del área total de la zona de estudio. Este miembro se encuentra en el suroeste de la zona de estudio. Está conformado por areniscas de coloración grisáceas de grano medio a grueso con un buzamiento que oscila entre 55° a 74°; esta formación se encuentra deformada por esfuerzos compresivos y expansivos.

Figura 25

Contacto entre de la Formación Soncco I y II miembro.



Presencia de areniscas con intercalaciones de lutitas de color marrón rojizo en la parte derecha del miembro I y al lado izquierdo presencia de arenisca grisácea del miembro II.

Figura 26

Presencia de Nódulos de Lutita.



Presencia de afloramiento rocoso de Areniscas Feldespáticas de Color Grisáceas de la Zona Basal con presencia de nódulos de lutitas de color marrón oscuro con un diámetro de 4 centímetros.

Figura 27

Afloramiento de la Fm. Soncco Miembro II



Afloramiento rocoso de la Fm. Soncco II compuesto de areniscas de grano medio a grueso como se observa la imagen bajo la lupa, areniscas de coloración grisácea.

Tabla 13

Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 06

DESCRIPCION MACROSCOPICA									
MUESTRAS:	M-06	COORDENADAS	X	Y	Z				
FORMACION GEOLOGICA:	Formación Soncco II		195449	8488769	3905				
COLOR	Gris Blanquecino		ZONA: 19L						
TIPO	Sedimentaria								
TAMAÑO DE GRANO	Grano grueso 1.00 mm - 0.50 mm								
FORMA	Esferoidal -Equidimensional								
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado								
EMPAQUE	Completo								
SELECCIÓN	Bien Seleccionada								
MADUREZ TEXTURAL	Madura								
MATRIZ	<15%								
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia mayor de 25% de feldespatos								
NOMBRE	ARENISCA ARCOSA								

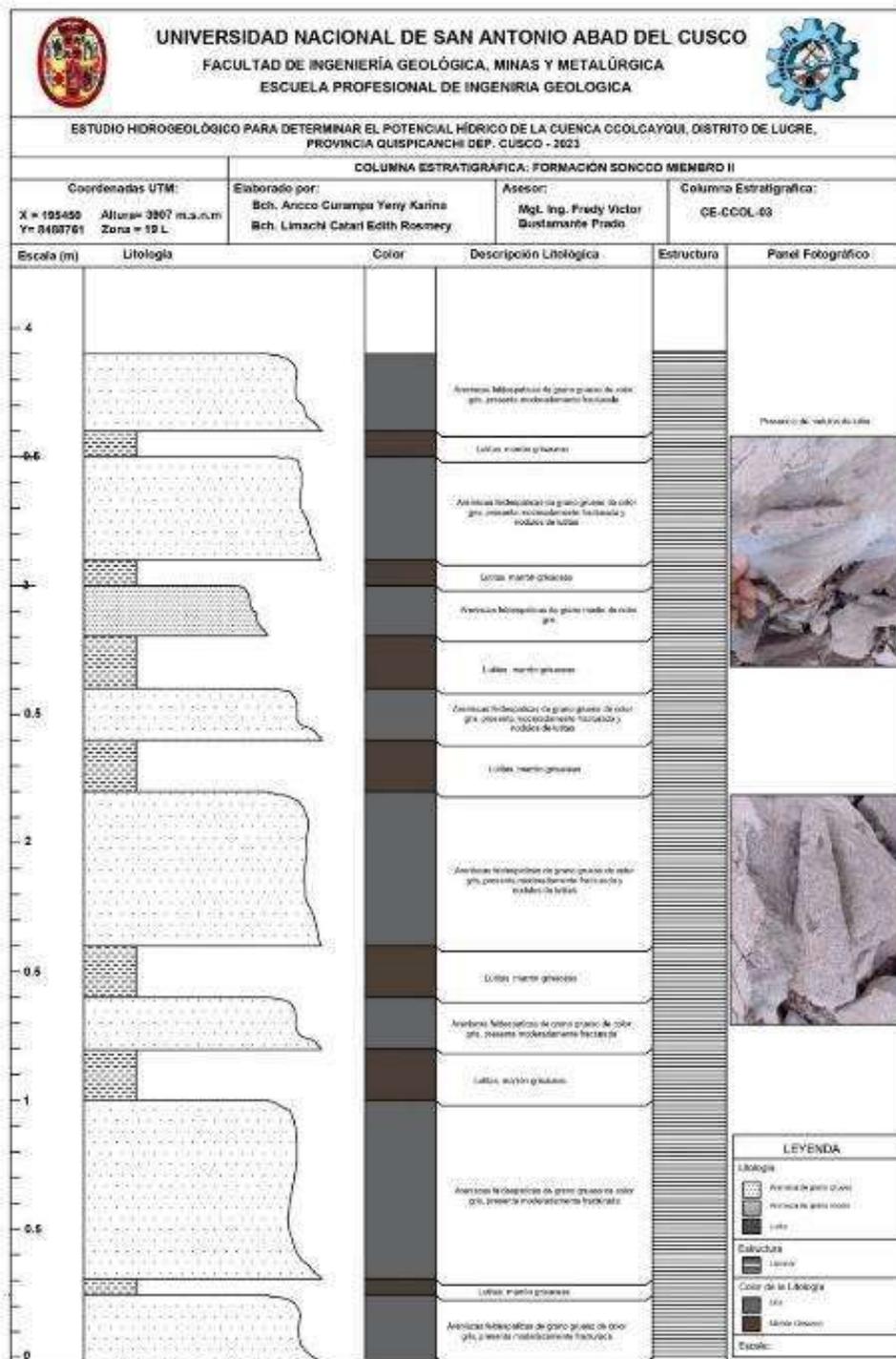
Tabla 14

Descripción petrológica de manera macroscópica, muestra 07

DESCRIPCION MACROSCOPICA									
MUESTRAS:	M-07	COORDENADAS	X	Y	Z				
FORMACION GEOLOGICA:	Formación Soncco II		194214	8490141	3989				
COLOR	Gris Blanquecino		ZONA: 19L						
TIPO	Sedimentaria								
TAMAÑO DE GRANO	Grano grueso 1.00 mm - 0.50 mm								
FORMA	Esferoidal -Equidimensional								
REDONDEZ Y ESFERICIDAD	Baja Esferocidad - Sub redondeado								
EMPAQUE	Completo								
SELECCIÓN	Bien Seleccionada								
MADUREZ TEXTURAL	Madura								
MATRIZ	<15%								
OTRAS CARACTERISTICAS	Presencia de feldespatos								
NOMBRE	ARENISCA ARCOSA								

Figura 28

Columna estratigráfica de la Formación Soncco miembro II



4.2.2. *Formación Punacancha miembro I (Nom-pu I).*

La siguiente formación aflora al SW de la cuenca y sobre yace en discordancia angular con la Fm. Soncco de miembro II.

En la cuenca Ccolcayqui se observan areniscas de coloración grisáceas con presencia de intercalación de estrato de lutitas bien consolidado. Este miembro ocupa un área de 0.87 km² abarcando del área total de la cuenca el 2.15 %.

Figura 29

Formación Punacancha miembro I (X= 193931.00, Y= 8488349.00), presencia de roca sedimentaria identificada como areniscas grisáceas con intercalaciones de lutitas bien consolidadas de coloración gris.



4.2.3. *Formación Punacancha II (Nom-pu II)*

Esta formación aflora al SW casi al límite de la cuenca y sobre yace de manera de discordancia erosional sobre el primer miembro de la misma formación. En la zona de estudio se observa areniscas grises de proveniencia fluvial. Este miembro abarca un área de 2.26 km² representando el 5.62% del área total.

Figura 30*Formación Punacancha miembro II*

Afloramiento rocoso con ubicación (X= 194996.00, Y= 8485985.00), conformado por areniscas fluviales de coloración marrón grisáceas con presencia de grano grueso.

4.2.4. Cuaternario**4.2.4.1. Deposito Fluvial**

Estos depósitos se hallan en la parte baja de la cuenca Ccolcayqui y en las pequeñas corrientes que son aportantes al río principal. Estos depósitos se caracterizan por poseer bloques, gravas con diferente diámetro y su grado de redondez de forma redondeada, también presenta arenas y limos causados por el transporte fluvial. Este material abarca un área de 0.13 km² representando el 0.32 % del área de la superficie de la cuenca.

Figura 31*Depósitos Fluviales.*

Presencia de Bancos de Bloques, Gravas de forma subredondeada a redondeada envuelta de una Matriz Arena-Limo de coloración marrón grisácea.

4.2.4.2. Depósito Aluvial

Estos depósitos se encuentran como acumulaciones de sedimentos transportados y depositados por el agua corriente del río y de los riachuelos aportantes, también se encuentran como terrazas aluviales, están conformado por sedimentos como gravas, arenas y limos. Abarca un área de 0.03 km² representando el 0.08% del total de área de la cuenca Ccolcayqui.

Figura 32

Presencia de Depósitos Aluviales.



Presencia de clastos de formas subangulares envuelta en una matriz arcilla y limos de coloración marrón claro.

4.2.4.3. Depósitos Coluviales.

Se encuentran ubicadas en las zonas altas y medias de la cuenca Ccolcayqui. Estos depósitos son originados por los desprendimientos in situ de los afloramientos rocosos a lo largo de las laderas sin mucho transporte, están conformadas de clastos de forma angulosa envueltas en una matriz limo arcillosa. Este depósito abarca un área de 0.67 km² representando el 1.67% del área total de la cuenca Ccolcayqui.

Figura 33

Presencia de Depositos Coluviales.



Depósitos coluviales-margen derecha de la cuenca Ccolcayqui debido a la meteorización del afloramiento rocoso por parte de la formación Soncco miembro I.

4.2.4.4. Depósito Proluviales.

Estos depósitos que tienen como origen de ser el producto de la acumulación de los sedimentos provenientes de flujos de detritos de las zonas con pendientes pronunciadas. Se caracterizan por presentar sedimentos transportados y depositados por corrientes de agua que emergen de las zonas de las quebradas tributarias de alta pendiente hacia la zona baja de la cuenca. Los depósitos Proluviales abarca el 0.66 km² representando el 1.65% del área total de la cuenca.

Figura 34

Presencia de Depositos Proluviales.



Vista panorámica de los depósitos proluviales al margen izquierdo de la cuenca, conformados por material no consolidado de clastos heterogéneos.

4.2.4.5. Depósito Eluviales

Son acumulaciones de sedimentos que se forman en el lugar donde los materiales originales se han meteorizado in situ, litológicamente están compuestas por arcillas limosas con presencia de gravas; comprende un área de 0.88 km² que abarca el 2.19% de la superficie de área de la cuenca.

Figura 35

Sedimentación de los Depósitos Eluviales



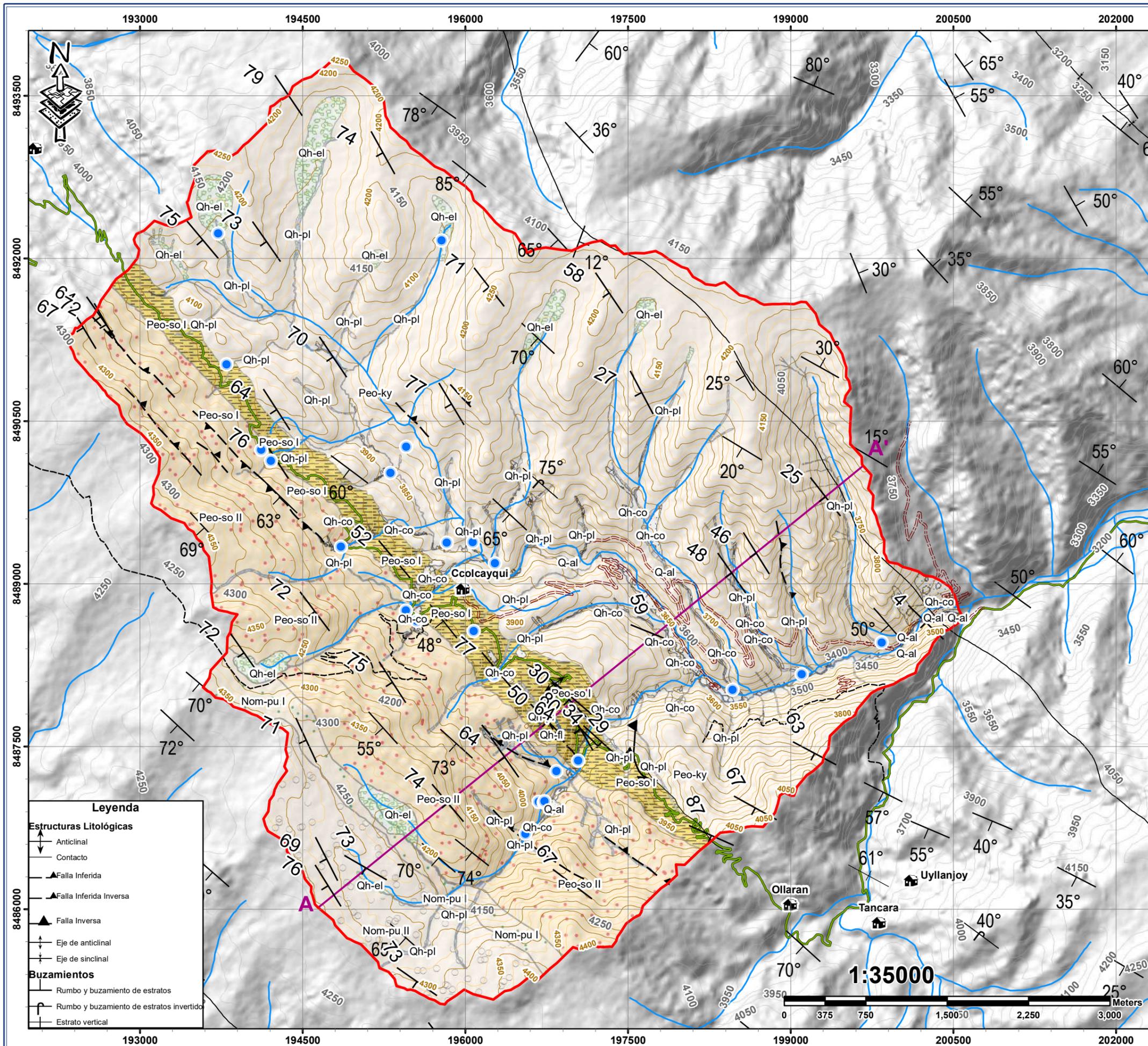
Vista de los depósitos eluviales ubicados con coordenadas X= 194015.00, Y= 8488138.00 ubicadas en la cabecera de la cuenca, provenientes de la meteorización de las formaciones Punacancha en el margen derecho de la cuenca, y por parte del margen izquierdo es debido a la meteorización de la Formación Kayra.

Tabla 15

Unidades geológicas locales de la cuenca Ccolcayqui.

Ítem	Unidad Geológica	Epígrafe	Área (km ²)	Área (%)
1	Formación Kayra	Peo-ky	23.12	57.43
2	Formación Soncco (miembro I)	Peo-so I	2.47	6.13
3	Formación Soncco (miembro II)	Peo-so II	9.16	22.76
4	Formación Punacancha (miembro I)	Nom-pu I	0.87	2.15
5	Formación Punacancha (miembro II)	Nom-pu II	2.26	5.62
6	Depósitos Fluviales	Qh-fl	0.13	0.32
7	Depósitos Aluviales	Qh-al	0.03	0.08
8	Depósitos Coluviales	Qh-co	0.67	1.56
9	Depósitos Proluvial	Qh-pl	0.66	1.65
10	Depósitos Eluviales	Qh-el	0.88	2.19
	Total		40.25	100

PLANO GEOLÓGICO LOCAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



ERA/TIEMPO	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Qh-pl Depósitos Proluviales
			Qh-el Depósitos Eluviales
PALEÓGENO	EOCENO	Q-co Depósitos Coluviales	
		Q-al Depósitos Aluviales	
		Q-fl Depósitos Fluviales	
		Nom-pu II Formación Punacancha - miembro II	
		Nom-pu I Formación Punacancha - miembro I	
EOCENO	EOCENO	Peo-so II Formación Soncco - miembro II	
		Peo-so I Formación Soncco - miembro I	
		Peo-ky Formación Kayra	

Simbología

- Manantes
- Centros Poblados
- Cuenca Ccolcayqui
- Corte A-A'
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Drenaje
- Primarias
- Secundarias

Acceso

REFERENCIA GEOGRÁFICA

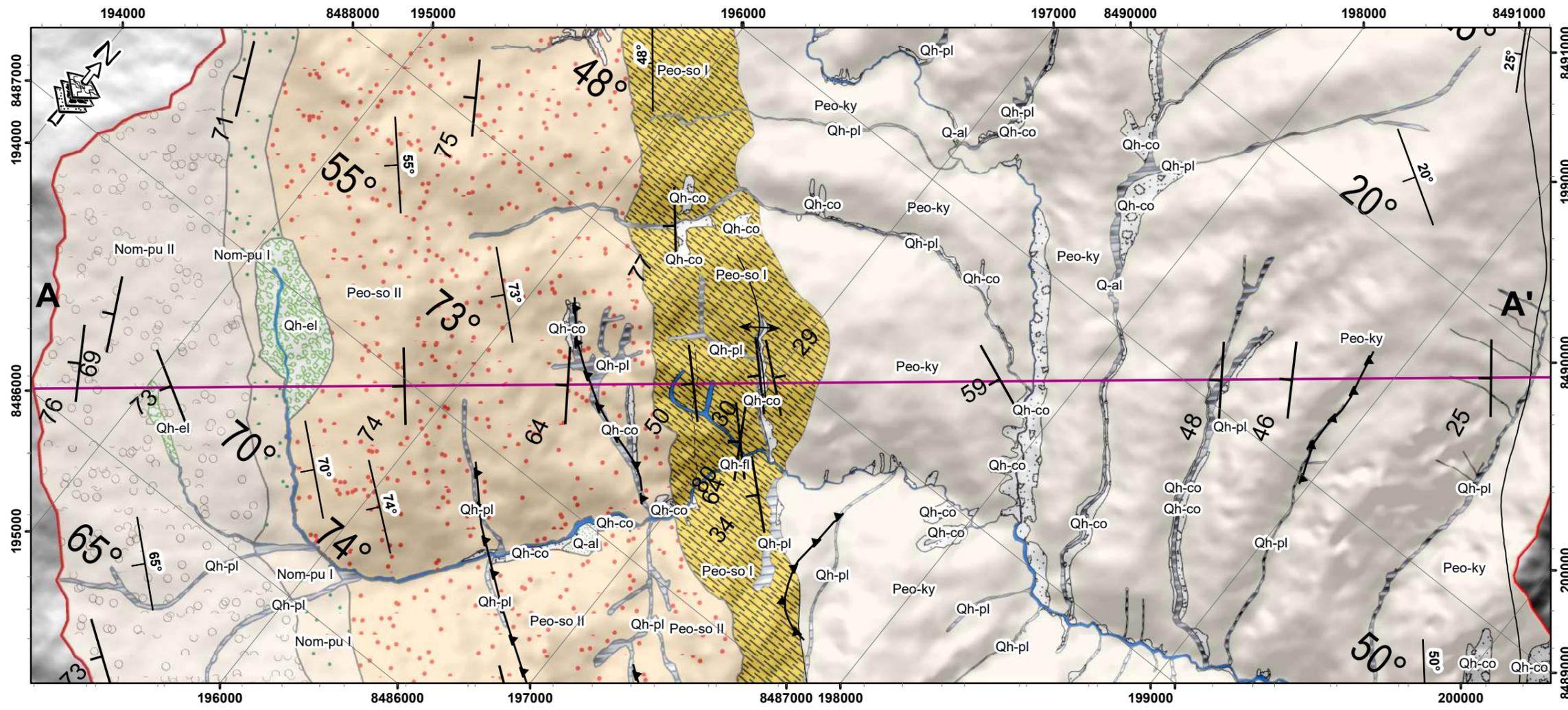
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -69.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Leyenda

Estructuras Litológicas	
	Anticlinal
	Contacto
	Falla Inferida
	Falla Inferida Inversa
	Falla Inversa
	Eje de anticlinal
	Eje de sinclinal
Buzamientos	
	Rumbo y buzamiento de estratos
	Rumbo y buzamiento de estratos invertido
	Estrato vertical

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO	
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"	
Mapa: PLANO GEOLOGIA REGIONAL	
Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY
Ubicación: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L
Escala: INDICADA	Fecha: 2025
Lamina: 07	

PLANO PERFIL A - A'



Simbología

Estructuras Litológicas

- Anticinal
- Contacto
- Falla Inferida
- Falla Inversa
- Sinclinal

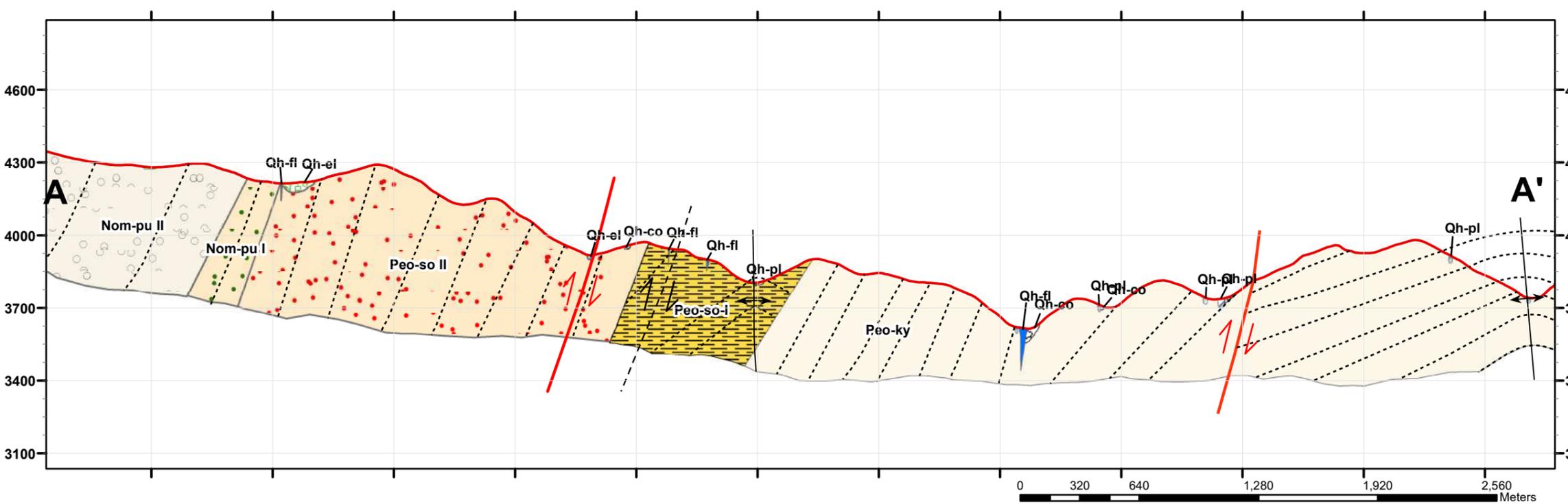
Buzamientos

- Rumbo y buzamiento de estratos
- CORTE_A

Leyenda

Geología Local

- Nom-pu I: Fm. Punacancha miembro I
- Nom-pu II: Fm. Punacancha miembro II
- Peo-ky: Fm. Kayra
- Peo-so I: Fm. Soncco miembro I
- Peo-so II: Fm. Soncco miembro II
- Q-al: Dep. Aluviales
- Qh-co: Dep. Coluviales
- Qh-el: Dep. Eluviales
- Qh-fl: Dep. Fluviales
- Qh-pl: Dep. Proluviales



		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO		
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"				
Mapa: PLANO GEOLOGIA REGIONAL				
Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY			
Ubicación: Dep. CUSCO Proc. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyección: UTM ZONA 19 L	Escala: INDICADA Fecha: 2024	Lámina: 08	

Capítulo V: Geología Estructural

5.1. Generalidades

La geología estructural desempeña un papel fundamental en los estudios hidrogeológicos, ya que permite comprender el comportamiento del flujo de agua subterránea. Esto se debe a que estructuras como fallas y fracturas pueden actuar como conductos preferenciales para el movimiento del agua o, por el contrario, como barreras que lo restringen. Por ello, el análisis de estas estructuras es esencial para determinar la dirección, velocidad y distribución del flujo subterráneo.

En el presente capítulo se llevará a cabo una descripción de la geología estructural regional que se encuentra estrechamente relacionada con la cuenca Ccolcayqui. Seguidamente, se procederá a un análisis de la geología local, basado en los datos de campo, como la medición de rumbos y buzamientos de las diferentes formaciones geológicas. Además, se identificarán y caracterizarán las estructuras geomecánicas presentes en la cuenca de Ccolcayqui, con el fin de comprender su influencia en el sistema hidrogeológico de la zona.

5.2. Geología Estructural Regional

Para una comprensión más clara de la geología estructural y sus implicaciones, se destaca que la zona de estudio está estrechamente relacionada al dominio tectónico del Altiplano y los procesos neotectónicos los cuales influenciaron y modelado significativamente la fisonomía en la tectónica regional predominante.

5.2.1. DOMINIO DEL ALTIPLANO

Se limita al noreste en la falla Vilcanota, parte de la falla Cusco y parte de la falla Uchuyqosqo, todas de dirección NO-SE. Estas fallas son parte de la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental. Al sur el altiplano este separado de la cordillera Occidental mediante las fallas NO-SE Pomacanchi y Cusibamba – Acomayo, así como las fallas N-S y NNO-SSE de

Miska-Araipallpa y Huanoquite-Accha, los que constituyen parte del sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. Entre estos dos grandes sistemas muestra un conjunto de pliegues NO-SE que afectan las capas rojas del Grupo San Jerónimo (Eoceno Medio-Oligoceno inferior).

Resaltan los sinclinales de San Juan de Quihuares y de Andahuaylillas, separados por el anticlinal de Saylla-Lucre en el cual muestra una forme de cofre y amortiguamiento. Además, los pliegues NO-SO, muestra pliegues de dirección NE-SO, ya que se forman pliegues de interferencia como se nota en el núcleo del anticlinal de Saylla-Lucre y la deformación de los ejes de los pliegues NO-SE. Sin embargo, la falla Anyarate-San Juan de Quihuares fue importante en el Eoceno-Oligoceno inferior, pero además esta falla controla los afloramientos de la Formación Punacancha y el sinclinal de San Juan de Quihuares. Estas dos estructuras tienen que ver con el origen y la evolución de la cuenca Punacancha; esta falla tuvo un juego sinistral que origino la apertura de la cuenca Punacancha (Oligoceno superior), y luego inverso produciendo plegamientos, discordancias progresivas y el cierre de la cuenca (Mioceno inferior). Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

5.2.2. NEOTECTONICA

5.2.2.1. FALLAS

5.2.2.1.1. Falla San Juan de Quihuares

Se encuentra en la parte SE de la falla del mismo nombre que tiene dirección NO-SE y buzamiento al SO de 70°. Esta falla afecta los depósitos de la Formación Paruro en contacto con la Formación Ayabacas, al igual que los depósitos cuaternarios coluviales. Tiene hasta dos trazos paralelos y discontinuos con desplazamientos mayores a 2 metros. Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

Figura 36

Vista panorámica de la falla regional de Anyarate -San Juan de Quijuares



5.2.2.1.2. Falla De Tambomachay

Benavente (2013), en el boletín de neotectónica, indica que la falla se encuentra ubicada al borde norte de la ciudad del Cusco con dirección N 120°E con una longitud de 20 kilómetros, limitando una cuenca rellena por depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Presenta escarpes con alturas máximas de 600 metros, producto de la acumulación de sus movimientos verticales.

Según Carlotto et al. (2004), pone en contacto las formaciones del grupo Yuncaypata (Cretácico) con las del grupo de San Jerónimo (Eoceno-Oligoceno), la disposición actual de las rocas indica que se trata de una falla inversa, en las cuales se tuvo reactivaciones recientes creando escarpas menores orientados hacia el sur en el pie de la escarpa principal, donde se muestran a lo largo de 18 km, exhibiendo ligeramente un patrón arqueado discontinuo, las reactivaciones recientes han creado formas facetas al pie del escarpa, formando patrones en V que demuestran un claro movimiento normal reciente hacia el sur de dicha falla. Cabrera, (1988).

5.2.2.1.3. Falla Cusco

Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011), la falla muestra un alineamiento NO-SE que coincide con el piso de valle del río Huatanay, desde Cusco y hasta Saylla-Oropesa. Desde el punto de vista geológico se interpreta como una falla antigua sellada con los sedimentos cuaternarios de la Formación San Sebastián. Esta falla separa en parte el Altiplano de la zona intermedia con la Cordillera Oriental. Actualmente esta estructura no muestra signos de reactivaciones recientes, sin embargo, durante el sismo del 21 de mayo de 1950 se observaron desplazamientos en terrenos recientes que afectaron la Formación San Sebastián.

5.2.2.1.4. Falla de Rondocan

Se encuentra ubicado a 15 kilómetros al SE de la ciudad del Cusco, y entre 2 y 3 kilómetros de las localidades de Rondocan y Paruro. Tiene una dirección promedio de N 130° E y buzamientos que varían entre 78° y 65° al suroeste. Se emplaza a lo largo de 35 kilómetros donde fue posible identificar escarpes con diferentes estados de conservación, sugiriendo así una cronología de reactivaciones. Asimismo, se puede observar que esta falla presenta segmentos paralelos prolongándose a lo largo de 5 kilómetros de longitud. El segmento que muestra mayores características de actividad tectónica es el norte, donde se observa una traza de 6 kilómetros afectando depósitos cuaternarios con movimientos de tipo normal y escarpes conservados que generan desniveles en la superficie de hasta 10 metros. Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

5.2.2.2. PLEGAMIENTO

5.2.2.2.1. Anticlinal Saylla -Lucre

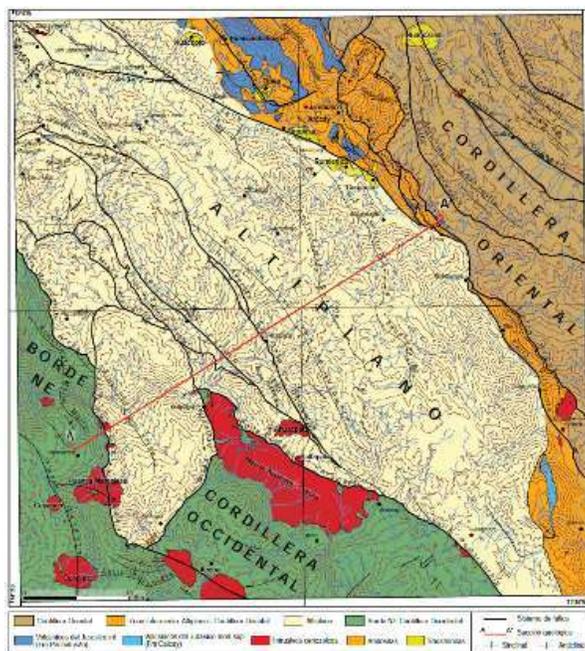
Es una estructura geológica a nivel regional influenciada por los procesos tectónicos asociados a la Cordillera de los Andes, está relacionada con la compresión cortical generada por el movimiento de la subducción de la placa de Nazca, compuesta principalmente de estratos de

rocas sedimentaria que presenta una forma abierta y de cofre, tiene una dirección NO-SE pero con flexuras casi E-O, este pliegue es interpretado como de amortiguamiento Calderon y Quillahuaman (2021). El eje del anticlinal atraviesa por la parte superior de la zona de estudio a una distancia aproximada 770 metros, lo que hace que la roca esté fuertemente fracturada y medianamente deleznable. Las fracturas muestran dos direcciones principales NO-SE. En consecuencia, se puede deducir que la mayor cantidad de fenómenos de movimiento en masa que se halla en el eje de anticlinal, está en relación a la deformación. Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

En la figura:37 se observa un mapa de dominios estructurales donde se pueden observar las estructuras a nivel regional en el cuadrángulo del cusco y en la figura 38 se observa la sección A-A' el cual nos muestra el resultado final de la acción tectónica hacia los depósitos del Grupo San Jerónimo

Figura 37

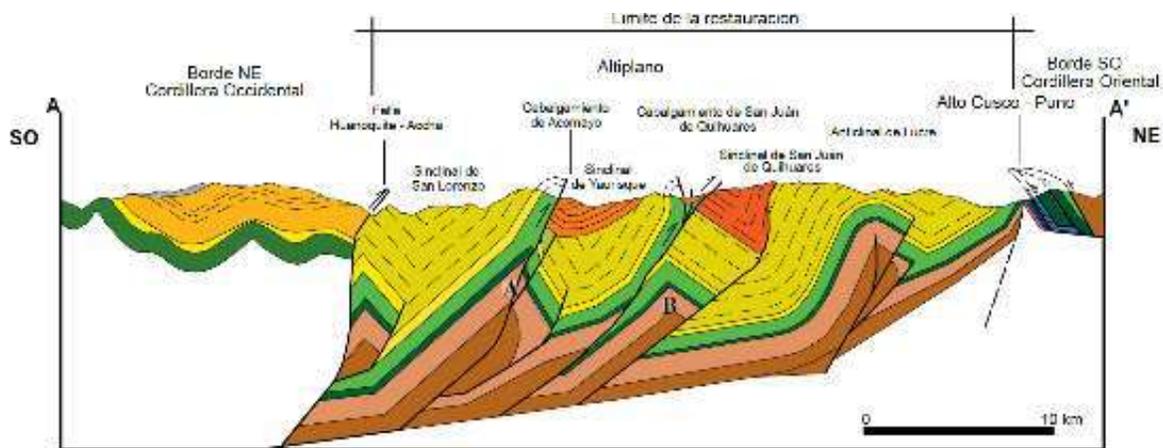
Mapa de dominios estructurales del cuadrángulo de Cusco (28s)



Fuente: Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

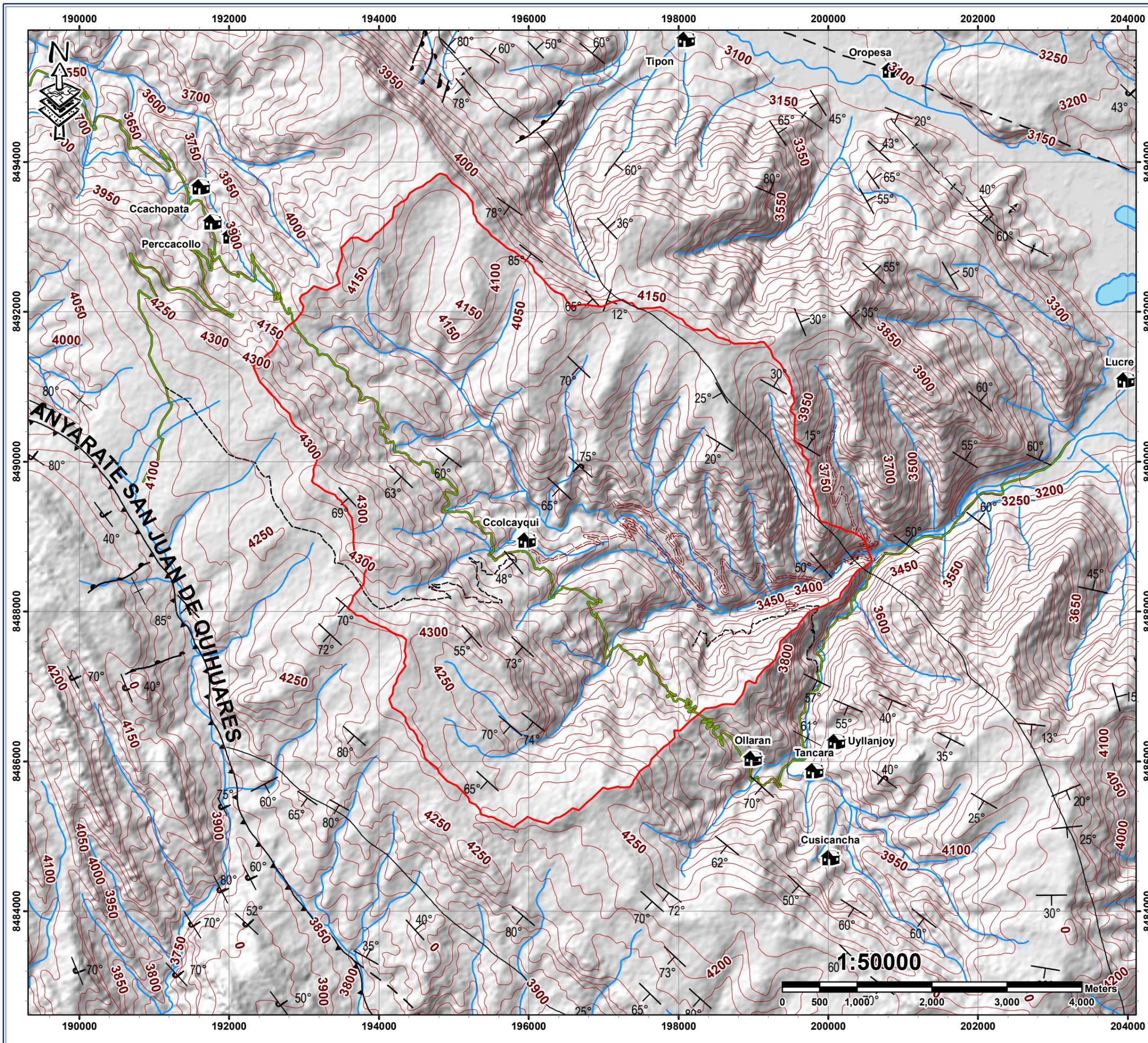
Figura 38

Sección estructural regional A-A' en parte del cuadrángulo de Cusco ubicada en la Figura 37.



Fuente: Carlotto Caillaux y Cardenas Roque (2011).

PLANO ESTRUCTURAL REGIONAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Leyenda

Pliegue

- ↕ Eje de anticlinal
- ↔ 19, Eje de sinclinal

Fallas

- Falla normal
- - Falla inferida
- ▲ Falla inversa

Buzamientos

- └ Rumbo y buzamiento de estratos
- ┘ Rumbo y buzamiento de estratos invertido
- ┆ Estrato vertical

Simbología

- 🏠 Centros Poblados
- ~ Curvas de Nivel

Acceso

- ~ Camino Carrozable
- ~ Camino de Herradura
- ~ Carretera Abandonada
- ~ Carretera Afirmada
- ~ Drenaje
- 🔴 Cuenca Ccolcayqui
- 🟦 lago28s1

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 INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA	
	ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO

"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"

Mapa: PLANO ESTRUCTURAL REGIONAL			
Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA		
	Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY		
Ubicación: Dep. CUSCO, Prov. QUISPICANCHI, Dist. LUCRE	Datum: WGS 84, UTMZONA 19 L	Escala: INDICADA, Fecha: 2025	Lamina: 09

5.3. Geología Estructural Local

La geología estructural de la cuenca en estudio se distingue por mostrar evidencias de actividad tectónica, como pliegues y fallas, que pueden ser identificarse por el cambio de rumbo y buzamiento de las estratificaciones.

En la cuenca Colcayqui se pueden evidenciar fracturas, lineamientos, por lo cual se identificaron según jerarquía de las deformaciones; como estructura de primer y segundo orden el cual se distribuyen dentro de la Formación Kayra, Formación Soncco, Formación Punacancha.

5.3.1.PLEGAMIENTO

Anticlinal Saylla-Lucre

Se puede observar al noreste de la cuenca Ccolcayqui y pasa cerca del punto de aforo de la cuenca con una dirección NO-SE y un buzamiento hacia el norte, el anticlinal fue generado por compresión de las capas rojas del Grupo San Jerónimo por las fallas regionales que pasan cerca de la cuenca dando como resultado un pliegue anticlinal en la formación Kayra del **distrito** de Lucre.

Figura 39

Anticlinal regional de Saylla–Lucre en la Cuenca Ccolcayqui



ANTICLINAL EN LA COMUNIDAD DE CCOLCAYQUI.

Figura 40

Anticlinal en la población Ccolcayqui.



Se observa un anticlinal dentro de los terrenos de la comunidad de Ccolcayqui compuesta por rocas areniscas marrón rojizas de la formación Soncco II con coordenadas X= 195982, Y= 8488799.

Figura 41

Anticlinal al corte de la carretera.



Se observa un anticlinal cerca al punto de aforo de la cuenca Ccolcayqui.

Figura 42

Sinclinal -Anticlinal al corte de la carretera en vista local.



Figura 43

Presencia de anticlinal.



En el corte de carretera con coordenadas X=196818, Y= 8488127 se puede observar un plegamiento con dirección NW-SE con cambio de buzamientos, esta estructura se presenta dentro de la formación Kayra y la Formación Soncco del miembro I.

5.3.2. Fallas en la Cuenca Ccolcayqui

Esta falla se encuentra en las coordenadas X=197539.00 Y=8487439 lo cual se extiende con una dirección sureste, se presenta como una Falla Inversa afectando la formación Soncco de

miembro I, se caracteriza por presentar un estrato menor de 1 cm de arenisca bastante meteorizada de coloración blanquecina con presencia de relleno de calcita.

Figura 44

Vista de la Falla Inversa con Relleno de Calcita.

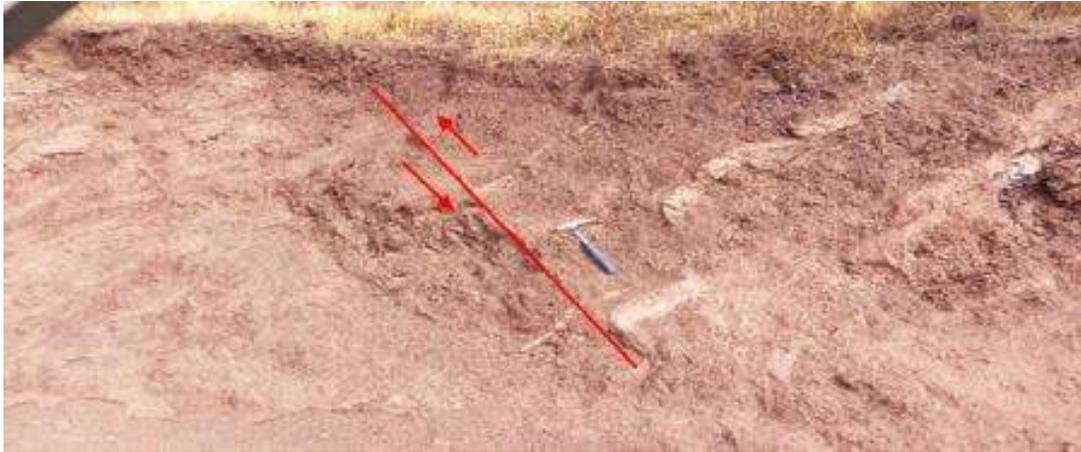


Figura 45

Vista Panorámica de la Longitud del Corte de la Falla Inversa



Al suroeste de la cuenca también se encuentra una falla inferida en la formación Soncco miembro I con coordenadas X= 197020, Y= 8487392 que se extiende a lo largo de la cuenca con

dirección de SW cubierto por una capa de calcita; esta falla inferida se encuentra al pie de la carretera con un corte de talud de 90° y de altura de 7 metros.

Figura 46

Vista Panorámica de la Falla Inferida de tipo inversa.



Al sur este de la cuenca se encuentra una falla de tipo normal dentro de la formación Kayra con una dirección SW conformado de intercalación de areniscas y lutitas, dicha falla se encuentra al pie de la carretera con una altura de 4 metros con coordenadas X=196963, Y=8488156.

Figura 47

Vista Panorámica de la Vista Panorámica de la Falla Inferida de tipo inversa.



En la cabecera ubicada al sur este de la cuenca Ccolcayqui se observa una falla de tipo de rumbo dextral en el corte de la carretera con coordenadas X= 197111, Y= 8487481.

Figura 48

Vista de la falla normal al sureste.



Figura 49

Vista Panorámica de la Vista Panorámica de la Falla Inversa inferida ubicada a la cabecera.

**5.3.3. VENTANA ESTRUCTURAL****5.3.3.1. Discontinuidades**

Son planos o superficies de debilidad que dividen un macizo rocoso en bloques o fragmentos, se comprenden como estratificaciones, juntas, contactos, venillas y fallas.

5.3.3.2. Resistencia estimada

La resistencia estimada se basa según la ISRM ((International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering) que hace referencia a una evaluación de la resistencia de una roca basada en ensayos estándar y metodologías recomendadas por esta organización, estos procedimientos se estiman a través de pruebas in situ como es el caso del Esclerómetro o martillo de Schmidt a partir del número de rebotes aplicado a la superficie de la roca para posteriormente realizar una correlación con los datos obtenidos, también se puede estimar con golpes del martillo de geólogo; y las pruebas en laboratorio como es el caso del ensayo de carga puntual el cual determina el índice de resistencia en muestras de rocas.

Tabla 16*Grado de resistencia in Situ*

GRADO	TERMINO	IDENTIFICACION EN CAMPO
R0	Extremadamente débil	Puede ser marcada por la uña
R1	Muy débil	Se desmenuza con golpes firmes
R2	Débil	Puede ser raspada con dificultad por una navaja
R3	Medianamente fuerte	Puede ser fracturada con un golpe firme del martillo de geólogo
R4	Fuerte	Se requiere más de un golpe del martillo de geólogo para ser fracturada
R5	Muy fuerte	Se requiere muchos golpes con el martillo de geólogo para ser fracturada
R6	Extremadamente fuerte	Puede ser apenas arañadas con el martillo de geólogo

FUENTE: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

5.3.3.3. Índice de calidad de roca RQD

EL RQD (Rock Quality Designation) es un indicador que evalúa la calidad de una masa rocosa basándose en la longitud. Este parámetro se utiliza para determinar el grado de fracturamiento de un macizo rocoso, reflejando la cantidad y condición de las fracturas que influyen a los materiales.

El RQD se expresa como un porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RQD (\%) = \frac{\text{Longitud recuperada en piezas} < 0.1 \text{ m}}{\text{Longitud del sondeo}} \times 100$$

Tabla 17*Tabla de valor de RQD*

Índice de calidad RQD (%)	Calidad	Valoración
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	6
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

FUENTE: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

Figura 50*Vista de la medida del RQD en una ventana estructural.***5.3.3.4. Espaciado**

Se refiere a la distancia entre las discontinuidades consecutivas en un macizo rocoso. A medida que el espaciado disminuye, los bloques serán más pequeños, mientras que un mayor espaciado dará lugar a bloques de mayor tamaño.

Tabla 18*Descripción del espaciado.*

Descripción	Espaciado de las juntas (m)	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Sólido	20
Separadas	0.6 - 2 m	Masivo	17
Moderadamente juntas	200 - 600 mm	En bloques	13
Juntas	60 - 200 mm	Fracturado	6
Muy juntas	<60 mm	Machacado	3

Fuente: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

Figura 51*Vista del espaciado entre dos discontinuidades de una misma familia.***5.3.3.5. Persistencia**

Es la continuidad de un plano de discontinuidad en su extensión superficial, a medida que la persistencia sea menor el macizo rocoso será estable y por el contrario si la persistencia sea mayor este será menos estable. (Academia.edu).

Figura 52:

Vista del espaciado entre dos discontinuidades de una misma familia.

**5.3.3.6. Abertura**

Se refiere a la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o al nivel de apertura que presenta. Cuando la distancia es menor, la calidad de la masa rocosa aumenta, sin embargo, si la distancia es mayor implica condiciones menos favorables.

Tabla 19

Abertura de las juntas

Descripción de la apertura	Puntaje
Superficies muy rugosas, poca extensión, paredes de roca resistente	6
Superficies poco rugosas, apertura menor a 0.1 mm, paredes de roca resistente	5
Superficies suaves o relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor o apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	3
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor o apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	1

Fuente: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

Figura 53:

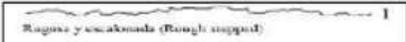
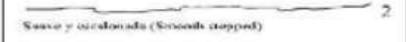
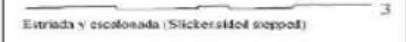
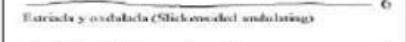
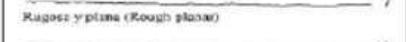
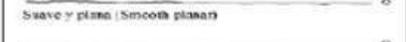
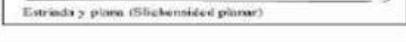
Medida de la abertura de las discontinuidades

**5.3.3.7. Rugosidad**

Tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno. La rugosidad hace referencia a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos.

González (2002).

Tabla 20*Variación de la rugosidad*

Rugosidad	Simbología
Rugosa y escalonada	 1
Suave y escalonada	 2
Estriada y escalonada	 3
Rugosa y ondulada	 4
Suave y ondulada	 5
Estriada y ondulada	 6
Rugosa y plana	 7
Suave y plana	 8
Estriada y plana	 9

Fuente: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

5.3.3.8. Relleno.

Se trata de un material que actúa como separador entre las paredes contiguas de una discontinuidad. El espesor de relleno se refiere a la distancia medida en milímetros, de forma perpendicular entre las paredes contiguas. Cuando los materiales son más blandos, el macizo rocoso resulta ser menos competente, a diferencia del macizo rocoso si son más duros, su competencia mejora.

5.3.3.9. Grado de alteración y/o intemperismo.

El macizo rocoso suele presentar signos de intemperización cerca de la superficie y, en ciertos casos, pueden verse afectados por los procesos hidrotermales. Tanto el intemperismo como la alteración tienden a ser más pronunciadas en las superficies de las discontinuidades que en el interior del macizo rocoso, debido a que el flujo de agua se produce a través de estas discontinuidades.

Tabla 21

Grado de intemperismo

G R A D O	TERMINO	DESCRIPCION	EXTENSION DE LA DECOLORACION	CONDICION DE FRACTURA	CARACTERISTICAS DE SUPERFICIE
1	Fresca (Fresh)	No hay signos visibles de material rocoso intemperizado, tal vez leve decoloración en las superficies de discontinuidades mayores	Ninguna	Cerradas y leve descoloridas	Sin cambio
2	Débil o ligeramente alterada (Slightly)	Decoloración indica intemperismo de la masa rocosa y de las superficies de discontinuidades. Todo el material rocoso puede estar decolorado por intemperismo y a veces podría ser más débil que cuando fresca	Ext. <20% del espaciamiento de fracturas, sobre ambos lados de la fractura	Decoloración, y podría contener relleno fino	Parcial decoloración
3	Moderadamente alterada (Moderately)	Menos del 50% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada a un suelo. La roca fresca o descolorida está presente como una estructura continua o en pedazos.	Ext. >20% del espaciamiento de fracturas, sobre ambos lados de la fractura	Decoloración, y podría contener un amplio relleno	Parcial a completa decoloración, no es friable excepto en rocas pobremente cementadas
4	Altamente alterada (Highly)	Más del 50% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada en suelo. La roca fresca o descolorida está presente como una estructura discontinua, o en pedazos.	De lado a lado	Relleno con alteración de minerales	Friable y posiblemente llena de agujeros
5	Completamente alterada (Completely)	Casi el 100% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada a un suelo. La estructura original de la masa rocosa aún permanece intacta en gran parte. Todo el material rocoso esta convertido en suelo.	De lado a lado	Relleno con alteración de minerales	Semejante a un suelo
6	Suelo residual (Residual soil)	La estructura de la masa rocosa y la fábrica están destruidas. Hay un gran cambio en el volumen, pero el suelo no ha sido transportado de manera significativa.	De lado a lado	N/A	Semejante a un suelo

Fuente: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

5.3.3.10. Presencia de agua

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) puede ser también importantes. Calderon y Quillahuaman (2021)

Tabla 22

Valor según la presencia de filtraciones de agua

	Flujo en 10 m de longitud de túnel	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
Agua Subterránea	Radio (Presencia de agua en juntas / esfuerzo principal máximo)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Empapado	Fluido
	Valoración	15	10	7	4	0

Fuente: CLASIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI 1989.

5.3.4. VENTANA ESTRUCTURAL: FORMACIÓN KAYRA

5.3.4.1. Ventana estructural: Formación Kayra

Figura 54:

Ventana estructural en el margen izquierdo de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Kayra.



La ventana estructural analizada en la Formación Kayra presenta un RQD clasificado como Buena, indicando ser un macizo rocoso con fracturación moderada. Esta formación se distingue por presentar areniscas de origen fluvial, lo cual exhibe fracturas por compresión como resultado de los esfuerzos tectónicos como el anticlinal Saylla-Lucre. El macizo rocoso presenta aberturas entre 0.1 mm a 1 mm, presenta un relleno de calcita. Estas características son indicadores evidentes de que este tipo de roca actúa como un medio favorable para la circulación de agua subterránea. Al tratarse de rocas porosas con porosidad primaria y, además, estar fracturadas (porosidad secundaria), se favorece aún más la capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

El resultado del RMR ajustado da una puntuación de 58 siendo la clase III y tipo de macizo rocoso media.

Tabla 23

Análisis del macizo rocoso según RMR

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO DE LA CUENCA COLCAYQUI DEL DISTRITO DE LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHI - DEPARTAMENTO DE CUSCO								
Valoración del macizo rocoso o clasificación geomecánica de Bieniawski - RMR 1989								
1. Resistencia de la roca inalterada								
Índice de carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS			
Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
							Valoración	7
2. Valor de RQD (Rock Quality Desing)								
Rangos de valores	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
Puntaje	20	17	13	8	3			
							Valoración	17
3. Espaciamiento de fracturas o discontinuidades								
Rangos de valores	>2m	0.6 m - 2 m	20 cm-60 cm	6 cm-20 cm	<6 cm			
Puntaje	20	17	13	6	3			
							Valoración	13
4. Condición de juntas o discontinuidades								
4.1 Longitud o persistencia de las discontinuidades								
Rangos de valores	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Puntaje	6	4	2	1	0			
							Valoración	1
4.2. Abertura de las discontinuidades								
Rangos de valores	Nada	< 0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1 mm -5 mm	> 5 mm			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	3
4.3. Rugosidad de las discontinuidades								
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	5
4.4. Relleno de las discontinuidades								
Condición	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando >5 mm			
Puntaje	6	4	2	2	0			
							Valoración	2
4.5. Alteración de las discontinuidades								
Condición	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	5
5. Flujo de aguas en las juntas o discontinuidades								
Condición	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
Puntaje	15	10	7	4	0			
							Valoración	10
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Orientación de rumbo y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorables	Muy desfavorable			
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentación (F)	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60		
Indicar el tipo de trabajo: S							Valoración	-5
VALOR DEL RMR								
RMRM Básico						63		
RMR Ajustado						58		
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
Puntuación			100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	
Descripción			I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA	

Nota: Elaboración modificada de Bieniawski 1989.

Tabla 24

Descripción macroscópica del macizo rocoso.

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
INFORMACIÓN GENERAL										
PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA DEL RYUJA, DISTRITO DE RYUJA, PROVINCIA QUEPESAN, QUEPESAN, QUEPESAN				ESTACIÓN / PERFORACIÓN NO.:			EJECUTADO:		RQD =	66.8%
LOCALIZACIÓN: CUENCA QUEPESAN, CUSCO				UBICACIÓN:		CUMPL. FRIGIDO	REVISADO:		HORA =	27 Feb 05
TIPO DE LOCALIDAD: CUENCA				E	200140	N	043022	FECHA:	GSI =	
				OCHA	324	No. de hojas suplementarias de datos de las discontinuidades:	1	HORA:		
INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO										
LITOLOGÍA		TIPO DE ROCA: ARENOSA			COLOR Y TEXTURA: MARRÓN / GRANULAR			FORMACIÓN Y EDAD: FORMACION KAYRA - SERE COENA		
		POTENCIAL: 1.8 m			GEOFORMA: PUNTO DE AFORO EN CUENCA (MARGEN IZQUIERDA)					
RESISTENCIA	INDICE DE RESISTENCIA	Extremadamente blanda (Limp)	Muy blanda (Mojeta)	Blanda (Punto martillo)	Medio (1 Golpe martillo)	Duro (> 1 Golpe martillo)	Muy duro (Matac golpe)	Extremadamente duro (Solo raya con martillo)		
		0	1	2	3	4	5	6		
RESISTENCIA "N" ESCALOMETRO:										
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
FRAGMENTACIÓN										
BLOQUES										
Muy grandes										
Grandes										
Medios										
Pequeños										
Muy pequeños										
Muy bienhelado										
Nº BLOQUES/M ²										
I										
II										
III										
IV										
V										
VI										
GRADOS DE METEORIZACIÓN										
Sana										
Algo meteorizada										
Muy meteorizada										
Muy meteorizada										
Completamente meteorizada / Descompuesta										
Basta rocas										
HIDROGEOLOGÍA										
Sin presencia de agua										
Seco, con señal de agua										
Húmedo										
Muy meteorizada										
Fuga										
CAUDAL ESTIMADO:										
Nº DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES										
3										
Referencia de discontinuidades / 1										
10/1										
OBSERVACIONES										
FOTO										
										

5.3.4.2. Ventana estructural: formación Soncco I.

Figura 55:

Ventana estructural en el margen derecho de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Soncco miembro I.



La ventana estructural analizada en la Formación Soncco del miembro I muestra un RQD clasificado como Pobre, indicando ser un macizo rocoso fracturado, esta formación se distingue por presentar areniscas de origen fluvial, las cuales exhiben fracturas por compresión como resultado de los esfuerzos tectónicos como el anticlinal Saylla-Lucre. El macizo rocoso presenta aberturas entre 0.1 mm a 1 mm. No se observa relleno o en su defecto relleno de arenas y limos. Estas características son indicadores evidentes de que este tipo de roca actúa como un medio favorable para la circulación de agua subterránea. Al tratarse de rocas porosas, con porosidad primaria y, adicionalmente, estar fracturadas (porosidad secundaria), se incrementa aún más su capacidad de almacenar el agua subterránea.

El RMR ajustado nos da una puntuación de 18 siendo la clase V y un tipo de macizo rocoso muy mala.

Tabla 25

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco I

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO DE LA CUENCA COLCAYQUI DEL DISTRITO DE LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHI - DEPARTAMENTO DE CUSCO								
Valoración del macizo rocoso clasificación geomecánica de Bieniawski - RMR 1989								
1. Resistencia de la roca inalterada								
Índice de carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS			
Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
						Valoración	4	
2. Valor de RQD (Rock Quality Desing)								
Rangos de valores	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
Puntaje	20	17	13	8	3			
						Valoración	8	
3. Espaciamiento de fracturas o discontinuidades								
Rangos de valores	>2m	0.6 m - 2 m	20 cm-60 cm	6 cm-20 cm	<6 cm			
Puntaje	20	17	13	6	3			
						Valoración	6	
4. Condición de juntas o discontinuidades								
4.1 Longitud o persistencia de las discontinuidades								
Rangos de valores	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Puntaje	6	4	2	1	0			
						Valoración	4	
4.2. Abertura de las discontinuidades								
Rangos de valores	Nada	< 0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1 mm - 5 mm	> 5 mm			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	3	
4.3. Rugosidad de las discontinuidades								
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	5	
4.4. Relleno de las discontinuidades								
Condición	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5 mm			
Puntaje	6	4	2	2	0			
						Valoración	2	
4.5. Alteración de las discontinuidades								
Condición	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	1	
5. Flujo de aguas en las juntas o discontinuidades								
Condición	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
Puntaje	15	10	7	4	0			
						Valoración	10	
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Orientación de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentación (F)	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60		
Indicar el tipo de trabajo: S						Valoración	-25	
VALOR DEL RMR								
RMRM Básico						43		
RMR Ajustado						18		
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
Puntuación	100-81		80-61		60-41		40-21	
Descripción	I MUY BUENA		II BUENA		III MEDIA		IV MALA	
							V MUY MALA	

Nota: Elaboración modificada de Bieniawski 1989.

5.3.4.3. Ventana estructural: formación Soncco II

Figura 56:

Ventana estructural en el margen derecho de la cuenca Ccolcayqui con respecto a la Formación Soncco miembro II.



La ventana estructural realizada en la Formación Soncco, miembro I, muestra un RQD Bueno y nos indica que el macizo rocoso se encuentra moderadamente fracturado. Esta formación se distingue por estar conformada por areniscas de origen fluvial, se observan fracturas por compresión generadas por los esfuerzos tectónicos como es el anticlinal Saylla-Lucre. El macizo rocoso presenta aberturas que varían entre 0.1 mm a 1 mm y no presenta relleno o en algunos casos se presenta con nódulos de lutitas. Estas características son indicativos claros de que la roca funciona como un medio favorable para la circulación de agua subterránea. Al tratarse de rocas porosas con porosidad primaria y estar fracturadas (porosidad secundaria), se potencia aún más la capacidad de almacenar de agua subterránea.

El RMR ajustado nos da una puntuación de 49 teniendo una clase III de tipo media.

Tabla 27

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco II

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO DE LA CUENCA COLCAYQUI DEL DISTRITO DE LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHI - DEPARTAMENTO DE CUSCO								
Valoración del macizo rocoso clasificación geomecánica de Bieniawski - RMR 1989								
1. Resistencia de la roca inalterada								
Índice de carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS			
Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
							Valoración	7
2. Valor de RQD (Rock Quality Desing)								
Rangos de valores	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
Puntaje	20	17	13	8	3			
							Valoración	13
3. Espaciamiento de fracturas o discontinuidades								
Rangos de valores	>2m	0.6 m - 2 m	20 cm-60 cm	6 cm-20 cm	<6 cm			
Puntaje	20	17	13	6	3			
							Valoración	6
4. Condición de juntas o discontinuidades								
4.1 Longitud o persistencia de las discontinuidades								
Rangos de valores	< 1 m	1-3 m	3- 10 m	10- 20 m	>20 m			
Puntaje	6	4	2	1	0			
							Valoración	1
4.2. Abertura de las discontinuidades								
Rangos de valores	Nada	< 0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1 mm-5 mm	>5 mm			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	3
4.3. Rugosidad de las discontinuidades								
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	5
4.4. Relleno de las discontinuidades								
Condición	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando >5 mm			
Puntaje	6	4	2	2	0			
							Valoración	6
4.5. Alteración de las discontinuidades								
Condición	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntaje	6	5	3	1	0			
							Valoración	3
5. Rujo de aguas en las juntas o discontinuidades								
Condición	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
Puntaje	15	10	7	4	0			
							Valoración	10
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Orientación de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentación (F)	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60		
Indicar el tipo de trabajo: S							Valoración	-5
VALOR DEL RMR								
RMRM Básico						54		
RMR Ajustado						49		
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
Puntuación	100-81		80-61	60-41	40-21	20-0		
Descripción	I MUY BUENA		II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

Nota: Elaboración modificada de Bieniawski 1989.

Tabla 28

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Soncco II

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
INFORMACIÓN GENERAL										
PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA DEL CAJON DE SONCCO (LINEA PROYECTADA QUEMAYAN-CHAYAN-SONCCO)			ESTACION / PERFORACION NO.:			CLIMA: FRIO		EJECUTADO:		RBD = 7.76
LOCALIZACION: LUJAN-QUEPISAN-SONCCO			UBICACION:		No. de hojas aplan en listas de datos de las discontinuidades:		REVISADO:		RMR = 46	
TIPO DE LOCALIDAD: CUENCA			DOTA: 0305		3		FECHA:		SMR =	
							HORA:		GR =	
INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO										
LITOLÓGIA		TIPO DE ROQI: ARENOSA		COLOR Y TEXTURA: GRIS / GRANULAR			FORMACION Y EDAD: FORMACION SONCCO MIEMBRO II - SERIE EOCENA			
POTENCIAL:		GEOFORMA: MONTANA EN ROCA SEDIMENTARIA								
RESISTENCIA	UNO EN CAMPO	Extremadamente blanda	Muy blanda	Blanda	Medio	Duro	Muy duro	Extremadamente duro		
		(Uts) 0	(Nueqs) 1	(Punto martillo) 2	(Golpe martillo) 3	(+ 1 Golpe martillo) 4	(varias golpes) 5	(Solo raya con martillo) 6		
RESISTENCIA "R" ESCLEROMETRO:										
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
FRACTURACION	BLOQUES		Muy grandes	Grandes	Medias	Pequeñas	Muy pequeñas	Muy fragmentada		
	Jv de las masas ³		< 1	1-2	3-10	10-30	>30	>60		
GRADOS DE METAMORFISACION	Sana		Algo meteorizada	Mediamente meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada / Descompuesta				
HIDROGEOLOGIA	Sin presencia de agua		Seco, con señal de agua	Humedo	Goteo		Fuga			
No. de SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES	A = (Número de discontinuidades) / 1		OBSERVACIONES:			Presencia de masas de lares.				
FOTO										

5.3.4.4. Ventana estructural: formación Punacancha I

Figura 57:

Ventana estructural en el margen derecho con respecto a la Formación Punacancha miembro I.



La ventana estructural hecha en la Formación Punacancha, miembro I, muestra un RQD clasificado como Buena, lo cual nos indica que es un macizo rocoso moderadamente fracturado, esta formación se distingue por estar compuestas areniscas de origen fluvial, donde se presentan con fracturas de tipo tensional, siendo generadas por esfuerzos tectónicos asociada al anticlinal de saylla- lucre y por el sinclinal de san juan de quijuares. El macizo rocoso presenta aberturas mayores a 5 mm, se observan rellenos conformado de lutitas de coloración grisáceas. Estas características son indicativos claros de que este tipo de roca actúa como un medio favorable para la circulación de agua subterránea. Al tratarse de rocas porosas con porosidad primaria y estar fracturadas (porosidad secundaria), se favorece aún más la capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

El RMR ajustado resulta con una puntuación de 47 clasificado de clase III y siendo un macizo rocoso media.

Tabla 29

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha I

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO DE LA CUENCA COLCAYQUI DEL DISTRITO DE LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHI - DEPARTAMENTO DE CUSCO								
Valoración del macizo rocoso clasificación geomecánica de Bieniawski - RMR 1989								
1. Resistencia de la roca Inalterada								
Índice de carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS			
Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
						Valoración	7	
2. Valor de RQD (Rock Quality Desing)								
Rangos de valores	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
Puntaje	20	17	13	8	3			
						Valoración	13	
3. Espaciamiento de fracturas o discontinuidades								
Rangos de valores	>2m	0.5 m - 2 m	20 cm-60 cm	6 cm-20 cm	<6 cm			
Puntaje	20	17	13	6	3			
						Valoración	13	
4. Condición de juntas o discontinuidades								
4.1 Longitud o persistencia de las discontinuidades								
Rangos de valores	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Puntaje	6	4	2	1	0			
						Valoración	4	
4.2. Abertura de las discontinuidades								
Rangos de valores	Nada	< 0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1 mm -5 mm	> 5 mm			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	0	
4.3. Rugosidad de las discontinuidades								
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	3	
4.4. Relleno de las discontinuidades								
Condición	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando >5 mm			
Puntaje	6	4	2	2	0			
						Valoración	2	
4.5. Alteración de las discontinuidades								
Condición	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	3	
5. Flujo de aguas en las juntas o discontinuidades								
Condición	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
Puntaje	15	10	7	4	0			
						Valoración	7	
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Orientación de rumbo y buzamiento	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentación (F)	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60		
Indicar el tipo de trabajo: S						Valoración	-5	
VALOR DEL RMR								
RMRM Básico							52	
RMR Ajustado							47	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
Puntuación	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0
Descripción	I MUY BUENA		II BUENA		III MEDIA		IV MALA	V MUY MALA

Nota: Elaboración modificada de Bieniawski 1989.

Tabla 30

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha I

HOJA DE DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
INFORMACIÓN GENERAL										
PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DE LA YOLA DE BARRIO DE LA PUNACANCHA (MUNICIPALIDAD DE CUENCA) - 2021				ESTACIÓN / PERFORACIÓN N.º:			EJECUTADO:		RQD = 80.0	
LOCALIZACIÓN: CUENCA - CUSCA				UBICACIÓN:		CLIMA: FRÍO		REVISADO:		RMR = 47
TIPO DE LOCALIDAD: CUENCA				UBICACIÓN:		No. de hojas complementarias de datos de las discontinuidades:		FECHA:		SMR =
				COTA: 4250				HORA:		SSI =
INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO										
LITOLÓGIA		TIPO DE ROCA: ANDÉSICA		COLOR Y TEXTURA: GRISACEO / GRANULAR			FORMACIÓN Y EDAD: FORMACIÓN PUNACANCHA			
POTENCIA:		Extremadamente Baja		Muy baja		Baja		Medio		Alta
RESISTENCIA		Extremadamente Baja (0)		Baja (1)		Mediana (2)		Alta (3)		Extremadamente alta (4)
RESISTENCIA "R" ESCALOMÉTRICO:		0		1		2		3		4
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO										
FRAGMENTACIÓN		BLOQUES		Muy grandes		Grandes		Medios		Pequeños
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I		II		III		IV		V
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		Boca, con señal de agua		Humedo		Seco		Completamente meteorizado / Discontinuidad
No. de SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES:		A = frecuencia de discontinuidades (1)		OBSERVACIONES:						
FOTO										
										

5.3.4.5. Ventana estructural: formación Punacancha II

Figura 58

Ventana estructural: formación Punacancha II.



La ventana estructural hecha en la Formación Punacancha del miembro II muestra un RQD clasificado como Pobre. Esta formación se distingue por ser un macizo rocoso altamente fracturado y por presentar areniscas con origen fluvial, lo cual se exhiben fracturas por compresión resultando de los esfuerzos tectónicos afectados por el anticlinal saylla-lucre y el sinclinal de san juan de quijuares. El macizo rocoso presenta aberturas mayores a <0.1 mm. Se observan un relleno o en algunos casos rellenos de arenas y limos. Estas características son indicativos claros de que la roca actúa como medio propicio para la circulación de agua subterránea. Al tratarse de rocas porosas de porosidad primaria y, adicionalmente, estar fracturadas (porosidad secundaria), se potencia aún más la capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

El RMR ajustado resulta de 42 como puntaje, siendo de clase IV y resultando un macizo rocoso mala.

Tabla 31

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha II

ANÁLISIS DEL MACIZO ROCOSO DE LA CUENCA COLCAYQUI DEL DISTRITO DE LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHI - DEPARTAMENTO DE CUSCO								
Valoración del macizo rocoso clasificación geomecánica de Bieniawski - RMR 1989								
1. Resistencia de la roca inalterada								
Índice de carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS			
Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	3-10 Mpa	
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0	
						Valoración	4	
2. Valor de RQD (Rock Quality Desing)								
Rangos de valores	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
Puntaje	20	17	13	8	3			
						Valoración	3	
3. Espaciamiento de fracturas o discontinuidades								
Rangos de valores	>2m	0.6 m - 2 m	20 cm-60 cm	6 cm-20 cm	<6 cm			
Puntaje	20	17	13	6	3			
						Valoración	6	
4. Condición de juntas o discontinuidades								
4.1 Longitud o persistencia de las discontinuidades								
Rangos de valores	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Puntaje	6	4	2	1	0			
						Valoración	2	
4.2. Abertura de las discontinuidades								
Rangos de valores	Nada	< 0.1 mm	0.1 mm - 1.0 mm	1 mm -5 mm	> 5 mm			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	5	
4.3. Rugosidad de las discontinuidades								
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	5	
4.4. Relleno de las discontinuidades								
Condición	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando >5 mm			
Puntaje	6	4	2	2	0			
						Valoración	6	
4.5. Alteración de las discontinuidades								
Condición	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntaje	6	5	3	1	0			
						Valoración	1	
5. Flujo de aguas en las juntas o discontinuidades								
Condición	Completamente seco	Ligeramente seco	Húmedo	Gateando	Agua fluyendo			
Puntaje	15	10	7	4	0			
						Valoración	15	
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Orientación de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentación (F)	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60		
Indicar el tipo de trabajo: S						Valoración	-5	
VALOR DEL RMR								
RMRM Básico						47		
RMR Ajustado						42		
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
Puntuación	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0
Descripción	I MUY BUENA		II BUENA		III MEDIA		IV MALA	V MUY MALA

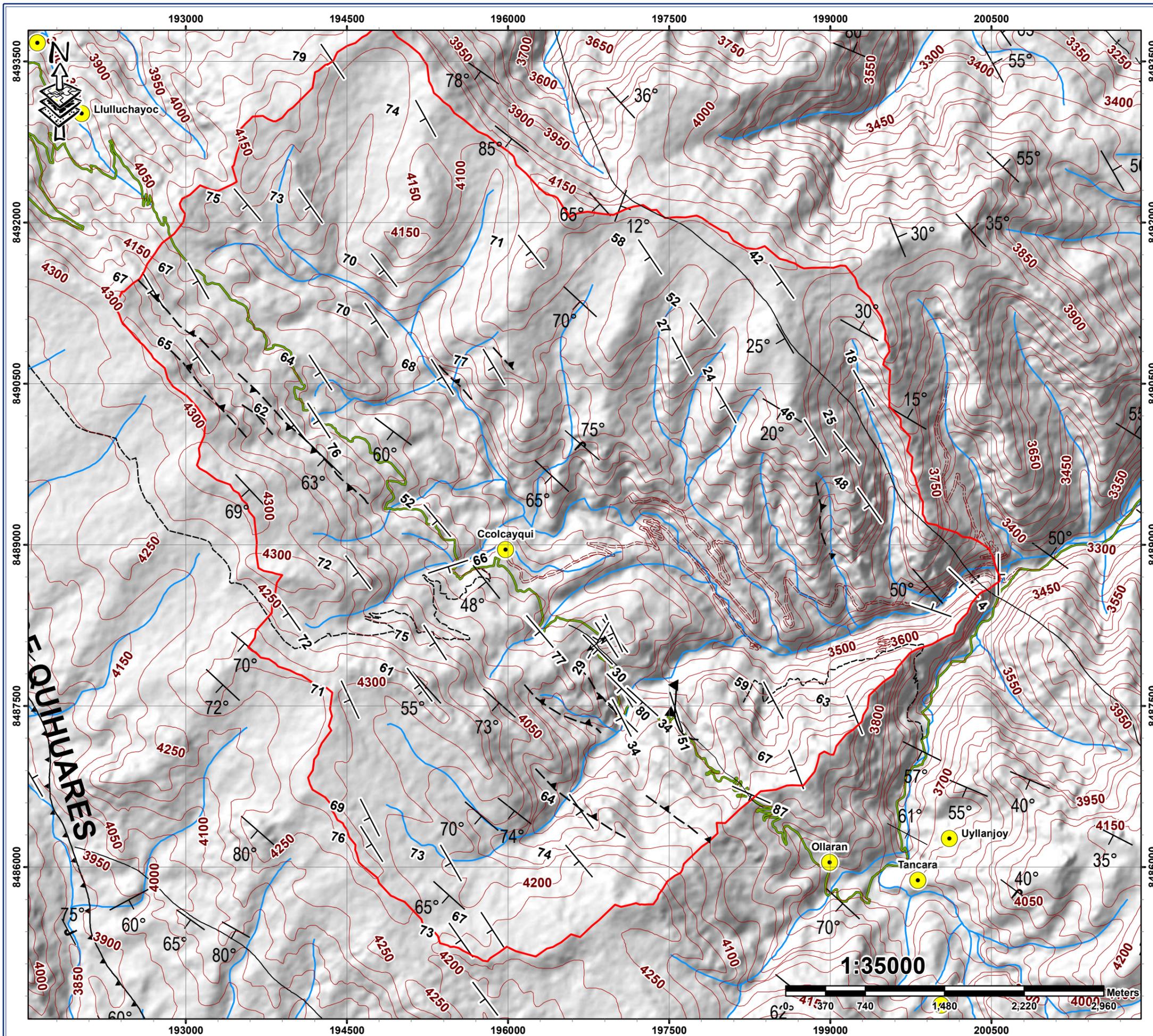
Nota: Elaboración modificada de Bieniawski 1989.

Tabla 32

Análisis del macizo rocoso según RMR para la Formación Punacancha II

INFORMACIÓN DEL MATERIAL ROCOSO							
LITOLOGÍA	TIPO DE ROCA: ARENOSCA		COLOR Y TEXTURA: MARRÓN Y GRANULAR			FORMACIÓN Y EDAD: FORMACION PUNACANCHA MEMBRO I	
	POTENCIA: GEOFORMA: MORTARAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS						
RESISTENCIA	Menor	Extremadamente Blanda (USa)	Med Blanda (USa)	Blanda (Punta martillo)	Medio (1 Golpe martillo)	Dura (+ 1 Golpe martillo)	Extremadamente dura (Solo raja con martillo)
	Mayor	3	1	2	3	4	5
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO:							
INFORMACIÓN DEL MACIZO ROCOSO							
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES		Med grandes	Grandes	Medios	Pequeños	Muy pequeños
	Jv dislocación*		< 1	1-3	3-10	10-20	> 20
GRADOS DE METEORIZACIÓN	Sana		Algo meteorizada	Medianamente meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada I Discompuesta	Muy meteorizado
	I		II	III	IV	V	VI
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco, con señal de agua	Húmedo	Gaseo	Completamente meteorizada I Discompuesta	Suelo residual
	I		II	III	IV	V	VI
No. DE SETS DE DISCONTINUIDADES MAYORES	1- (Presencia de discontinuidades) I		OBSERVACIONES		Flaca sedimentaria de areniscas e intercalaciones con lutitas		
FOTO							
							

PLANO ESTRUCTURAL LOCAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Leyenda

Estructuras Litológicas

- Anticinal
- Contacto
- Falla Inferida
- Falla Inferida Inversa
- Falla Inversa

Piiegue

- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal

Buzamientos

- Rumbo y buzamiento de estratos
- Rumbo y buzamiento de estratos invertido
- Estrato vertical

Simbología

- Centros Poblados
- Curvas de Nivel

Acceso

- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Drenaje
- Cuenca Ccolcayqui
- lago28s1

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 INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO		
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"				
Mapa: PLANO ESTRUCTURAL REGIONAL		Asesor: Dr. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		
Ubicación:		Responsal: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY		Lamina: 09
Dep. CUSCO Proc. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyección: UTM ZONA 19 L	Escala: INDICADA Fecha: 2024		

Capítulo VI: Hidrología

6.1.Ubicación Hidrográfica de la Cuenca

La cuenca de Ccolcayqui se codifica según el criterio de Otto Pfafstetter, el cual se conoce como un criterio que se utiliza para organizar y clasificar las cuencas hidrográficas a través de un código, con el fin de estudiar mejor la estructura y los flujos dentro de una cuenca hidrográfica.

Para la cuenca en estudio de acuerdo con el criterio mencionado anteriormente posee el código de la siguiente manera:

Tabla 33

Codificación Pfafstetter de la Cuenca Ccolcayqui

Código	Clasificación	Nivel
10	Cuenca Ccolcayqui	4994977619
9	Cuenca del río Lucre	499497761
8	Cuenca del río Huatanay	49949776
7	Unidad hidrográfica	4994977
6	Cuenca del Vilcanota	499497
5	Cuenca cabecera del río Urubamba	49949
4	Cuenca del río Urubamba	4994
3	Cuenca del río Ucayali	499
2	Cuenca cabecera del río Amazonas	49
1	Región Hidrográfica del Amazonas	4

Nota: Elaboración modificado en base SENAMHI.

La zona de estudio se encuentra dentro del ámbito de la cuenca del río Huatanay y forma parte de la unidad hidrográfica de la cuenca del Vilcanota. Esta identificado con el código 4994977619 y se clasifica como una cuenca de nivel 10 según la clasificación Pfafstetter. La cuenca se extiende desde una altitud de 3317 m.s.n.m en la parte baja y 4289 m.s.n.m. en su punto más alto. Recibe las precipitaciones que fluyen hacia el río de Lucre y deposita sus aguas

al río de Huatanay, este último pertenece a la cuenca del río Vilcanota teniendo como código de 49949.

Para la realización de la presente investigación se realizó la evaluación del recurso hídrico donde se determinó las características métricas del relieve, la recopilación de información de los datos de las precipitaciones del año 1790 al 2023 con el objetivo de obtener los datos de precipitaciones y avenidas máximas en nuestra cuenca.

6.2. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

Estos parámetros constituirán la información para conocer la forma, la naturaleza y el comportamiento de la Cuenca de Ccolcayqui.

6.2.1. Variable Superficial

a) Área de la cuenca (Ac)

Ac: 4025 Ha o 40.25 Km²

6.2.2. Variables Lineales

b) Perímetro de la cuenca

Perim: 28.3215 m

c) Longitud total de cauce:

Ltc: 62.43 km

d) Longitud de cauce principal:

Lcp: 10.4 km

Donde la cuenca Ccolcayqui según su distancia de cauce principal es corta.

e) Longitud de cauces secundarios:

Lcs: 52.03 km

f) Longitud axial (La)

$$La: 8.59 \text{ km}$$

g) Ancho promedio de la cuenca.

Resulta de la relación del área entre la longitud.

$$Am = \frac{A}{La}$$

$$Am = \frac{40.25 \text{ Km}^2}{8.59 \text{ km}}$$

$$Am = 4.69 \text{ km}$$

h) Numero de escurrimientos

$$N_{esc} = 114$$

Tabla 34:

Numero de Escurrimientos

Rangos de Escurrimiento	Clases
0 - 170	Bajo
170 - 340	Medio
>340	Alto

Fuente: Delgado 2011

Según al resultado obtenido del número de escurrimiento que es 114, la cuenca de Ccolcayqui se clasifica en una clase de escurrimiento bajo.

6.2.3. Variables de Desnivel

a) Diferencia de elevación de cauce

$$\text{Punto más alto} = 4405 \text{ msnm}$$

$$\text{Punto más bajo} = 3347 \text{ msnm}$$

$$E_{cp} = 1058 \text{ msnm}$$

b) Pendiente media del cauce principal

$$Sc = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \times 100$$

Donde:

H_{\max} : cota máxima de la cuenca

H_{\min} : cota mínima de la cuenca

L : Longitud de cauce principal en m

$$Sc = \frac{4405 - 3347}{10.4 (1000)} \times 100$$

$$Sc = 10.17 \%$$

Según el resultado calculado y en comparación con la tabla de valores de pendiente de cauce, la cuenca Ccolcayqui tiene una clase de **pendiente moderada**.

c) Diferencia de elevación de la cuenca (Es)

Altitud más elevada de la divisoria: 4405

Altitud en la salida de la cuenca: 3347

$$Es = 1058 \text{ m}$$

Tabla 35 Rangos de Elevación

Rangos de Elevación	Clases de elevación
<200	Baja
200-500	Media
>500	Alta

Fuente: Manual de manejo Integral de cuencas Hidrográficas

Según el resultado calculado y en comparación con el cuadro, la cuenca Ccolcayqui tiene una clase de elevación alta.

d) Pendiente media de la cuenca (S)

$$S = 100 * \left(\frac{L_{tcn} - e_q}{A_{cuenca}} \right)$$

- L_{tcn} : Longitud total de curvas a nivel en ml
- E_q : Equidistancia entre curvas a nivel en ml

- A_{cuenca} : Área de la cuenca (m2)

$$S = 100 \left(\frac{680356.038 - 50}{40251200 \times 10000} \right)$$

$$S = 1.69\%$$

e) Coeficiente de Compacidad:

Establece una comparación entre la geometría de la cuenca y la de un círculo, cuyo círculo inscrito posee una superficie equivalente a la de una cuenca en análisis. El coeficiente K_c se describe como la proporción entre el perímetro de la cuenca, la circunferencia. Las cuencas con formas más cercanas a la circular presentan una mayor capacidad para concentrar la escorrentía. Sin embargo, las cuencas alargadas presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo. (Academia.edu)

$$K_{c_g} = 0.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

K_{c_g} : Coeficiente de gravelius

P: Perímetro de la cuenca (Km) = 28.32 Km

A: Área de la cuenca (Km) = 40.25 Km²

$$Kc_g = 0.28 \left(\frac{28.32 \text{ Km}}{\sqrt{40.25 \text{ Km}^2}} \right)$$

$$Kc_g = 1.24$$

Tabla 36

Parámetros de Gravelius

Rango	Forma
1.00 - 1.25	Redonda a oval redonda (compacta)
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Casi rectangular (alargada)

Fuente: Basado en Gravelius, 1914; Horton, 1932; Jardí

Según el coeficiente de Gravelius la cuenca Ccolcaqui pertenece según su clasificación de los rangos a Redonda a oval redonda (compacta).

f) Coeficiente de forma

Este índice, introducido por Gravelius, se calcula a partir de la proporción entre el área de captación y la longitud axial de la cuenca. Medida desde la desembocadura hasta el punto más distante de ella.

Este factor compara la morfología de la cuenca con la de un cuadrado, donde un $K_f=1$ representa una forma idealizada. Un valor de K_f mayor que la unidad indica el grado de achatamiento de la cuenca o la presencia de un río principal relativamente corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (Zorrilla, 2011)

$$K_f = \frac{A}{L_a^2}$$

Donde:

Kf: Coeficiente de forma

A: Área (Km²)

La: Longitud axial (km)

$$K_f = \frac{40.25 \text{ Km}^2}{(8.59 \text{ Km})^2}$$

$$K_f = 0.55$$

Tabla 37

Parámetros del factor de forma

Clases de valores de forma	
Rangos de Ff	Clases de forma
<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

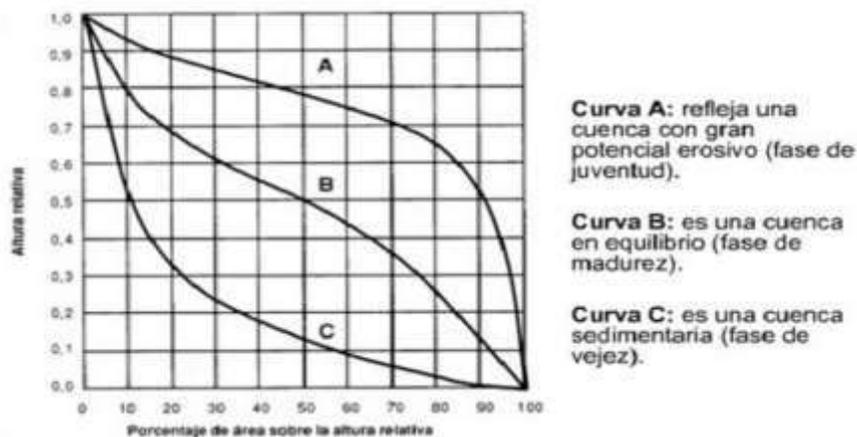
Por su factor de forma (Ff) la cuenca Ccolcayqui pertenece según su clasificación de los rangos a Ligeramente ensanchada.

6.2.4. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias

La curva hipsométrica muestra el porcentaje de área de la cuenca, además, la superficie de la cuenca el cual tiene por encima de ciertas cotas.

Figura 59

Figura de la curva hipsométrica del porcentaje de área sobre la altura relativa vs la altura relativa

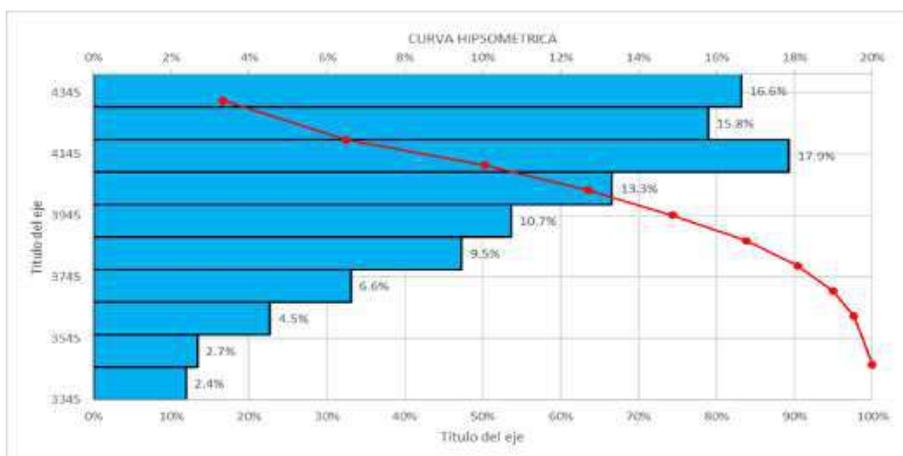


Fuente: <https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

Según la figura 59 indica que la cuenca Ccolcayqui se identifica una cuenca en fase de Juventud, a cerca del polígono de frecuencias tiene una mayor área (17.86%) con una altura de 4110 metros.

Figura 60

Curva hipsométrica de la cuenca Ccolcayqui



6.3. Parámetros Hidromorfométricos de la Cuenca

6.3.1. Tipo de Corriente

- Corriente efímera: Es un tipo de flujo que transporta agua únicamente durante las lluvias y por un corto periodo posterior a estas.
- Corriente intermitente: Es un flujo que contiene agua durante gran parte del tiempo, principalmente en la época de precipitaciones, sin embargo, se seca cuando la elevación del agua subterránea baja por debajo del lecho del río.
- Corriente perenne: Es un flujo constante que mantiene agua durante todo el año, incluso en épocas de secas, debido a que el nivel del agua subterránea siempre está por encima del fondo de la vía fluvial.

6.3.2. Orden de Corriente

Esta clasificación nos ayuda a organizar y jerarquizar las corrientes de agua dentro de una red de drenaje. Para esta característica se utiliza la clasificación por el método de Strahler (1952) lo cual nos ayuda a clasificar las corrientes por orden mediante por una jerarquización de la red fluvial.

Tabla 38

Hidrografía de la Cuenca de Ccolcayqui.

Orden	Longitud (Km)	Nº Repetidos (1)	Pendiente Promedio % (2)	(1) *(2)
Primer orden	31.09	58.00	22.79	1322.10
Segundo orden	19.43	24.00	18.89	453.41
Tercer Orden	9.24	25.00	17.89	447.30
Cuarto Orden	2.67	7.00	18.03	126.19
Suma Total	62.43	114.00	77.61	2349.01
Pendiente Promedio Red Hídrica			20.61	%

6.3.3. Razón de Bifurcación

Es un indicador que representa la relación entre la cantidad de canales o cauces de un determinado orden en una red de drenaje y la cantidad de cauces del orden inmediatamente superior.

Estos valores de esta relación indican la presencia de terrenos escarpados y suelos altamente erosionables. Además, estas cuencas se caracterizan por contar con una densa red hidrográfica, con numerosos cauces tributarios que responden rápidamente a los eventos de precipitación.

(Aparicio Mijares, 1992)

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Donde:

Rb: razón de bifurcación

Nn: número de cauces de un orden dado

Nn+1: número de cauces de orden inmediato superior

Tabla 39

Tabla de clasificación de Strahler

Clasificación de Strahler			Razón de Bifurcación	Bifurcación media (Rb)
Ríos Orden	Longitud (km)	Nº de corrientes		
1	31.09	58	2.42	
2	19.43	24	0.96	2.32
3	9.24	25	3.57	
4	2.67	7		
TOTAL	62.43	114		

Del dato obtenido podemos interpretar que la cuenca de Ccolcayqui está determinado por un tipo de suelo poco erosionable y con menor respuesta lenta a las lluvias, lo cual es un suelo útil para cultivos.

6.3.4. Longitud total de corrientes de agua.

Esto indica la magnitud de la pendiente de la cuenca y el nivel de drenaje. Para calcular, se divide el curso de agua en varios segmentos lineales, trazados de forma que sigan lo más fielmente posible las trayectorias de los cauces.

Tabla 40

Longitud total de corrientes de agua.

Unidad hidrográfica	Factor	Símbolo	Valor	Unidad
Cuenca Ccolcayqui	Longitud total	L	62.43	km

6.3.5. Cantidad total de corrientes de agua

Es la suma de la cantidad de los cursos de agua de la cuenca.

Tabla 41

número total de corrientes de agua

UNIDAD HIDROGRAFICA	FACTOR	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cuenca Ccolcayqui	Cantidad total	N°c	114	# de ríos

6.3.6. Densidad de corrientes (frecuencias de ríos)

$$Dc = \frac{Nc}{Acuenca}$$

Donde:

Dc: densidad de corrientes

Nc: número de corrientes perennes e intermitentes

A_{cuenca}: área de la cuenca (km²)

Tabla 42*Datos de la densidad de corriente*

UNIDAD HIDROGRAFICA	FACTOR	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cuenca Ccolcayqui	Densidad de corrientes	Dc	2.66	# de ríos/km ²

6.3.7. Densidad de drenaje.

Este indicador representa la proporción entre el recorrido total de los cauces, tanto regulares como irregulares, y el área total de la cuenca. En otras palabras, mide la capacidad de la cuenca para evacuar un volumen determinado de agua (Aspectos Biofísicos) . Es un indicador clave para describir la topografía de la cuenca en análisis hidrológicos.

El valor bajo de este parámetro está vinculados a áreas con suelos poco erosionables, baja vegetación y pendientes suaves. Por otro lado, valores elevados indican que las precipitaciones generan una rápida respuesta en los caudales de los ríos. Estas áreas suelen caracterizarse por terrenos impermeables y con inclinaciones pronunciadas. Se calcula mediante la expresión matemática siguiente:

$$Dd = \frac{Li}{Ac}$$

Donde:

Dd: Densidad de Drenajes

Li: Largo total de los cursos de agua en km

Ac: Área de la cuenca en km²

Tenemos los siguientes rangos:

Tabla 43

Parámetros de la densidad de drenaje según.

Densidad de Drenaje	Clases
0.1 a 1.8	Baja
1.9 a 3.6	Moderada
3.7 a 5.6	Alta

Fuente: (Tolima)

Tabla 44

Tabla de densidad de drenaje

UNIDAD HIDROGRAFICA	FACTOR	SÍMBOLO	VALOR
Cuenca Ccolcayqui	Densidad de drenaje	Dd	1.55

De acuerdo al cuadro anterior podemos que la cuenca Ccolcayqui presenta la densidad de drenaje baja.

6.3.8. Coeficiente de Torrencialidad:

Este parámetro representa la proporción entre la cantidad de cauces de agua de primer orden y área de la cuenca.

Es la siguiente formula:

$$Ct = \frac{N1}{Ac}$$

Donde:

Ct: coeficiente de torrencialidad

N1: número de cauces de orden uno

Ac: área de la cuenca (km²)

Tabla 45*datos de coeficiente de torrencialidad*

UNIDAD HIDROGRAFICA	FACTOR	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cuenca Ccolcayqui	Coeficiente de torrencialidad	Ct	1.44	# ríos/km ²

Interpretación: La torrencialidad en la cuenca Ccolcayqui es alta a consecuencia que el número de cauces de orden uno resulta mayor al área de la cuenca, este dato nos indica que el agua recorre muy poco para dirigirse al cauce y la velocidad de descarga resulta mayor.

6.4. Información Hidrometeorológica

La información hidrometeorológica analizada fue obtenida del repositorio de datos del Producto Pisco combinado junto con la información brindada de las estaciones por parte del SENAMHI.

Para este estudio se usó como data base la estación meteorológica Kayra ya que es la estación más completa y cercana a la cuenca Ccolcayqui ya que no cuenta con una estación meteorológica propia en dicho distrito.

Tabla 46*Estaciones Meteorológica*

Estación	Granja Kayra	Ccatcca	Paruro
Latitud	13°33'24.29"	13°36'35.6"	13°46'1.1"
Longitud	71°52'30.61"	71°33'36.4"	71°50'40.9"
Altitud	3214	3681	3070
Distrito	San Jerónimo	Ceatcca	Paruro
Provincia	Cusco	Quispicanchi	Paruro
Región	Cusco	Cusco	Cusco
Zona	19 L	19 L	19 L
UTM Este	188805.29	207800.71	192379.37
UTM Norte	8499462.96	8493960.37	8476226.77
Descripción	Convencional	Convencional	Convencional
Precipitación	x	x	x
Temperatura	x	x	x

Fuente: SENAMHI

6.4.1. *Análisis de Precipitación*

Para determinar la precipitación en la zona de estudio, se empleó los datos mensuales de PISCO Y SENAMHI que corresponden a las tres estaciones meteorológicas mencionadas en la tabla 46 se utilizaran desde el año 1965 - 2023. (Villon, 2006)

Completación de datos meteorológicos

Se utilizará el método de Exhaustividad, que es un método en el cual nos permite rellenar “vacíos” de forma completa y fiable como sea posible. Se utilizará la técnica de interpolación lineal, que cuenta con la siguiente formula:

$$y_x = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (y_1 - y_0)$$

Donde:

y_x = Valor a buscar

y_0 = límite inferior de la variable y

y_1 = límite superior de la variable y

x = promedio entre límite superior e inferior de la variable y

x_0 = límite inferior de la variable x

x_1 = límite superior de la variable x

Tabla 47

Tabla de precipitaciones media mensual de la estación de Kayra.

SUMA DE PRECIPITACION - ESTACION KAYRA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
1965	101.80	100.50	112.40	88.00	5.80	0.00	0.40	1.00	29.60	58.30	42.50	153.00	693.30
1966	78.30	171.20	79.90	18.30	19.80	0.00	0.00	1.70	31.90	59.70	65.20	71.40	597.40
1967	59.10	118.40	140.30	19.00	1.80	0.60	11.00	19.00	32.80	70.90	57.20	125.60	655.70
1968	149.40	106.60	84.50	34.60	6.30	5.30	30.90	8.60	16.30	84.60	86.70	54.40	668.20
1969	144.40	77.80	88.10	16.80	2.90	3.30	7.20	3.90	22.80	29.80	54.70	72.90	524.60
1970	170.60	92.60	132.50	86.10	2.30	1.00	3.70	3.40	42.10	46.10	48.20	177.40	806.00
1971	128.90	161.60	83.60	40.00	1.50	0.10	0.00	5.70	3.50	55.70	51.00	127.50	659.10
1972	192.10	66.80	57.20	29.70	3.40	0.00	6.50	27.30	12.20	7.90	50.20	100.20	553.50
1973	221.30	120.90	99.60	75.20	14.00	0.00	9.10	11.80	14.50	65.10	88.80	96.50	816.80
1974	102.50	157.70	121.50	34.50	3.60	8.20	1.00	34.60	5.90	43.30	60.90	108.00	681.70
1975	124.70	131.00	55.30	66.80	22.50	0.70	0.30	0.60	51.10	47.50	51.00	170.10	721.60
1976	119.60	83.10	123.10	42.90	13.00	8.70	0.70	2.50	26.80	25.30	47.80	66.80	560.30
1977	116.70	122.80	69.30	47.60	7.90	0.00	4.40	0.00	29.90	65.00	71.50	78.00	613.10
1978	175.40	106.10	88.50	48.70	11.40	0.00	3.40	0.00	13.70	12.30	86.70	117.90	664.10
1979	101.10	131.60	108.80	46.80	6.20	0.00	0.90	8.10	11.50	18.40	85.60	81.80	600.80
1980	106.20	126.40	135.00	23.20	3.70	0.00	5.30	1.00	12.60	62.90	60.20	83.10	619.60
1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30	922.90
1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60	786.80
1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20	483.70
1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80	800.50
1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40	728.30
1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70	569.10
1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60	630.60
1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70	725.50
1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	15.70	60.70	88.50	653.30
1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50	641.10
1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00	682.40
1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00	609.30
1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50	799.90
1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90	798.40
1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60	560.00
1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	47.95	64.78	111.89	594.22
1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40	805.30
1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90	493.90
1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50	543.10
2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00	652.00
2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40	864.10
2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40	822.10
2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80	713.70
2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90	632.00
2005	140.80	144.50	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50	652.80
2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20	856.30
2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.40	72.40	88.40	621.40
2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90	592.40
2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90	525.50
2010	268.60	168.50	129.20	16.60	1.30	0.10	1.40	4.70	8.20	63.60	40.40	174.10	876.70
2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20	740.50
2012	70.50	157.90	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50	679.60
2013	187.30	137.20	75.50	13.00	6.40	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40	796.60
2014	161.90	116.50	40.00	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	82.20	37.50	155.90	660.70
2015	151.30	140.90	66.70	70.80	16.40	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00	661.70
2016	91.60	165.50	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	6.40	80.10	15.20	102.60	548.10
2017	110.40	84.30	118.10	47.50	11.20	0.10	0.00	8.00	18.30	27.70	60.00	101.70	587.30
2018	154.80	162.20	145.70	19.60	0.20	16.20	15.80	7.10	7.00	80.70	80.80	95.20	785.30
2019	121.00	126.60	164.40	38.90	28.20	1.50	3.70	0.00	9.80	82.40	111.70	140.40	828.60
2020	124.50	153.30	80.20	34.73	2.41	0.00	8.20	1.00	14.60	17.50	40.90	139.70	617.04
2021	150.50	116.50	74.10	90.50	6.70	11.50	3.00	4.30	1.50	38.20	102.30	106.10	705.20
2022	198.10	89.70	142.20	6.20	1.00	0.50	0.00	2.50	21.90	1.20	27.50	40.70	531.50
2023	91.70	130.40	62.00	39.60	45.80	0.00	0.00	5.70	13.40	21.80	57.30	144.80	612.50
PROM	144.04	123.21	98.87	41.15	7.04	3.72	4.00	5.78	17.34	46.96	71.53	111.39	675.05
N° DATOS	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00	59.00
SUMA	8498.60	7269.40	5833.10	2427.83	415.11	219.70	236.20	341.30	1023.30	2770.45	4220.48	6572.29	39827.76
DESV. ESTANDAR	45.38	31.24	35.35	23.75	7.90	6.08	6.37	6.99	12.18	25.97	32.36	34.25	106.14
VARIANZA	2059.06	975.84	1249.66	564.12	62.41	37.01	40.57	48.89	148.31	674.20	1047.09	1172.91	11264.89
MEDIA	144.04	123.21	98.87	41.15	7.04	3.72	4.00	5.78	17.34	46.96	71.53	111.39	675.05
PREC. MIN	59.10	58.70	22.60	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.20	15.20	40.70	483.70
PREC. MAX	268.60	184.60	173.90	108.90	45.80	31.80	30.90	34.60	51.10	114.60	201.50	201.50	922.90
COEF. VARIACION	0.32	0.25	0.36	0.58	1.12	1.63	1.59	1.21	0.70	0.55	0.45	0.31	0.16

Fuente: Completado en base a los datos de SENAMHI

6.5. Análisis y Tratamiento de la Información

Para estimar la precipitación de la cuenca Ccolcayqui, se utilizaron los datos mensuales de PISCO Y SENAMHI con respecto de las estaciones de Kayra, Ccatca y Paruro en los periodos de 1965 - 2023. (Villon, 2006)

6.5.1. Análisis de consistencia

Según (Villon, 2006), refiere al proceso de la identificación o detección, descripción y eliminación de la falta de homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica. Para poder usar los datos de una serie histórica, se debe de realizar el análisis de consistencia que garantice la homogeneidad y la consistencia.

Para ello se deben de seguir una serie de pasos, como son: análisis visual gráfico, análisis de doble masa, análisis estadístico.

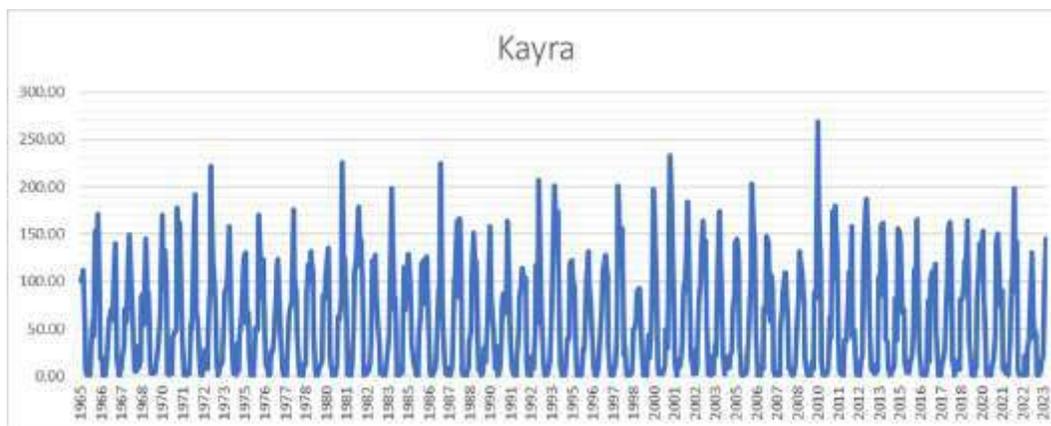
6.5.2. Análisis visual grafico

De acuerdo a (Villon, 2006), el gráfico facilita la visualización de la consistencia de la información hidrológica y resalta los periodos en los que los datos pueden ser cuestionables. Estas anomalías se presentan como picos extremos, valores raramente bajos, saltos o tendencias, que deben de verificar con el fin de determinar si corresponden a fenómenos naturales reales o a errores sistemáticos.

Los datos analizados pertenecen a la estación de Kayra, donde se considera la estación base por ofrecer la información más confiable según el análisis de doble masa

Figura 61

Serie Histórica de Precipitación.



En la Fig. 59, el histograma muestra la inconsistencia de la información meteorológica lo cual se refleja cambios con los picos de los datos. Esto nos llevó a dividir los datos en dos periodos de 1965-2000 y 2001-2023 luego se hizo una interpretación estadística posterior.

Tabla 48

Periodos de comparación en la Estación de Kayra.

Periodos	Nº Datos	Media	Desviación estándar	Varianza
Primer periodo (1965-2000)	36	664.34	261.71	7725.58
Segundo periodo (2001-2023)	23	691.81	271.69	8519.65

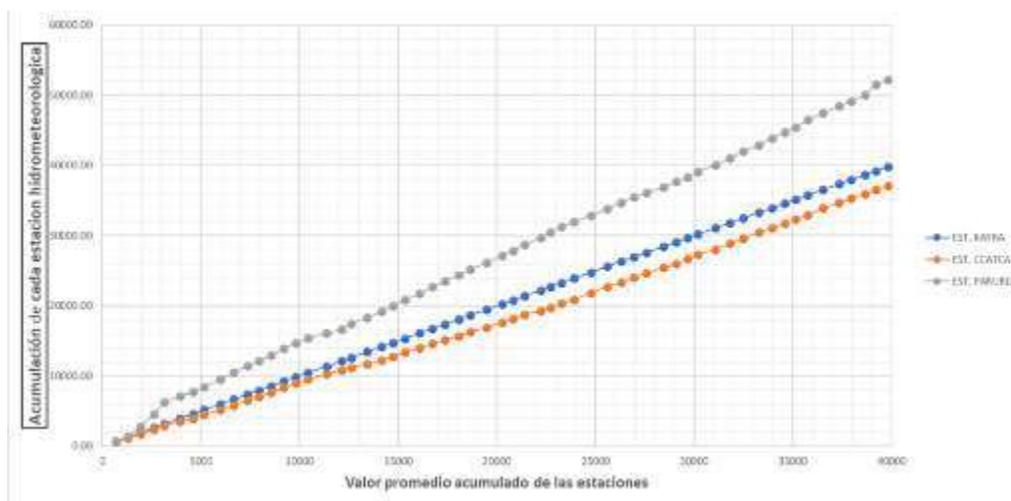
6.5.3. *Análisis de Doble Masa*

De acuerdo a (Villon, 2006), indica que el método de doble acumulación se utiliza para garantizar la veracidad de los datos y evaluar la fiabilidad de los probables errores que pueden presentarse durante su obtención. No está destinado a corregir mediante el uso de la recta de doble masa.

En la fig. 60 se visualiza en el eje de las abscisas los valores totalizados, como valores promedio de volúmenes anuales en millones de metros cúbicos de las estaciones de la cuenca, y en el eje de las ordenadas los valores acumulados de las cantidades anuales de cada estación en estudio.

Figura 62:

Gráfico de análisis de doble masa



En el gráfico de la figura 62 se seleccionó a la estación Kayra como la estación más confiable, ya que presenta menor número de quiebres.

6.5.4. Análisis Estadístico

Según (Villon, 2006), señala que, tras identificar mediante gráficos visuales y gráficos de doble masa los periodos en los que se pueden aplicar correcciones y aquellos en los que los datos permanecerán sin modificaciones, se realiza un análisis estadístico para detectar posibles saltos en la media y en la desviación estándar.

Figura 63

Grafico de análisis de doble masa de la Estación de Kayra



En la Fig. 63, se observa un pequeño quiebre en el cual divide la serie en los dos periodos n1 y n2.

6.5.5. Análisis de Saltos

6.5.5.1. Consistencia de la media (prueba S – Student)

Según Villon, este método consiste en probar mediante la prueba de hipótesis (t), si los valores intermedios x_1 y x_2 de las muestras, numéricamente estos son iguales o diferentes con una posibilidad del 95% o con 5% de nivel de significación. Para determinar la consistencia se sigue los siguientes puntos: primero se realiza los cálculos de la media y de la desviación estándar para las submuestras, segundo paso es calcular el t calculado (t_c), para luego calcular el t tabular, finalmente se realiza la comparación del t_c con t_t .

Tabla 49*División de Periodos*

Periodo	Año
Variable (n1)	1965 – 2000
Variable (n2)	2001 - 2023

Tabla 50*Prueba t Para dos Muestras*

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	664.34	691.81
Varianza	10703.75	12188.15
Observaciones	36.00	23.00
Varianza agrupada	11276.68	
Diferencia hipotética de las medias	0.00	
Grados de libertad	57.00	
Estadístico t	-0.97	
P(T<=t) una cola	0.17	
Valor crítico de t (una cola)	1.67	
P(T<=t) dos colas	0.34	
Valor crítico de t (dos colas)	2.00	

Tabla 51*Evaluación de Consistencia en la Media*

Consistencia en la media	
t_c	0.97
GDL2	35
GDL1	22
t_t	2.0
0.97 < 2.0	

Se observa que el valor del $t_c < t_t$ en consecuencia las medias son numéricamente iguales, por consiguiente, no se realiza las correcciones.

6.5.5.2. *Consistencia de la desviación estándar.*

Según Villon (2006), para corroborar mediante la prueba de F, si los valores de las desviaciones estándar de las muestras son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación de las siguientes formas: primero se calcula las varianzas de ambos periodos, luego se calcula del F calculado F_c y luego realizar el cálculo del F tabular que se obtiene de las tablas de F para una probabilidad del 95%, con un nivel de significación de 0.05 y grados de libertad y finalmente se realiza la comparación del F_c con el F_t .

Tabla 52

Consistencia de la desviación estándar

Consistencia de la desviación estándar	
f_c	1.14
GDL2	22
GLD1	35
f_t	1.85
1.14 < 1.85	

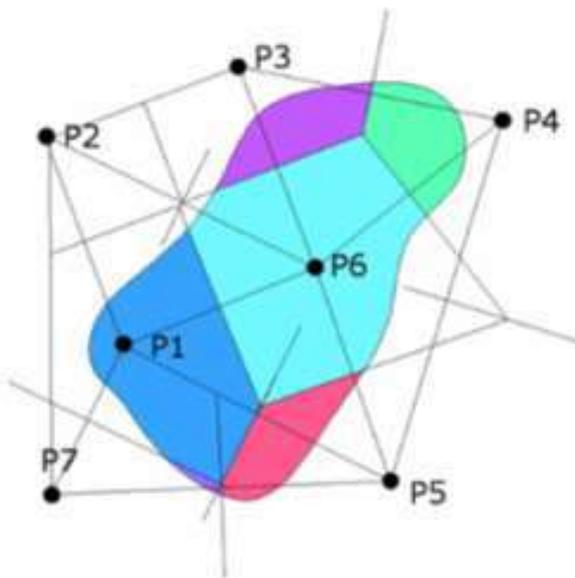
Según la tabla 52, el valor de $f_c < f_t$ por consiguiente la desviación estándar son estadísticamente iguales por ende no se realiza las correcciones.

6.6.Regionalización y Extrapolación

Para poder determinar la precipitación media de la cuenca Ccolcayqui se calculó por los siguientes métodos: método de polígonos Thiessen, método de inverso a la distancia y el método Kriging, para este propósito se empleó el uso del software ArcGis.

6.6.1. *Polígonos Thiessen*

El polígono de Thiessen consiste en definir un área de influencia alrededor de su punto de muestra, para que cada ubicación dentro del polígono esté más cerca de ese punto que los otros.

Figura 64*Polígonos Thiessen*

Fuente: <https://www.cidhma.edu.pe/que-es-el-metodo-del-poligono-de-thiessen/>

Se analiza la siguiente fórmula para conocer la precipitación que cae en la cuenca:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i$$

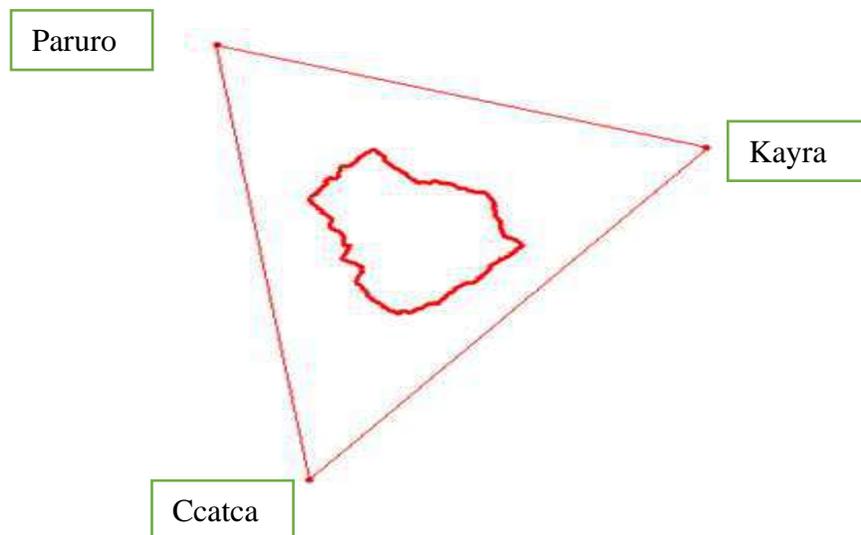
Donde:

P: precipitación media de la cuenca

A_i: Área de influencia del pluviómetro *i*

P_i: Pluviómetro *i* con *P_i*

Se calculó la precipitación media mediante el software ArcGis de la cuenca Ccolcayqui, utilizando el método de Thiessen.

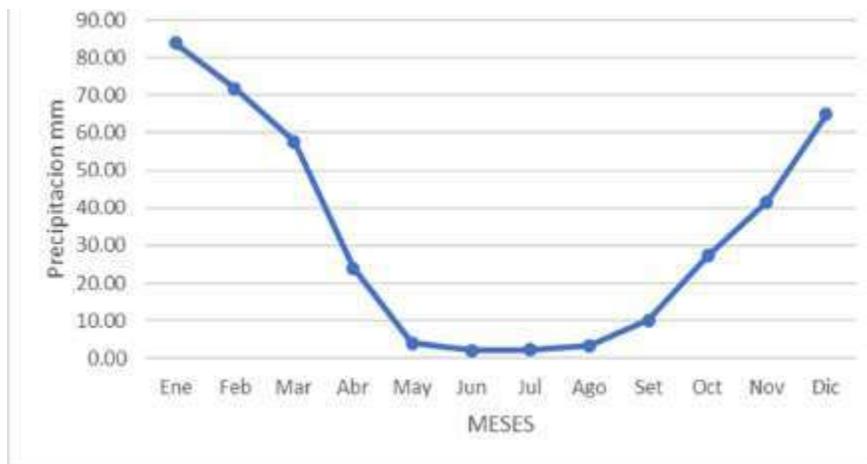
Figura 65*Cálculo de precipitación*

La precipitación de la cuenca es de 704.40 mm por año. Un posterior análisis nos permite comprender la variación de las precipitaciones en la cuenca en los meses del año, para ello se presenta una tabla para observar las variaciones de las precipitaciones según los meses.

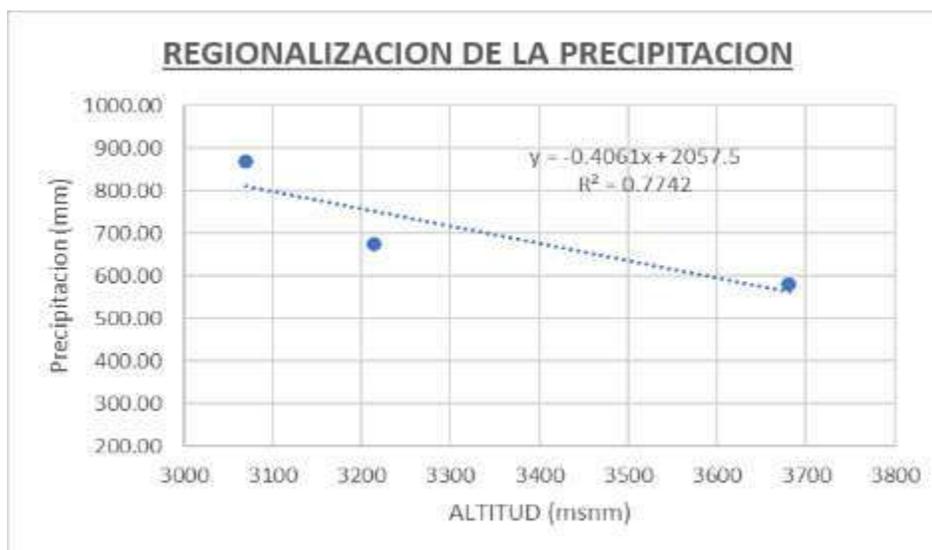
Tabla 53

Precipitación media calculada por el método Kriging en el área de estudio.

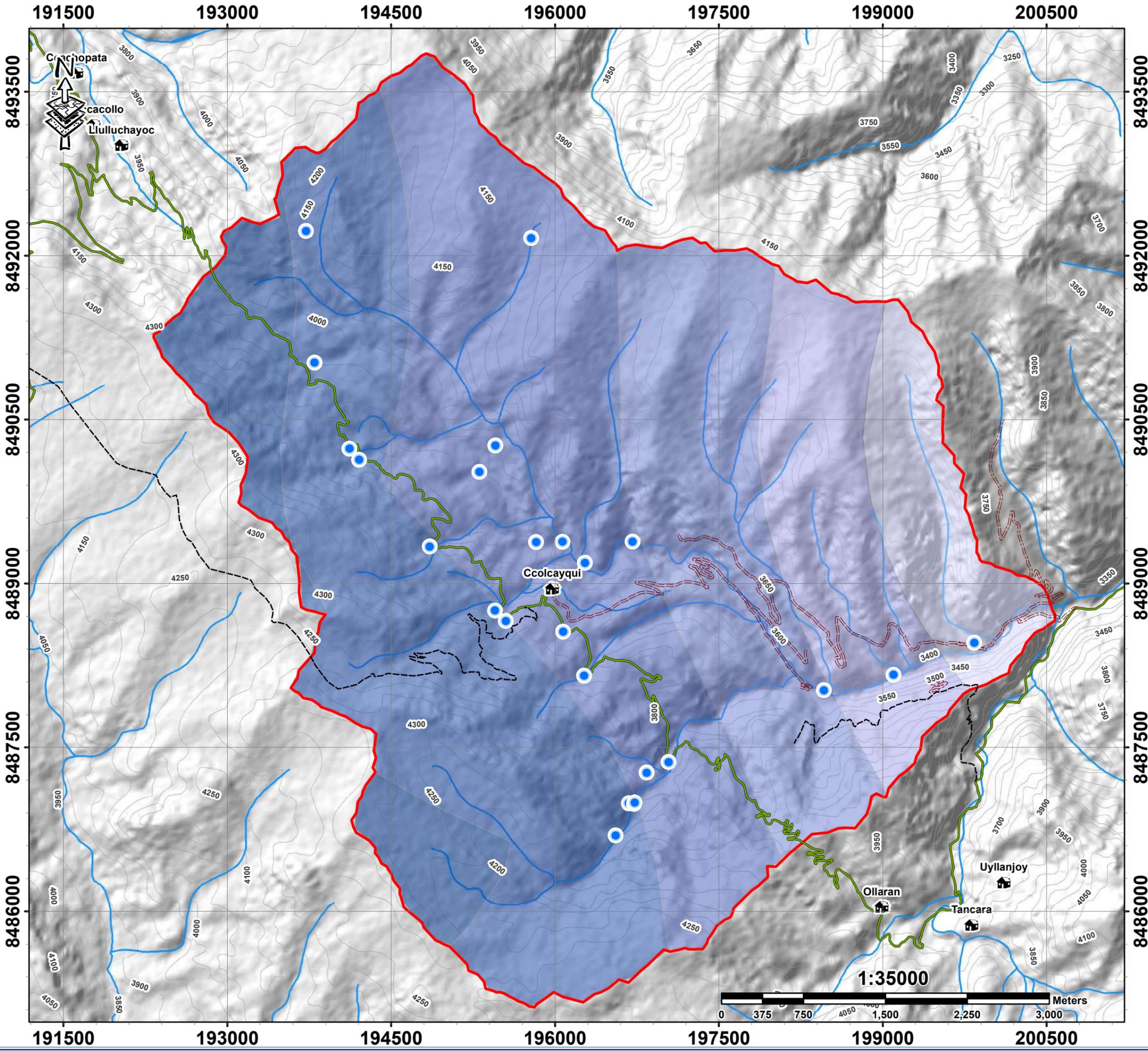
SUMA DE PRECIPITACION - ESTACION KAYRA													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	SUMA
1965	59.29	58.53	65.46	51.25	3.38	0.00	0.23	0.58	17.24	33.95	24.75	89.11	754.85
1966	45.60	99.71	46.53	10.66	11.53	0.00	0.00	0.99	18.58	34.77	37.97	41.58	647.93
1967	34.42	68.96	81.71	11.07	1.05	0.35	6.41	11.07	19.10	41.29	33.31	73.15	681.88
1968	87.01	62.08	49.21	20.15	3.67	3.09	18.00	5.01	9.49	49.27	50.49	31.68	689.16
1969	84.10	45.31	51.31	9.78	1.69	1.92	4.19	2.27	13.28	17.36	31.86	42.46	505.53
1970	99.36	53.93	77.17	50.14	1.34	0.58	2.15	1.98	24.52	26.85	28.07	103.32	877.25
1971	75.07	94.12	48.69	23.30	0.87	0.06	0.00	3.32	2.04	32.44	29.70	74.26	883.67
1972	111.88	38.90	33.31	17.30	1.98	0.00	3.79	15.90	7.11	4.60	29.24	58.36	592.36
1973	128.89	70.41	58.01	43.80	8.15	0.00	5.30	6.87	8.44	37.91	51.72	56.20	875.71
1974	59.70	91.84	70.76	20.09	2.10	4.78	0.58	20.15	3.44	25.22	35.47	62.90	797.02
1975	72.63	76.29	32.21	38.90	13.10	0.41	0.17	0.35	29.76	27.66	29.70	99.07	720.26
1976	69.66	48.40	71.69	24.99	7.57	5.07	0.41	1.46	15.61	14.73	27.84	38.90	626.32
1977	67.97	71.52	40.36	27.72	4.60	0.00	2.56	0.00	17.41	37.86	41.64	45.43	657.07
1978	102.15	61.79	51.54	28.36	6.64	0.00	1.98	0.00	7.98	7.16	50.49	68.67	686.77
1979	58.88	76.64	63.37	27.26	3.61	0.00	0.52	4.72	6.70	10.72	49.85	47.64	649.91
1980	61.85	73.62	78.62	13.51	2.15	0.00	3.09	0.58	7.34	36.63	35.06	48.40	660.86
1981	131.27	47.06	72.45	33.14	1.05	2.27	0.00	5.71	26.73	63.42	70.35	84.04	948.89
1982	104.19	67.27	83.34	34.25	0.00	5.36	1.98	2.85	8.15	22.07	71.34	57.42	895.91
1983	74.78	48.92	31.74	17.36	1.98	3.61	0.29	0.52	3.20	15.14	25.80	58.36	553.40
1984	115.67	82.93	41.35	48.22	0.00	1.16	0.76	6.64	2.45	66.74	40.42	59.87	588.48
1985	75.19	69.54	43.21	19.34	9.09	6.76	0.52	0.00	25.22	36.17	67.85	71.29	768.82
1986	44.50	53.70	73.21	38.15	3.61	0.00	1.05	2.45	4.37	10.08	40.54	59.81	506.33
1987	130.63	51.19	28.30	7.63	1.22	0.76	5.36	0.00	4.78	15.43	59.29	62.67	657.32
1988	95.40	49.10	96.97	63.42	2.68	0.00	0.00	0.00	5.77	21.08	27.72	60.40	592.52
1989	88.18	73.85	69.48	22.48	3.73	5.30	0.00	3.55	17.88	9.14	35.35	51.54	861.97
1990	91.79	52.65	35.06	27.61	4.37	18.52	0.00	3.38	7.75	42.92	50.61	38.73	654.03
1991	56.84	95.28	61.27	26.27	6.41	2.97	0.87	0.00	12.46	28.71	48.69	57.66	603.61
1992	66.45	59.64	60.57	8.68	0.00	11.30	0.00	12.46	4.66	29.53	68.37	33.20	668.37
1993	120.38	64.36	44.15	10.95	0.52	0.00	1.57	4.02	10.48	26.91	65.17	117.35	732.88
1994	103.09	95.46	101.28	26.50	6.87	0.00	0.00	0.00	14.97	23.41	23.59	69.83	779.29
1995	71.05	55.21	55.50	10.37	0.00	0.00	0.35	0.70	16.77	15.55	40.88	59.75	590.03
1996	76.82	57.08	41.06	18.81	6.41	0.00	0.00	3.67	11.42	27.93	37.73	65.16	606.11
1997	71.81	74.37	61.04	18.05	2.80	0.00	0.00	4.14	7.16	25.86	117.35	86.43	899.95
1998	67.73	90.97	13.16	18.05	0.93	1.11	0.00	0.93	2.50	29.00	28.95	34.30	563.61
1999	52.01	53.70	53.58	24.93	0.76	1.98	0.58	0.00	25.10	10.95	23.12	69.60	569.52
2000	114.97	79.96	69.60	6.35	1.51	3.38	1.57	2.62	6.23	28.71	17.06	47.76	618.11
2001	135.70	100.81	80.02	21.20	6.70	0.00	10.13	5.94	12.00	22.31	56.38	52.07	846.04
2002	78.33	107.51	65.64	12.58	9.43	1.46	15.78	2.15	6.00	45.84	56.96	77.11	899.32
2003	95.46	78.92	83.23	32.91	1.16	3.73	0.00	12.41	2.15	20.15	13.45	72.10	722.83
2004	101.16	73.27	38.73	12.23	1.40	11.94	9.90	5.24	12.64	14.91	35.47	51.19	631.31
2005	82.00	84.16	70.00	19.28	1.86	0.23	0.70	2.33	2.62	22.77	34.54	59.70	670.74
2006	118.46	90.56	84.97	23.82	0.12	2.85	0.00	6.12	4.37	42.22	39.49	85.73	881.70
2007	82.00	34.19	62.49	54.51	3.38	0.00	2.33	0.00	0.58	28.77	42.17	51.48	639.86
2008	63.37	63.60	37.51	4.43	5.07	1.22	0.00	2.27	8.10	30.11	52.53	76.82	605.49
2009	65.52	63.07	46.07	12.41	3.09	0.00	1.92	0.41	8.79	4.83	51.66	48.28	611.29
2010	156.43	98.13	75.25	9.67	0.76	0.06	0.82	2.74	4.78	37.04	23.53	101.40	822.29
2011	60.22	104.42	76.82	39.37	2.27	1.86	2.15	0.00	22.66	22.25	35.06	64.18	795.15
2012	41.06	91.96	24.29	28.01	2.62	0.70	0.00	0.06	10.72	11.36	80.49	104.54	679.76
2013	109.08	79.91	43.97	7.57	3.73	3.55	1.16	7.22	3.67	61.15	50.09	92.83	769.59
2014	94.29	67.85	23.30	20.38	5.88	0.00	1.86	3.38	7.34	47.87	21.84	90.80	669.27
2015	88.12	82.06	38.85	41.23	9.55	2.27	6.00	2.68	9.38	11.12	28.30	65.81	671.59
2016	53.35	96.39	31.62	14.21	1.75	0.00	2.62	0.29	3.73	46.65	8.85	59.75	559.04
2017	64.30	49.10	68.78	27.66	6.52	0.06	0.00	4.66	10.66	16.13	34.94	59.23	879.30
2018	90.16	94.47	84.86	11.42	0.12	9.43	9.20	4.14	4.08	47.00	47.06	55.44	872.55
2019	70.47	73.73	95.75	22.66	16.42	0.87	2.15	0.00	5.71	47.99	65.05	81.77	819.76
2020	72.51	89.28	46.71	20.23	1.40	0.00	4.78	0.58	8.50	10.19	23.82	81.36	687.04
2021	87.65	67.85	43.16	52.71	3.90	6.70	1.75	2.50	0.87	22.25	59.58	61.79	605.20
2022	115.37	52.24	82.82	3.61	0.58	0.29	0.00	1.46	12.75	0.70	16.02	23.70	565.50
2023	53.41	75.95	36.11	23.06	26.67	0.00	0.00	3.32	7.80	12.70	33.37	84.33	689.25
PROM	83.89	71.76	57.58	23.97	4.10	2.17	2.33	3.37	10.10	27.35	41.66	64.88	704.40
N° DATOS	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
SUMA	4949.60	4233.71	3397.21	1413.97	241.76	127.95	137.56	198.77	595.97	1613.52	2458.02	3827.71	41559.56
DESV. ESTANDAR	26.43	18.19	20.59	13.83	4.60	3.54	3.71	4.07	7.09	15.12	18.85	19.95	116.41
VARIANZA	698.42	331.00	423.88	191.34	21.17	12.55	13.76	16.58	50.31	228.68	355.17	397.84	13551.06
MEDIA	83.89	71.76	57.58	23.97	4.10	2.17	2.33	3.37	10.10	27.35	41.66	64.88	704.40
PREC. MIN	34.42	34.19	13.16	3.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.70	8.85	23.70	505.53
PREC. MAX	156.43	107.51	101.28	63.42	26.67	18.52	18.00	20.15	29.76	66.74	117.35	117.35	948.89
COEF. VARIACION	0.32	0.25	0.36	0.58	1.12	1.63	1.59	1.21	0.70	0.55	0.45	0.31	0.17

Figura 66*Precipitación en la Cuenca Colccayqui*

Para calcular a partir de las isoyetas, se desarrolló un modelo de precipitación basado en la correlación entre las tres estaciones hidrometeorológicas con los datos de altitud y precipitación media anual, reflejada en una línea de tendencia y el respectivo de acuerdo a la ecuación, con mejor correlación. Para calcular se tomó en cuenta los siguientes datos.

Figura 67*Grafico de ecuación de regionalización de precipitación*

PLANO DE ISOYETAS DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



Leyenda

Valores de precipitación regionalizada

	378.44 - 384.60
	384.61 - 391.72
	391.73 - 399.34
	399.35 - 406.75
	406.76 - 414.06
	414.07 - 416.37

Simbología

- Manantes
- Centros Poblados
- Drenaje
- Acceso**
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Cuenca Ccolcayqui

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 INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa:		MAPA DE ISOYETAS	
Asesor:	MSC. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable:	Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY
Ubicación:	Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum:	WGS 84
		Sistema de Proyección:	UTM ZONA 19 L
		Escala:	INDICADA
		Fecha:	2025
		Lamina:	11

6.6.2. Regionalización Temperatura

Para la regionalización del mapa de Isotermas, se elaboró un esquema térmico utilizando la correlación entre estaciones hidrometeorológicas, altitud y temperatura media anual, ajustado con la fórmula de mejor asociación.

Es importante destacar que, para este caso, solo se emplearon tres estaciones meteorológicas los cuales son Kayra, Paruro y Ccatca para obtener una mejor correlación.

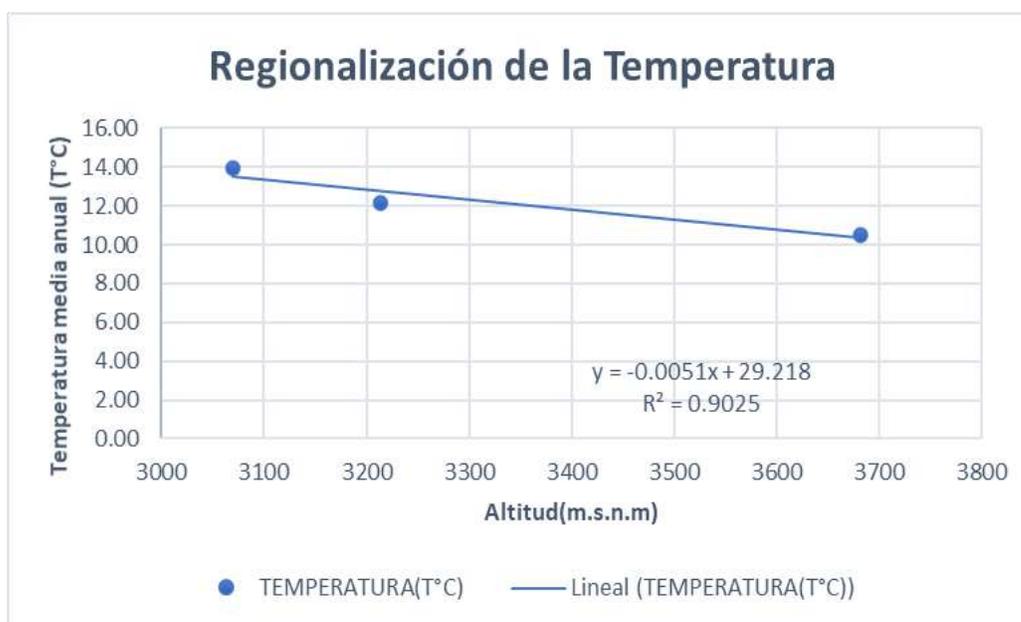
Tabla 54

Descripción de Puntos Meteorológicos con Datos de Temperatura Media Anual.

ESTACION	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (T° C)
Est. Kayra	3214	13°33'24.29"	71°52'30.61"	12.17
Est. Paruro	3070	13° 46' 1.1"	71° 50' 40.9"	13.95
Est. Ccatca	3681	13°36'35.6"	71°33'36.4"	10.51

Figura 68

Gráfico de ecuación de regionalización de temperatura



El promedio de la temperatura media mensual es de 12.2 °C, mientras que la temperatura media máxima alcanza los 20.4 °C y la temperatura media mínima desciende hasta los 4°C.

Tabla 55

Temperatura media mensual vs elevación.

MES/TEMPERATURA MEDIA														
Estación	Altitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
Cuenca de Ccolcayqui	m.s.n.m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	3791	7.0	7.0	6.4	4.5	1.5	-0.4		8.0	9.9	10.7	11.5	11.5	12.2

Tabla 56

Temperatura máxima mensual vs elevación.

MES/TEMPERATURA MAXIMA MEDIA														
Estación	Altitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
Cuenca de Ccolcayqui	m.s.n.m	°C												
	3791	19.5	19.5	19.7	20.4	20.5	20.1	20.1	20.8	21.1	21.3	21.5	20.4	20.4

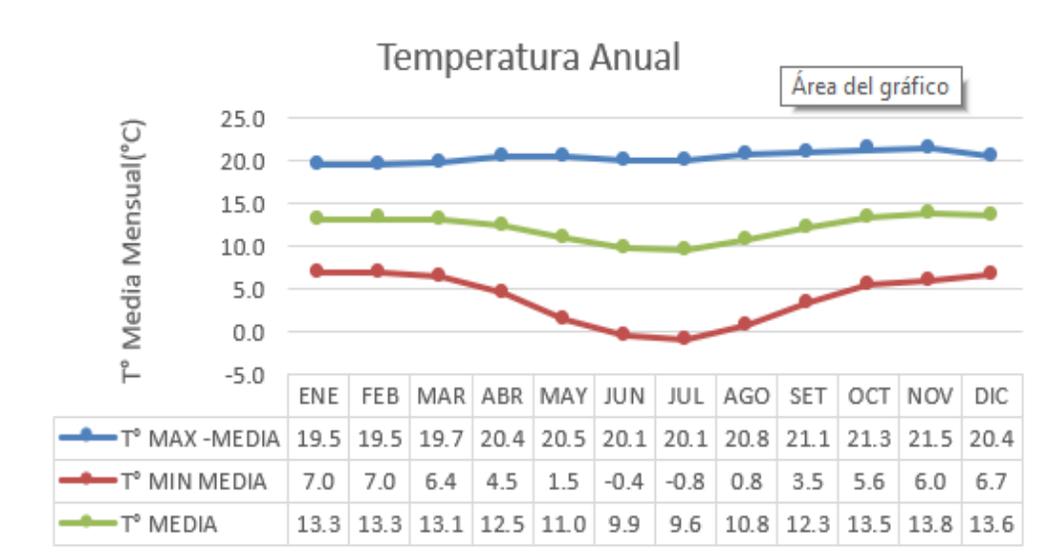
Tabla 57

Temperatura mínima mensual vs elevación.

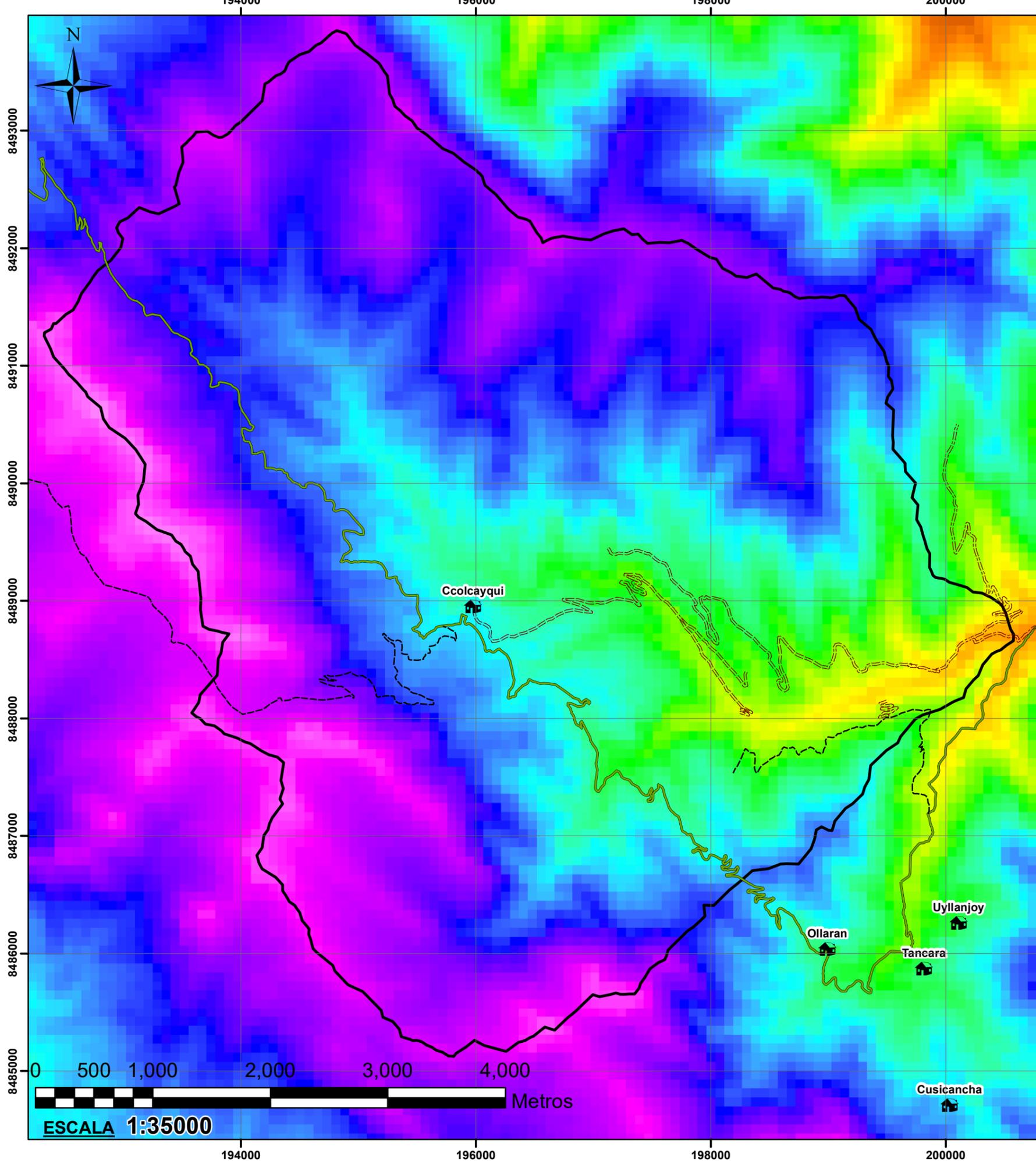
MES/TEMPERATURA MINIMA MEDIA														
Estación	Altitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
Cuenca de Ccolcayqui	m.s.n.m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	3791	7.0	7.0	6.4	4.5	1.5	-4.0	-0.8	0.8	3.5	5.6	6.0	6.7	4.0

Figura 69

Gráfico del análisis de temperatura



MAPA DE ISOTERMA DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - DIST. LUCRE - PROV. QUISPICANCHI - DEP. CUSCO



SIMBOLOGIA

- Centro Poblado Ccolcayqui
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- CUENCA

Leyenda

Umbrales de T° media.tif

Value



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa: MAPA DE ISOTERMA DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE-QUISPICANCHI			
Asesor: M.S.C. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicacion: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84	Escala: 1:35000	Lamina: P-12
	Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	Fecha: 2025	

6.7. Evapotranspiración

6.7.1. Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración (ETP) es el proceso por el cual el agua se transforma en vapor y se transfiere a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración de la vegetación, siempre que haya suficiente agua disponible. Se calculó usando los métodos de Thornthwaite y Holdridge, este último para definir zonas de vida.

6.7.1.1. Método de Thornthwaite

Para su cálculo, se necesitan registros de temperaturas medias mensuales y la evapotranspiración mensual, expresada en mm por mes, considerando un período de 30 días con lapso de 12 horas de duración diaria.

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

e = evapotranspiración mensual en mm por mes de 30 días, y 12 horas de duración.

t = temperatura media mensual en °C. = 9.8

I = índice térmico anual $I = \sum_{j=1}^{12} i_j \Rightarrow i = (t/5)^{1.514}$

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad.

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 0.01792I + 0.49239$$

Corregir el valor de e, de acuerdo con el mes considerado y según la latitud de la localidad, se determinan las horas del sol, cuyos valores se extraen de la tabla

$$ET_0 = f \times e$$

ET₀ = evapotranspiración de referencia mensual corregida, en mm.

f = factor de corrección.

e = evapotranspiración mensual sin corregir, en mm.

f = factor de corrección.

ET₀ = evapotranspiración de referencia mensual corregida, en mm.

Tabla 58*Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite*

Mes	Temperatura	Índice	ET _o	Factor f	ET _r mensual	ET _r diaria (mm)
Ene	10.89	3.249	53.855	1.12	60.318	1.95
Feb	10.76	3.193	53.221	0.98	52.157	1.86
Mar	10.83	3.223	53.571	1.05	56.25	1.81
Abr	10.56	3.1	52.158	0.98	51.114	1.7
May	8.85	2.373	43.464	0.98	42.595	1.37
Jun	7.48	1.84	36.533	0.94	34.341	1.14
Jul	6.95	1.645	33.838	0.97	32.823	1.06
Ago	8	2.037	39.159	1	39.159	1.26
Set	9.92	2.82	48.896	1	48.896	1.63
Oct	10.68	3.155	52.794	1.07	56.489	1.82
Nov	11.47	3.514	56.826	1.07	60.803	2.03
Dic	11.47	3.516	56.848	1.12	63.669	2.05

Índice térmico anual (I) = 33.6663

Exponente (a) = 1.03406

f = factor de corrección.

ET_o = evapotranspiración de referencia mensual corregida, en mm.

Figura 70*Método de Thornthwaite*

6.6.2. Evapotranspiración Real

6.6.2.1. Método de Turc

Turc desarrolló un modelo empírico para estimar la evapotranspiración utilizando la precipitación y la temperatura, pero su precisión es limitada en regiones con condiciones climáticas y topográficas distintas.

Tabla 59

Método de Turc

		Método de Turc											
Variable		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P° media anual	P	83.89	71.76	57.58	23.97	4.10	2.17	2.33	3.37	10.10	27.35	41.66	64.88
T° media anual	T°	10.89	10.76	10.83	10.56	8.85	7.48	6.95	8.00	9.92	10.68	11.47	11.47
	T3	1291.47	1245.77	1270.24	1177.58	693.15	418.51	335.70	512.00	976.19	1218.19	1509.00	1509.00
Coefficiente Térmico	L	636.82	631.29	634.26	622.88	555.91	507.93	490.54	525.60	596.81	627.91	662.20	662.20
	P2	7037.80	5149.19	3315.44	574.35	16.79	4.70	5.44	11.35	102.03	747.90	1735.66	4208.96
	L2	40554.04	39852.498	40228.821	38797.847	30903.338	25798.826	24062.470	27625.536	35618.167	39427.012	43850.907	43850.907
	P2/L2	0.017354	0.012921	0.008241	0.001480	0.000054	0.000018	0.000023	0.000041	0.000286	0.001897	0.003958	0.009598
	0.9+P2/L2	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91
	RAIZ	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Evapotranspiración Real (ETR)	Er	87.59	75.10	60.42	25.24	4.32	2.29	2.46	3.55	10.65	28.80	43.82	68.02

6.7. Escorrentía Superficial.

Una porción del agua de precipitación regresa a la atmósfera mediante evapotranspiración, otra se infiltra en el suelo y subsuelo, y el restante fluye superficialmente, formando corrientes que desembocan en ríos y arroyos.

El agua que no se infiltra ni se evapora se mide en porcentajes, y la escorrentía superficial se calcula usando el método de Justin, tenemos la siguiente ecuación:

$$Ce = \frac{0.183 * S^{0.157} * P^2}{160 + 9T}$$

Donde:

Ce: Escorrentía de la cuenca en mm. (Precipitación efectiva)

P: Precipitación promedio anual en (393.15 mm)

T: Temperatura media anual (12.2 °C)

S: Pendiente media de la cuenca (20.6%)

$$Ce = \frac{0.183 * 20.6^{0.157} * 393.15^2}{160 + 9(12.2)}$$

Ce = 168.57 mm que es altura media de agua precipitada que se escurre

% de Escurrimiento: (Ce/P) * 100

% de Escurrimiento: 183.25 mm/393.15 mm) * 100

% de Escurrimiento: 42.87 % de agua que se escurre

6.8. Infiltración.

Existen diversos métodos, tanto directos como indirectos, para calcular la infiltración. En este estudio, se aplicó una fórmula basada en la medición del caudal de aguas subterráneas que emergen como manantiales (m³/s), siguiendo el enfoque de Goicochea, resultando en la siguiente expresión:

$$I = \left(\frac{Qm \times t}{A} \right) \times 100$$

Donde:

I: altura de agua infiltrada anual (mm).

Qm: Caudal medio (m³/s).

T: Tiempo (31536000 seg.).

A: Superficie de la cuenca (40250000m²)

Aplicando la formula con los datos de la cuenca de estudio se tiene:

$$I = \left(\frac{4.6904 \times 31536000}{40250000} \right) \times 100$$

$$I = 367.49 \text{ mm/año}$$

6.9. Balance Hídrico de la Cuenca.

El propósito del balance hídrico de la cuenca es determinar las entradas y salidas de agua en la cuenca hidrogeológica, evaluando la recarga del acuífero. Para realizar este balance, se tomaron en cuenta los valores presentados en la Tabla 69, mientras que la evapotranspiración potencial se calculó utilizando el método Thornthwaite (ver tabla 59), considerando la superficie de la cuenca 40.25 km².

Figura 71
Balance hídrico de la cuenca Ccolcayqui según Thornthwaite

Field Capacity: Soil is NOT dry on first month of hydrological year

Water Reserve Values at Start of Hydrological Year:
 Input % Field Capacity % Field Capacity:
 Input Reserve Value Reserve Value:

First month of the hydrological year:

User input Data: P (precipitation) and PE (Potential evapotranspiration)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
P	83.89	71.76	57.58	23.97	4.10	2.17	2.33	3.37	10.10	27.35	41.66	64.88	393.16
PE	60.318	52.157	56.25	51.114	42.595	34.341	32.823	39.159	48.896	56.489	60.803	63.669	596.614
P-PE	23.572	19.603	1.33	-27.144	-38.495	-32.171	-30.493	-35.789	-38.796	-29.139	-19.143	1.211	-206.454
ST	64.8	64.8	64.8	37.656	0	0	0	0	0	0	0	1.211	233.267
DST	0	0	0	-27.144	-37.656	0	0	0	0	0	0	1.211	-63.589
AE	60.318	52.157	56.25	51.114	41.756	2.17	2.33	3.37	10.10	27.35	41.66	63.669	412.244
S	23.572	19.603	1.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44.505
D	0	0	0	0	-0.839	-32.171	-30.493	-35.789	-38.796	-29.139	-19.143	0	-186.370

$$D = Pp - Etp - S + DST$$

$$D = Pp - Etp - S + DST$$

$$D = -186.370$$

Donde:

P: Precipitación (en mm)

PE: Evapotranspiración potencial (en mm)

P-PE: Diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial

ST: Almacenamiento de agua en el suelo (en mm)

DST: Cambio en el almacenamiento de agua en el suelo

AE: Evapotranspiración real (en mm)

S: Excedente de agua (en mm)

D: Déficit hídrico (en mm)

El balance hídrico muestra un déficit de 186.37 de almacenamiento, representando el volumen de agua que falta para satisfacer las demandas potenciales de agua. En la tabla 69 y 70 se muestran los valores correspondientes a la evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración real.

Figura 72

Valores de evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración real.



Curva de evapotranspiración, precipitación y evapotranspiración

Capítulo VII: Geofísica

La prospección geofísica es una técnica utilizada para estudiar las propiedades físicas del subsuelo sin necesidad de excavar o perforar y son limpios y no alteran el medio ambiente. Este ensayo se basa fundamentalmente en la medición de diferentes parámetros geofísicos como es la conductividad eléctrica, la densidad, la velocidad de propagación de ondas sísmicas, el campo magnético, para identificar y mapear estructuras subterráneas, recursos naturales y características geológicas, entre los principales métodos se tiene:

- Método eléctrico
- Método magnético
- Método sísmico
- Método gravimétrico
- Método electromagnético

Para este estudio se decidió utilizar aplicación del Método Eléctrico, lo cual es una técnica empleada para analizar las propiedades eléctricas del subsuelo. Este método se basa en la medición de la resistividad eléctrica del subsuelo. Dichos métodos se basan en la evaluación de la resistividad o conductividad del suelo y se aplican para identificar estructuras geológicas, capas subterráneas, y acuíferos.

Para el método eléctrico se tiene varias configuraciones de electrodos para la investigación, cada configuración tiene sus características y es adecuada para distintas situaciones geológicas o profundidades de estudio que se describen a continuación:

Configuración Wenner: Esta configuración trata de cuatro electrodos que se colocan en línea recta y equidistantes entre sí. Dos electrodos se utilizan para inyectar corriente en el subsuelo (A y B) y los otros dos (M y N) miden la diferencia de potencial eléctrico.

Configuración Schulumberger: Es similar a la configuración Wenner, pero los electrodos de corriente (A y B) se colocan más alejados de los electrodos de potencial (M y N). La separación entre los electrodos de potencial es mucho menor que la separación entre los electrodos de corriente.

Configuración Dipolo: Los electrodos se agrupan en pares (dipolos), con un par de electrodos inyectando corriente (dipolo de corriente) y otro par midiendo la diferencia de potencial (dipolo de potencial). La distancia entre los dipolos es variable.

Configuración Polo – Dipolo: trata de un electrodo de corriente se coloca lejos del área de estudio (teóricamente a distancia infinita), mientras que el otro electrodo de corriente se coloca cerca de los electrodos de potencial, formando un dipolo.

Configuración Polo – Polo: Un electrodo de corriente y un electrodo de potencial se colocan lejos del área de estudio (teóricamente a distancia infinita), mientras que los otros dos se colocan en el área de interés.

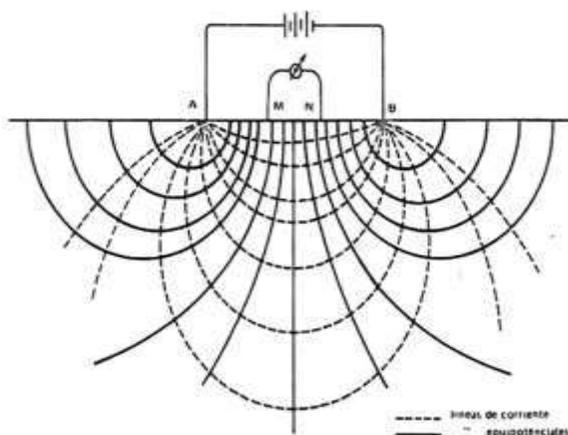
El método utilizado para la elaboración del proyecto fue el Método de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) lo cual tiene la finalidad en inferir la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales a sub-horizontales.

El método consiste en aplicar una corriente de intensidad definida (mA) en el subsuelo mediante dos electrodos A y B. Al mismo tiempo, se registra el potencial inducido (mV) utilizando dos electrodos impolarizables. La profundidad de exploración depende del espaciamiento entre los electrodos de corriente A y B. Los valores medios de resistividad

aparente en cada sondeo eléctrico vertical se representan gráficamente dependiendo de la distancia $AB/2$ entre los electrodos.

Figura 73

Comportamiento de la corriente inyectada en el subsuelo

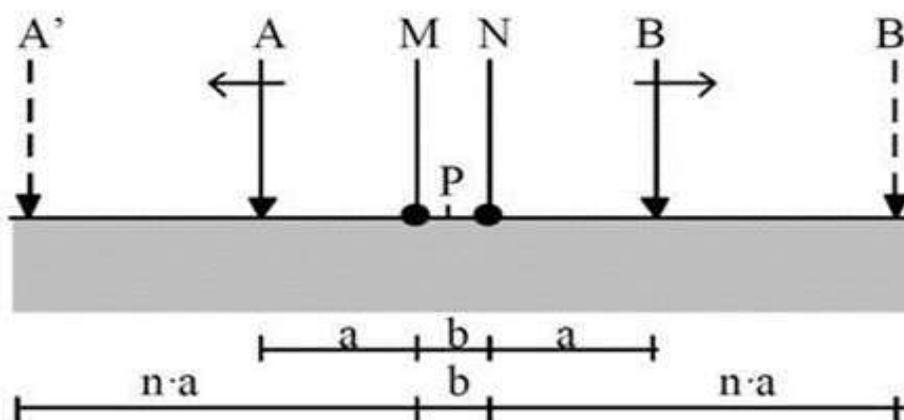


Fuente: <http://gruposynapse.mx/services/geofisica/>

7.1.Exploración Geofísico

Para este estudio se ha seleccionado la configuración Schlumberger AMNB con $AB \gg MN$ debido a su rapidez en la recopilación de datos. El sondeo consiste en separar gradualmente los electrodos inyectoros A y B manteniendo fijos los electrodos detectores M y N alrededor de un punto central fijo. La representación de este sondeo muestra en el eje vertical la ρ_a (Ohm-m) y en el eje horizontal la distancia $AB/2$ (m). En este tipo de sondeo de las heterogeneidades irrelevantes es menor, ya que sólo se desplazan los electrodos inyectoros A y B.

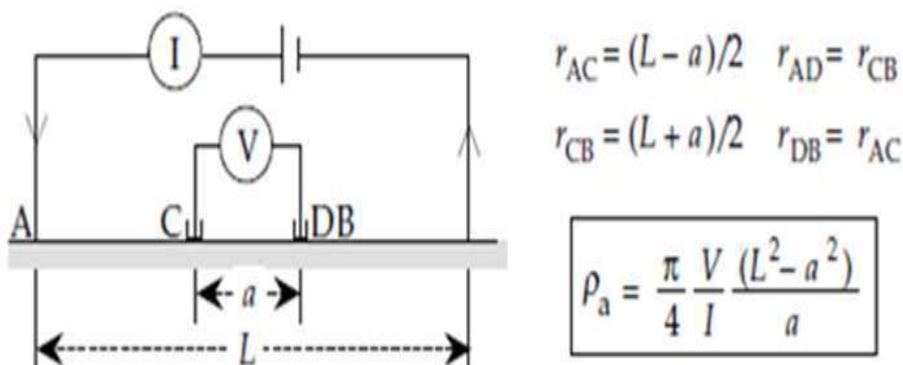
Figura 74 Esquema de Configuración Electrónica del Dispositivo Schlumberger



Fuente: <https://es.scribd.com/document/518366895/docdownloader-com-pdf-geofisica-orellana-prospecciones-geoelctrica-dd-43447516143a26fe530f6dceecb9b08b>

Figura 75

Geometría utilizada para el registro de los datos, Schlumberger.



Fuente: <https://es.scribd.com/document/439456505/Practica-de-Schlumberger>

En este estudio se empleó el sistema de electrodos de tipo "Schlumberger", considerando más apropiado para este tipo de prospección, debido a su alta resolución vertical y capacidad de investigación a mayor profundidad. Las resistividades aparentes obtenidas durante el estudio se

presentan en coordenadas bilogarítmicas a un gráfico contra la apertura de los electrodos transmisores AB/2. La curva resultante constituye el dato de campo que posteriormente se utiliza para la interpretación de los sondeos eléctricos verticales.

Este proceso se realiza mediante un software diseñado específicamente para este tipo de trabajos, el cual se utiliza sistemas numéricos complejos que implica iterar las numerosas soluciones posibles.

En cuanto a las resistividades de las rocas, se observa que algunas rocas no son buenas conductoras de corriente eléctrica, mientras que otras actúan prácticamente como aislantes debido a su composición mineralógica y a los fluidos presentes en los espacios intersticiales. Se presentan dos tipos de conducción de la corriente eléctrica en el subsuelo la primera la conducción electrolítica que se da por la presencia de fluidos en los espacios intersticiales, la segunda es la conducción iónica por la presencia de minerales metálicos como componentes de la roca.

7.2. Equipo Utilizado

El equipo utilizado fue un Transmisor MANGUSTA 96/EC con un alcance de prospección de 15 metros en profundidad.

Tabla 60

Materiales, equipos y herramientas

Equipo SEV	
Características	Marca: AMBROGEO Modelo: Mangusta 96/EC
Transmisor	Potencia: 250 WDC/DC Corriente: máx. 2A 05 electrodos de acero inoxidable 02 carretes de cable de 100 (AB)
Accesorios	02 rollos de cable amarillo de 50m. (MN) 01 GPS marca Garmin 02 combas de 3 Lbs. 02 winchas de 100 metros

Figura 76

Equipo Mangusta 96/EC



7.3.Exploración en Campo

Para la toma de datos tomados en campo se utilizó el software IPI2WIN, lo cual es un programa computarizado que permite verificar los datos de campo y realizar el control respectivo y debido que en él se realizan los cálculos rápidos de todas las variables eléctricas medidas y dar validez o indicar al operario corregir alguna medida.

Posteriormente al control de calidad los datos se pasan a otro software (RES1D), en el cual se realizará el proceso de inversión geofísica colocando valores máximos y mínimos obtenidos del control de calidad y realizando un máximo de 5 iteraciones, de acuerdo al menor

RMS obtenido (error medio cuadrático por sus siglas en inglés) para evitar desfases o sesgos de la información cruda; posteriormente se procede a definir las capas y valores de resistividad a partir de archivos con formato .INV para finalmente llevarlos a otro software (AUTOCAD) para poder generar los perfiles finales.

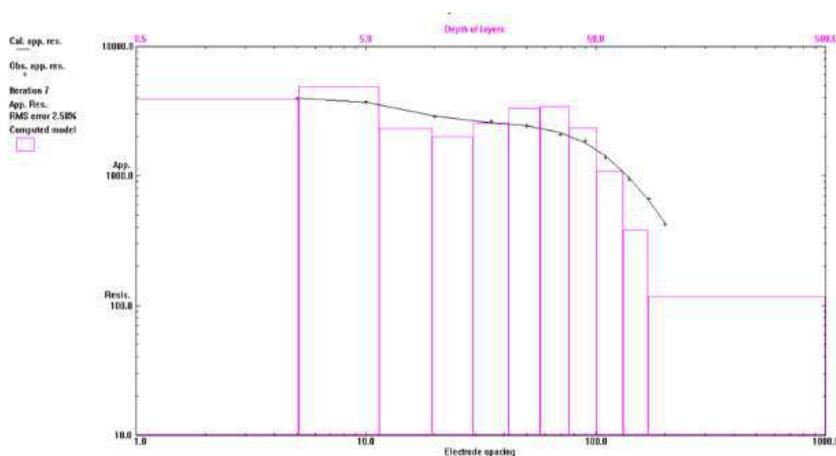
Tabla 61

Softwares usados para el control de datos y procesamiento de los datos geoeléctricos.

Software	Descripción	Productor
IPI2WIN	Control de Calidad y filtro de datos	
Prosys II	Generación de secuencias y filtro de datos	Iris instruments
RES1D	Procesamiento e Inversión de datos	Geotomo Software Sdn.
RES2DINV	Post procesamiento y filtración de datos	Geotomo Software Sdn.

Figura 77

Control de calidad de las curvas de resistividad con software IPI2WIN.



7.3.1. Ubicación de Puntos

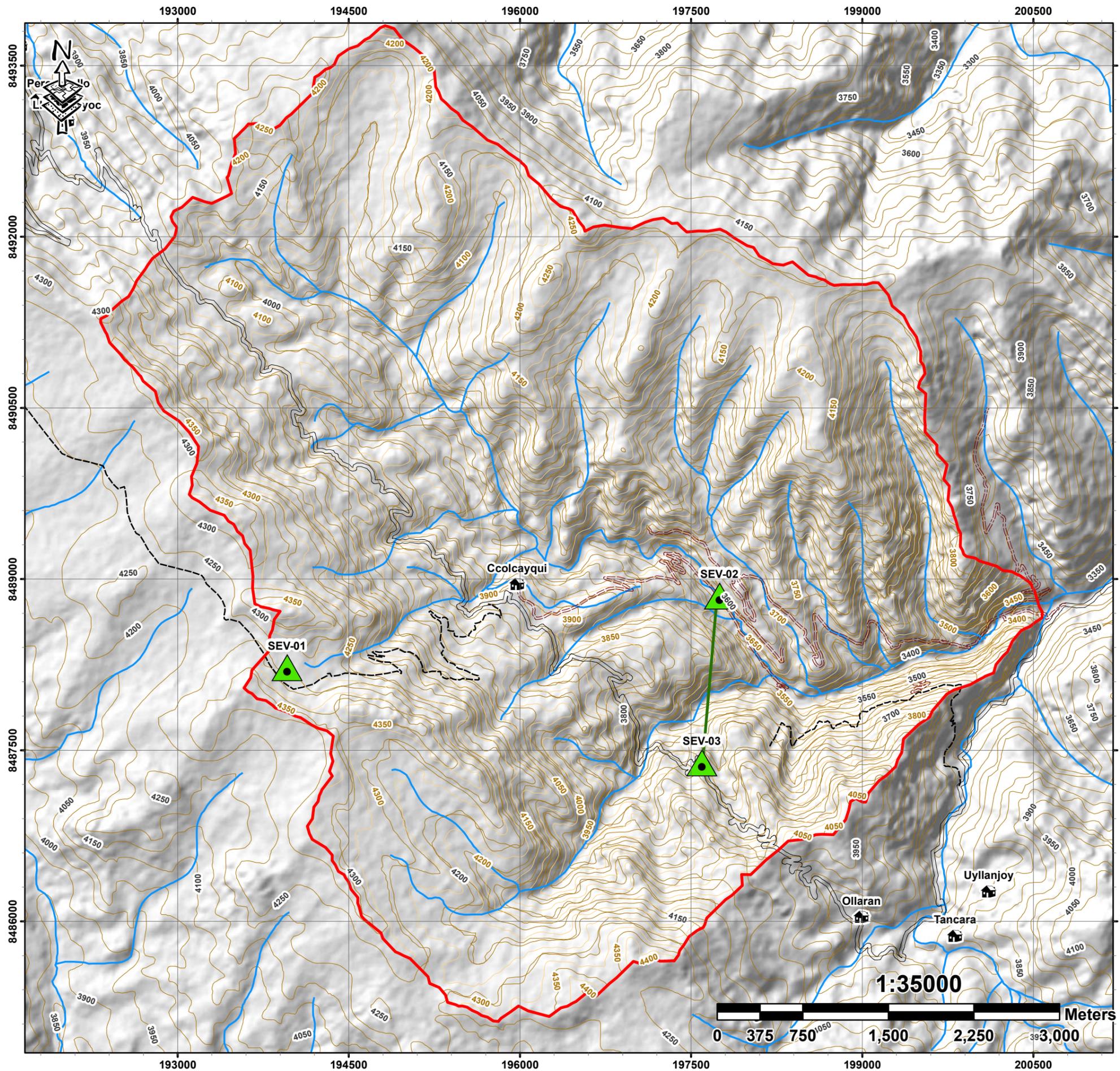
Se efectuaron 03 ensayos de SEVs, configurados con el de Schulumberger, con el fin de obtener los perfiles geoelectricos que se pueda identificar las secuencias estratigráficas, su espesor del sub suelo y calcular las fronteras con características hidráulicas del terreno a profundidad.

Tabla 62

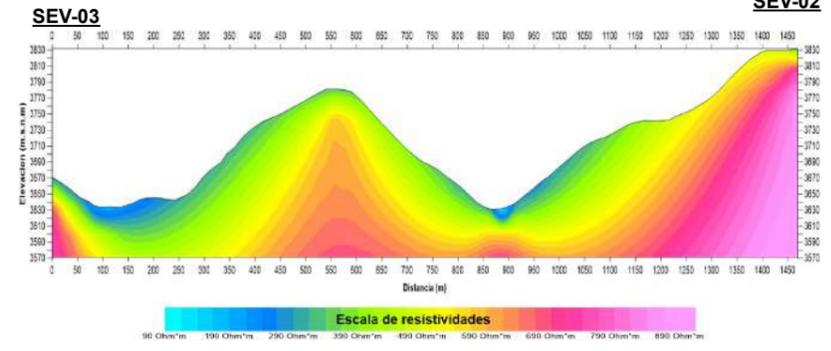
Coordenadas UTM del ensayo de Sondaje Eléctrico Vertical.

Puntos	Coordenadas UTM (WGS 84)		
	X	Y	Cota
SEV-01	193960.00	8488225.00	4245
SEV-02	197748.00	8488853.00	3631
SEV-03	197594.00	8487391.00	3818

PLANO DE GEOFÍSICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI



PERFIL GEOFÍSICO



Código	Coordenadas UTM	
	X	Y
SEV-01	193960.00	8488225.00
SEV-02	197748.00	8488853.00
SEV-03	197594.00	8487391.00

Simbología

- Puntos SEV
- Centros Poblados
- Perfil Geoeléctrico
- Cuenca Ccolcayqui
- Acceso**
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Drenaje
- Curvas de Nivel

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa:		MAPA DE GEOFÍSICO	
Asesor: M.S.C. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable:	Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY
Ubicación:		Datum:	Lamina:
Dep. CUSCO	Prov. QUISPICANCHI	WGS 84	INDICADA
Dist. LUCRE		Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	Fecha: 2025

7.4.Resultados de los Ensayos Obtenidos:

Tabla 63

Resultados obtenidos de los SEV en campo.

N°	Sondajes Eléctricos Verticales	Horizontes o Capas				
		R1 (Ohm-m)	R2 (Ohm-m)	R3 (Ohm-m)	R4 (Ohm-m)	R5 (Ohm-m)
		E1 (m)	E2 (m)	E3 (m)	E4 (m)	E5 (m)
1	SEV-01	252.0	81.0	933.0		
		3.3	16.2			
2	SEV-02	522.0	413.0	584.0	239.0	
		7.2	8.4	19.8		
3	SEV-03	34.0	28.0	262.0		
		12.3	23.7			

Donde:

R1: Valor de resistividad expresada en ohm-m

E1: Espesor de cada horizonte o capa expresado en metros.

SEV-01: Sondeo Eléctrico Vertical número uno.

Con el resultado de 03 Sondajes Eléctricos Verticales se ha generado 03 Columnas Geoeléctricas esquemática generalizada, se puede apreciar las diferentes variaciones de los horizontes geoeléctricos que se correlacionan con la litología existente en el subsuelo vinculado a la posible existencia y calidad del flujo subterráneo

7.4.1. Columna Geo eléctrica 01

Esta línea presenta tres (03) capas, las cuales se describen a continuación:

Horizonte 1: Está compuesta por material de resistividad intermedia (52 Ohm.m), presenta un espesor variable alrededor de 3.3 metros y está compuesto por material superficial con presencia de arenas, limos y/o gravas de menor tamaño, esta capa presenta un bajo contenido de humedad en su estructura debido a capilaridad e influencia de la segunda capa de mayor profundidad.

Horizonte 2: Compuesta por material de resistividad baja (81 Ohm.m), con un espesor variable alrededor de 16.2 metros, el cual estaría compuesto por un material posiblemente asociado a la Fm. Punacancha que sobre yace en discordancia erosional a la Fm. Soncco, con presencia de lutitas e intercaladas con niveles de areniscas, esta capa se infiere que su matriz fracturada que probablemente se consideraría como el acuífero de la zona de estudio debido a su bajo valor de resistividad.

Horizonte 3: Está compuesto por material de resistividad alta (de 933 Ohm.m), con un espesor indeterminado por ser la capa identificada de mayor profundidad, el cual estaría compuesto por material de mayor consolidación, posiblemente asociado a la presencia de capas de lutitas intercaladas con niveles areniscas moderadamente fracturadas en su estructura, esta última capa podría comportarse como un material impermeable que limitaría el posible acuífero de la zona de estudio.

Figura 78

Imagen satelital del SEV-01 con coordenadas (X=193960; Y=8488225).

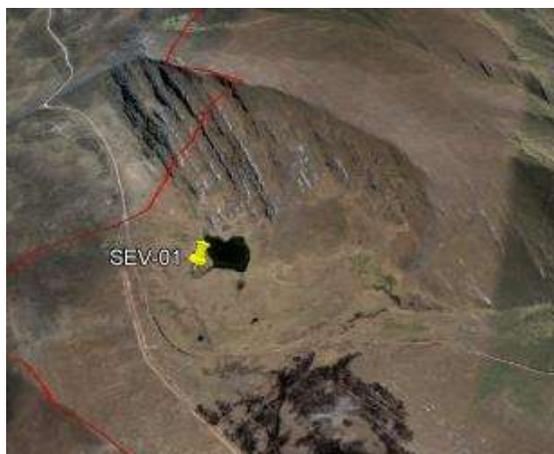
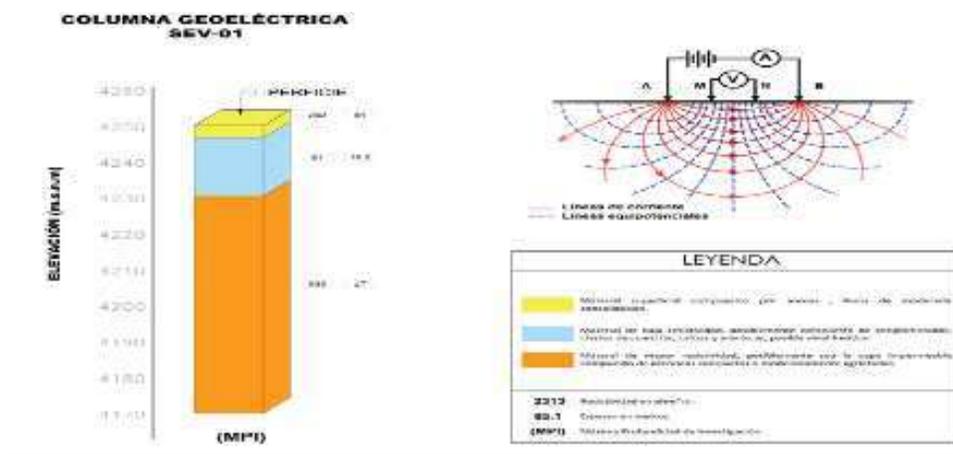


Figura 79

Columna Geoelectrica SEV-01.



7.4.2. Columna Geo eléctrica 02

Esta línea presenta tres (04) capas, las cuales se describen a continuación:

Horizonte 1: Compuesta por material de resistividad intermedia (22 Ohm.m), presenta un espesor variable alrededor de 7.2 metros y está compuesto por material superficial con presencia de areniscas con intercalaciones de lutitas con un alto grado de fracturamiento en su estructura, acompañado de material cuaternario.

Horizonte 2: Presenta material de resistividad intermedia (43 Ohm.m), con un espesor variable alrededor de 8.4 metros, el cual estaría compuesto por material suelto conformado por dep. coluviales compuesto arenas, arcillas con fragmentos de rocas.

Horizonte 3: Compuesta por material de resistividad intermedia a alta (384 Ohm.m), con un espesor variable alrededor de 19.8 metros, el cual estaría compuesto por un material posiblemente asociado a la Fm. Kayra que son depósitos de areniscas con mayor grado de consolidación, posiblemente en su estructura se pueda inferir la presencia de lutitas intercalando, presenta menor contenido de humedad.

Horizonte 4: Está compuesto por material de resistividad baja (de 239 Ohm.m), con un espesor indeterminado por ser la capa identificada de mayor profundidad, el cual estaría compuesto por material de menor consolidación o medianamente denso, su estructura posiblemente se encuentra fracturados asociados a la Fm. Kayra.

Figura 80

Columna Geoelectrica SEV-02.

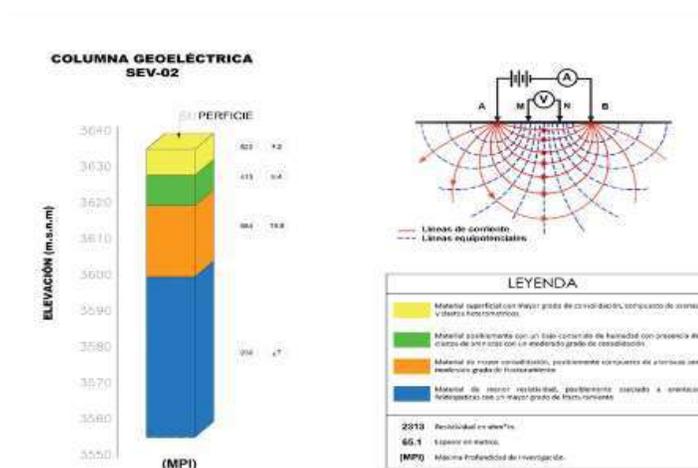


Figura 81

Imagen satelital del SEV-02 con coordenadas (X=197748; Y=8488225)



7.4.3. Columna Geo eléctrica 03

Esta línea presenta tres (03) capas, las cuales se describen a continuación:

Horizonte 1: Está compuesta por material de resistividad baja (34 Ohm.m), presenta un espesor variable alrededor de 12.3 metros y está compuesto por material sedimentario asociado a la Fm. Kayra como areniscas y lutitas con un alto grado de fracturamiento a sueltos en su estructura o posiblemente con un alto contenido de humedad debido a su baja resistividad.

Horizonte 2: Presenta un material de resistividad muy baja (de 28 Ohm.m), con un espesor aproximado de 23.7 metros, el cual estaría compuesto por un material suelto de menor resistividad posiblemente compuesto por areniscas feldespáticas intercaladas con lutitas con un mayor grado de fracturamiento en su estructura.

Horizonte 3: Compuesta por material de resistividad intermedia (262 Ohm.m), con un espesor variable alrededor de 19.8 metros, el cual estaría compuesto por un material posiblemente asociado a la Fm. Kayra compuesto por depósitos de areniscas intercaladas con lutitas con menor grado de fracturamiento a medianamente densos, presenta menor contenido de humedad en su estructura.

Figura 82

Columna Geoelectrica SEV-03

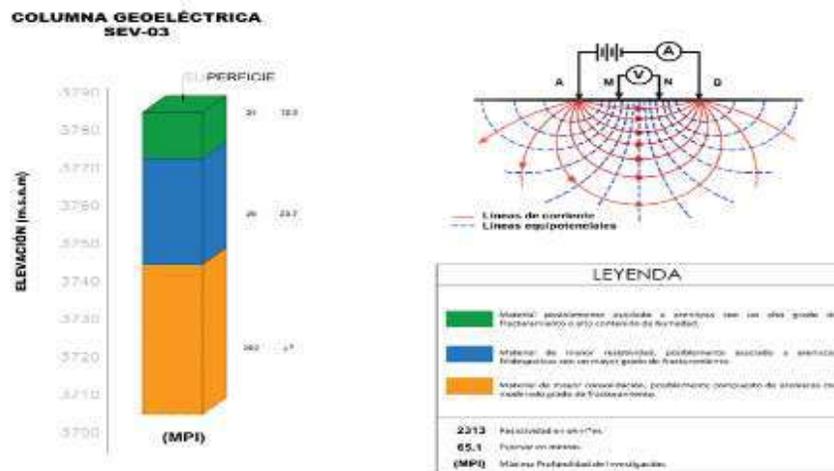


Figura 83

Imagen satelital del SEV-03 con coordenadas (X=197748; Y=8488225)



7.5. Interpretación de perfiles geoelectricos de configuración Schlumberge:

Se realizó e interpreto un perfil geoelectrico en base a resultados obtenidos de dos perfiles de SEV y se incremento otros dos SEV con la finalidad de poder hacer una correlación de los valores según su resistividad con la litología de la cuenca.

Lo cual se observa las variaciones en la resistividad según la profundidad del SEV.

7.5.1. Perfil Geoeléctrico A'-A

El perfil geoeléctrico A'-A con rumbo NE- SW, se realizó en base a dos sondajes SEV-02 y SEV-03, cuyo resultado se muestra en la siguiente figura.

Figura 84

Sección Geofísica entre el SEV-02 y SEV-03

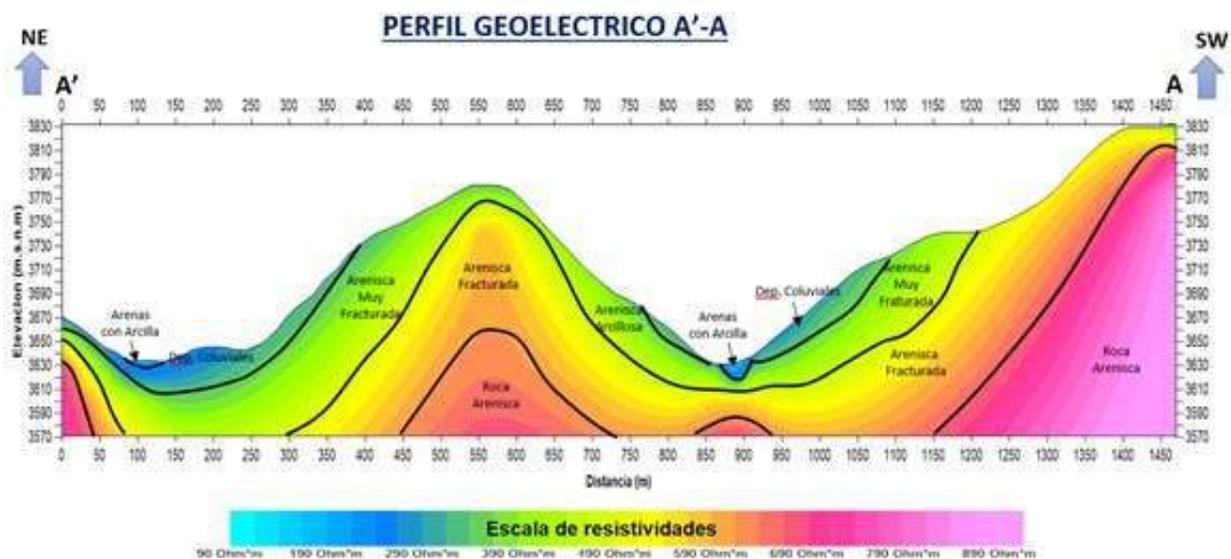
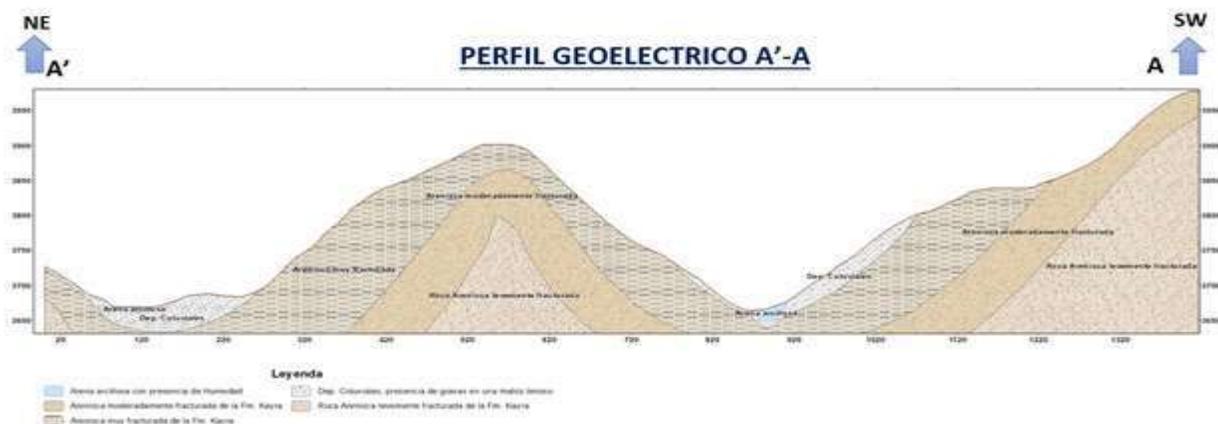


Figura 85

Sección Litológica entre el SEV-02 y SEV-03



7.6. Interpretación Geológica y Descripción de Resultados

En el perfil litológico del SEV-02 y SEV-03 (A'-A), se aprecia diferentes capas litológicas que son las siguientes:

Litología 1: Corresponde a una capa que comprende a los depósitos cuaternarios como los depósitos proluviales conformados por arenas arcillosas con una potencia de 5 metros aproximadamente.

Litología 2: corresponde a los depósitos coluviales conformado por gravas envueltas bajo una matriz limo arcillosa, con potencia de 7.2 metros aproximadamente.

Litología 3: corresponde a una capa de areniscas muy fracturadas con un espesor de 12.3 con una variación de espesor de 8.4 metros aproximadamente.

Litología 4: Corresponde a una capa de areniscas fracturadas con un espesor de 23.7 metros aproximadamente.

Litología 5: Corresponde a una capa de arenisca con un espesor de 19.8 metros a más en profundidad, el cual corresponde a la roca sedimentaria arenisca con fractura baja.

Capítulo VIII: Hidrogeología

Para poder desarrollar el estudio hidrogeológico de la Cuenca Ccolcayqui, se ha realizado una serie de recopilaciones de informaciones así como: formaciones geológicas, geomorfológicas, la estructural del lugar de estudio y también se realizó registro de fuentes hídricas, ensayos de permeabilidad en diferentes formaciones geológicas, en donde esta información obtenida nos permitirá evaluar el comportamiento físico, químico y mecánico de las aguas subterráneas y también poder determinar el flujo de agua, caudales en cada punto y la capacidad de almacenamiento de los acuíferos. En consecuencia, este estudio nos permite también analizar cómo el agua se recarga y se descarga en la cuenca de Ccolcayqui.

Este análisis involucra pruebas de campo y análisis de muestras de agua en laboratorio

8.1. Registro de Fuentes de agua

En el área de estudio se han detectado diversas fuentes hídricas, a través de un trabajo de reconocimiento directo en sitio, lo que ha permitido identificar veinte fuentes de agua.

Figura 86

Clasificación de las Fuentes Hídricas según su Caudal

<i>Categoría</i>	<i>Unidad</i>
<i>Primera</i>	<i>Superior a 2830</i>
<i>Segunda</i>	<i>283 - 2830</i>
<i>Tercera</i>	<i>28.30 - 283</i>
<i>Cuarta</i>	<i>10.0 - 28.3</i>
<i>Quinta</i>	<i>3.0 - 10.0</i>
<i>Sexta</i>	<i>1.0 - 3.0</i>

Fuente; MEIZER (1923)

Figura 87

Medición de caudal en el sector Tauca



En la fig. 85 se observa que el río tiene su origen en las zonas elevadas de la cuenca hidrográfica, formado por la confluencia de varios ríos tributarios. En su trayecto, recolecta aguas provenientes de las formaciones geológicas Punacancha, Soncco I, Soncco II, lo que evidencia su interacción con los materiales permeables y la descarga de aguas subterráneas asociadas a estas unidades.

Tabla 64

Inventario de fuentes de agua en los diferentes puntos de la cuenca Ccolcayqui Lucre.

Muestra	Codificación	UTM		Altitud	Sector/ Quebrada	Caudal (Ltr/seg)	Clasificación Meizer
		ZONA:19L					
		Este	Norte				
M-1	IFHM-1	197040	8487370	1381	Tauca	69.300	Tercera categoría
M-2	IFHM-2	196267	8488158	3841	Cullumayo	0.430	Séptima categoría
M-3	IFHM-3	196076	8488563	3867	Chihuacuyoc	1.750	Sexta categoría
M-4	IFHM-4	195551	8488660	3906	Ispac Rumiooc	0.951	Séptima categoría
M-5	IFHM-5	195451	8488755	3908	Ullpo	4.450	Quinta categoría
M-6	IFHM-6	194854	8489342	3907	Patococha	1.750	Sexta categoría
M-7	IFHM-7	194208	8490135	3992	Quinsacruz	1.685	Sexta categoría
M-8	IFHM-8	194119	8489342	4011	Percacollo	3.277	Quinta categoría
M-9	IFHM-9	193798	8491024	4009	Ccachopata	4.600	Quinta categoría
M-10	IFHM-10	193720	8492230	4019	Ushoabamba	1.250	Sexta categoría
M-11	IFHM-11	195781	8492165	4058	Cacllacancha	1.820	Sexta categoría
M-12	IFHM-12	195455	8490266	3868	Cacllacancha	1.950	Sexta categoría
M-13	IFHM-13	195309	8490023	3827	Yupani	2.643	Sexta categoría
M-14	IFHM-14	195828	8489381	3771	Yupani	1.984	Sexta categoría
M-15	IFHM-15	196069	8489384	3758	Ccesce	1.780	Sexta categoría
M-16	IFHM-16	196274	8489191	3729	Ccerceorco	5.840	Quinta categoría
M-17	IFHM-17	196710	8489387	3749	Pejaran	1.990	Sexta categoría
M-18	IFHM-18	198462	8488025	3525	Pejaran	2.750	Sexta categoría
M-19	IFHM-19	199100	8488167	3455	Quisuarcancha	2.550	Sexta categoría
M-20	IFHM-20	199838	8488462	3437	Misquimuyoc	1.250	Sexta categoría
M-21	IFHM-21	196676	8486991	3828	Tauca	0.27	Séptima categoría
M-22	IFHM-22	196554	8486697	3923	Tauca	0.1	Séptima categoría
M-23	IFHM-23	196721	8486985	3859	Tauca	0.09	Séptima categoría
M-24	IFHM-24	196729	8486997	3860	Tauca	0.2	Séptima categoría
M-25	IFHM-25	196839	8487271	3817	Tauca	2.6	Sexta categoría

Según la tabla mencionada previamente, no se encuentran manantiales de primera, segunda y cuarta categoría en la zona de estudio.

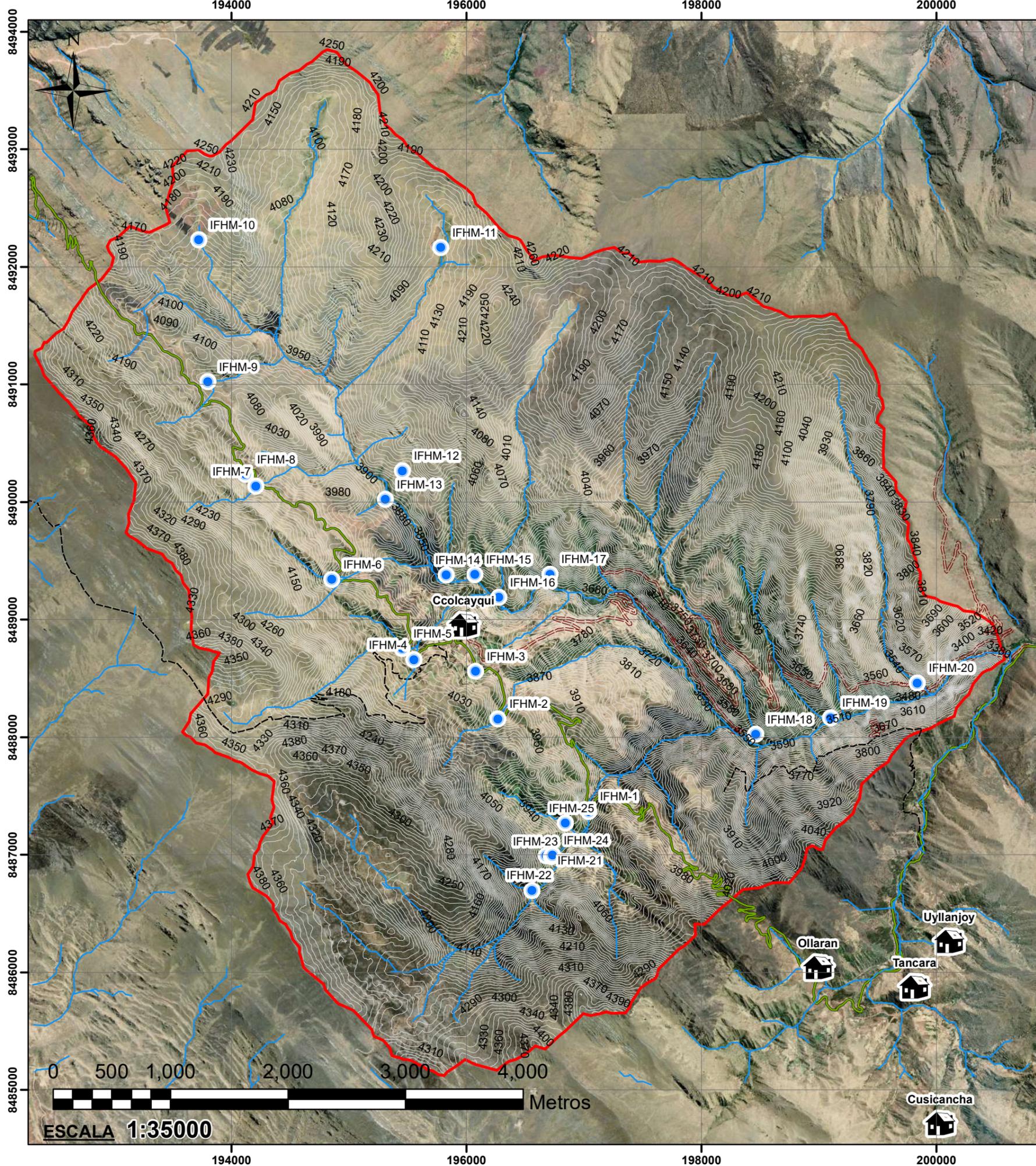
Los ríos y manantes del lugar de estudio se seleccionan de la siguiente manera:

- Un río de Tercera categoría, ubicado en la comunidad de Ccolcayqui, y registrado con el código IFHM -1, según la guía del ANA para inventariar las fuentes de agua, tiene un caudal de 69.3 litros/seg.
- Cuatro ríos de quinta categoría, identificados con códigos IFHM-5 en el Quebrada Hullpo, IFHM-8 en el sector Percacollo, IFHM-9 en el sector Cachopata, y IFHM-16 en el sector Ccesceorco.

- Diecisiete manantes y ríos de sexta categoría, identificados con códigos IFHM-3 en el sector Chihuacuyoc, IFHM-6 en el sector Patococha, IFHM-7 el sector Quinsacruz, IFHM-10 en Ushoabamba , IFHM-11 y IFHM -12 en el sector Caillacancha, IFHM-13 y IFHM-14 en el sector Yupani, IFHM-15 en el sector Ccescece , IFHM-17 y IFHM-18 en el sector Pejaran, IFHM-19 en el sector Quishuarcancha y IFHM-20 en el sector Misquiunuyoc, en mención con la guía ya obtenida de los inventarios de fuentes de agua del ANA, que cuentan con 1.750, 1.750, 1.685, 1.250, 1.820, 1.950, 2.643, 1.984, 1.780, 1.990, 2.750 y 2.550 Litros/Segundo respectivamente .
- Tres manantes de séptima categoría, manantes de séptima categoría, identificados con los siguientes códigos:IFHM-2 del sector Cullumayo, IFHM-21 al IFHM -24 del sector Taucca y IFHM-4 en el sector de Ispac Rumiyoq, de acuerdo con la guía para realizar inventarios de fuentes de agua subterránea del ANA, que cuentan con 0.43, 0.27, 0.1, 0.09, 0.2 y 0.951 litros/segundo respectivamente.

La caracterización hidrogeológica de la cuenca Ccolcayqui se realizó usando mapas geológicos, información sobre manantiales y las propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas. Con estos datos, pudimos crear un mapa hidrogeológico que divide las áreas según cómo las rocas y suelos facilita el flujo y la retención del agua subterránea.

MAPA DE INVENTARIO DE FUENTES HIDRICAS DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - DIST. LUCRE - PROV. QUISPICANCHI - DEP. CUSCO



Leyenda

- Centro Poblado Ccolcayqui
- Inventario de Fuentes Hidricas
- Drenaje
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Cuenca_Ccolcayqui
- Curvas de Nivel 10

INVENTARIO DE FUENTES HIDRICAS DE LA CUENCA CCOLCAYQUI

N°	COORDENADAS		Codigo_IFH	SECTOR
	Este	Norte		
1	197040	8487370	IFHM-1	Tauca
2	196267	8488158	IFHM-2	Tauca
3	196076	8488563	IFHM-3	Tauca
4	195551	8488660	IFHM-4	Tauca
5	195451	8488755	IFHM-5	Tauca
6	194854	8489342	IFHM-6	Tauca
7	194208	8490135	IFHM-7	Cullumayo
8	194119	8490236	IFHM-8	Chihuacuyoc
9	193798	8491024	IFHM-9	Ispac Rumioc
10	193720	8492230	IFHM-10	Ullpo
11	195781	8492165	IFHM-11	Patococha
12	195455	8490266	IFHM-12	Quinsacruz
13	195309	8490023	IFHM-13	Percacollo
14	195828	8489381	IFHM-14	Ccachopata
15	196069	8489384	IFHM-15	Ushoabamba
16	196274	8489191	IFHM-16	Cacllacancha
17	196710	8489387	IFHM-17	Cacllacancha
18	198462	8488025	IFHM-18	Yupani
19	199100	8488167	IFHM-19	Yupani
20	199838	8488462	IFHM-20	Ccesce
21	196677	8486991	IFHM-21	Ccerceorco
22	196555	8486697	IFHM-22	Pejaran
23	196722	8486985	IFHM-23	Pejaran
24	196730	8486997	IFHM-24	Quisuarcancha
25	196840	8487271	IFHM-25	Misquiunuyoc

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa: MAPA DE INVENTARIO DE MANANTES DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE-QUISPICANCHI			
Asesor: MSC. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicacion: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE		Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	
		Escala: 1:35000 Fecha: 2025	
			P-14

8.2. Evaluación de parámetros Hidrogeológicos

Los principales hidrogeológicos de un acuífero están determinados por la permeabilidad y la porosidad eficaz de las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio, las cuales influyen en la capacidad de almacenamiento y el movimiento del agua subterránea.

8.3. Porosidad.

8.3.1. Porosidad en suelos:

En relación con los lugares del medio geológico donde se almacena agua, podemos identificar diferentes tipos de formaciones rocosas. Estos espacios intersticiales se crean cuando se acumulan materiales que generan poros, lo cual está vinculado con la formación de la roca y se conoce como porosidad primaria, características de los materiales sedimentarios. Otra posibilidad es que fenómenos geológicos secundarios como la alteración, disolución o fracturación mecánica de la roca, den lugar a grietas o fisuras en el terreno, que actúan como conductos por donde el agua circula preferentemente

La porosidad es el porcentaje que presenta la proporción entre el volumen de poros o espacios vacíos de una muestra y su volumen total. Por ello, la porosidad total se puede calcular mediante una fórmula específica.

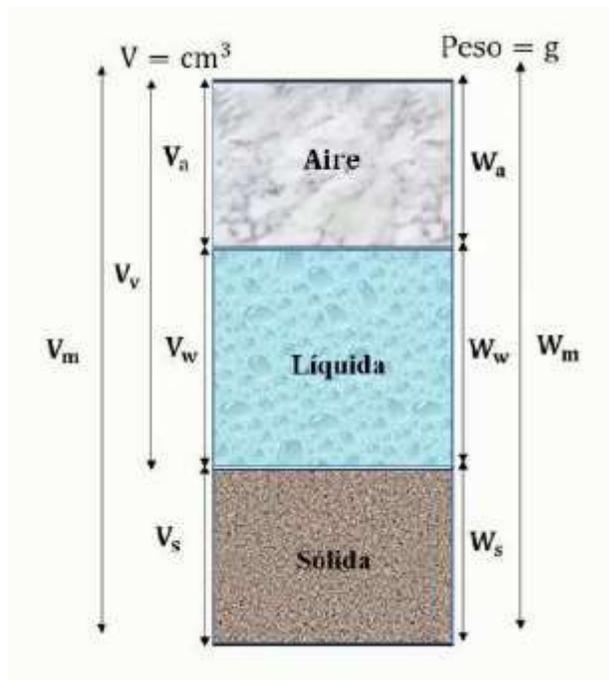
$$N_t = \frac{V_p}{V} * 100$$

Donde:

N_t = Porosidad total

V_p = Volumen de poros o vacíos

V = Volumen total

Figura 88*Relación de Volumen Vs Peso*

Fuente Mecánica de suelos y cimentaciones – Ing. Carlos Crespo (2004)

Cabe mencionar la porosidad total no es muy útil para entender cómo se mueve el agua, lo que nos importa es que los poros estén conectados entre sí, ya que eso permite que el agua fluya.

La porosidad efectiva, también conocida como porosidad eficaz, es la proporción entre el volumen de agua que puede fluir libremente y el volumen total de una muestra. Las reservas útiles de un acuífero dependen de la porosidad efectiva, también conocida como producción específica, la cual está determinada por la porosidad total y el grado de conexión entre los poros. Cuanto mejores estas conexiones, más similares serán la porosidad eficaz y la total.

Teniendo en cuenta el volumen total V y el volumen de los poros interconectados V_e , la porosidad eficaz se define como la siguiente relación:

$$Ne = \frac{Ve}{V}$$

Donde:

Ne: Porosidad eficaz o efectiva

Ve: Volumen de poros interconectados o volumen de agua

V: Volumen total

De lo mencionado anteriormente, tenemos la siguiente relación, la cual se utilizó en el cálculo de porosidad efectiva de varias muestras tomadas en el campo de estudio.

$$n = \frac{Ph - Ps}{V} * 100$$

Donde:

n: Porosidad (%)

Ph: Peso de la muestra húmeda. (SATURADA)

Ps: Peso de la muestra seca

V: Volumen

Observación: Cuando la muestra está completamente saturada, el volumen de aire es nulo, por lo que, en este caso específico, la porosidad total es igual a la porosidad efectiva (Nt=Ne).

En la zona de estudio para el cálculo de la porosidad, se sacaron cuatro muestras en la cuenca Ccolcayqui, luego se calculó la humedad (ASTM D-2216) y la muestra de peso especial (ASTM D 854-02) después se hicieron cálculos matemáticos para poder determinar la porosidad.

Tabla 65

Cálculo de la porosidad

Tipo de suelo	Porosidad total (%)	Porosidad Eficaz (%)
Arcilla	40-60	0-5
Limos	35 - 50	3 - 19
Arenas finas, arenas limosas	20 - 50	10 - 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 - 50	22 - 35
Grava	25 - 40	13 - 26
Esquisto intacto	1 - 10	0.5 - 5
Esquisto fracturado/alterado	30 - 50	-
Arenisca	5 - 35	0.5 - 10
Calizas, dolomías no carstificadas	0.1 - 25	0.1 - 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 - 50	5 - 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 - 1	0.005
Rocas ígneas u metamórficas fracturadas	1 - 10	0.00005 - 0.01

Fuente: Sanders 1998

Tabla 66

Estimación de la porosidad para la zona de estudio.

Medición del contenido de humedad						
Muestra	Unid	Muestra 1	Muestra 2			
Volumen recipiente conteniendo muestra	(V_m) cm ³	106	106	106	106	
Peso del Tarro	gr	41	41	41	41	
peso del T +Suelo Húmedo	gr	165.19	159.51	186.91	171.66	
peso del T +Suelo seco	gr	139.81	150.52	166.19	158.12	
Peso Suelo Húmedo	(W_m) gr	124.19	118.51	145.91	130.66	
Peso del Agua	(W_w) gr	25.38	8.99	20.72	13.54	
Peso del Suelo Seco	(W_s) gr	98.81	109.52	125.19	117.12	
Contenido de Humedad	W %	25.69	8.21	16.55	11.56	
PROMEDIO DE LA HUMEDAD	%		16.95		14.06	

Tabla 67

Determinación del peso específico y Porosidad

Determinación del peso específico y Porosidad				
Muestra		Unid	Muestra 1	Muestra 2
Peso específico del agua	γ_w	gr/cm ³	1.0000	1.0000
Peso específico del aire	γ_a	gr/cm ³	0.0012	0.0012
Peso específico del suelo	γ_s	gr/cm ³	1.1080	1.1890
Volumen de suelo	V_s	cm ³	91.3850	88.7400
Volumen de agua	V_w	cm ³	14.6150	17.2600
Volumen de aire	V_a	cm ³	0.0000	0.0000
Volumen de vacíos	V_v	cm ³	14.6150	17.2600
Relación de vacíos	e	cm ³	0.1599	0.1945
Porosidad	n	%	13.79%	16.28%
		Promedio n	16.6088	

Figura 89

Realizando ensayos de la humedad y peso específico de las muestras obtenidas en campo.



Tabla 68

Valores de porosidad de la roca

Material		Porosidad	
Tipo	Descripción	mt (%)	me(%)
Rocas sedimentarias coherentes	Areniscas	Entre 2 y 15	Entre 0 y 20
	Calizas	Entre 10 y 30	Entre 0.5 y 20
	Aluviones	Entre 20 y 40	Entre 5 y 35
Rocas sedimentarias incoherentes	Gravas	Entre 25 y 40	Entre 15 y 35
	Arena	Entre 20 y 45	Entre 10 y 35
	Depósitos glaciares	Entre 15 y 35	Entre 5 y 30
	Limo	Entre 35 y 50	Entre 2 y 20
	Arcillas	Entre 40 y 60	Entre 0 y 10

Fuente: J. Pulido (1978)

Tabla 69

Determinación de porosidad efectiva en la formación Kayra

MUESTRA 1	Ph (gr)	Ps (gr)	Vol.	n (%)	Promedio.
1	400.00	390.20	166.67	5.88	5%
2	425.14	416.34	193.25	4.55	

Tabla 70

Determinación de porosidad efectiva para la formación Soncco I

MUESTRA 2	Ph(gr)	Ps(gr)	V	n (%)	PROMEDIO
1	500.01	482.86	227.28	7.55	8%
2	480.31	460.41	218.32	9.11	

Tabla 71

Determinación de porosidad efectiva de la formación Soncco II

MUESTRA 3	Ph(gr)	Ps(gr)	Vol.	n (%)	PROMEDIO
1	1100.16	1031.01	478.33	14.46	15%
2	875.75	815.80	380.76	15.74	

Tabla 72

Determinación de porosidad efectiva para la formación Punacancha

MUESTRA 4	Ph(gr)	Ps(gr)	Vol.	n (%)	PROMEDIO
1	548.42	529.15	203.12	9.49	11%
2	329.14	314.88	121.90	11.70	

Figura 90*Ensayos de humedad de las muestras de rocas tomadas en campo.*

8.4. Permeabilidad

Se refiere a la facilidad del acuífero, permitiendo que el agua pase a través de las fracturas, donde está condicionado por las propiedades porosas, el tamaño, la forma y colocación de partículas, compresión y las características del fluido. Por ende, es el parámetro más importante el que describe las propiedades del agua del material y determina las variaciones más grandes según el material.

Para identificar que formaciones geológicas tienen características permeables en la cuenca Ccolcayqui, se tomó en cuenta la permeabilidad vertical. Por ello, se llevaron a cabo ensayos de infiltración puntual para medir la conductividad hidráulica de las rocas y suelos.

Tabla 73

Clasificación de terrenos por la permeabilidad según Benítez.

VALORES(m/día)	PERMEABILIDAD										
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación del acuífero	Acuícludo		Acuífardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta granito		Limo arenoso limo Arcilla limosa		Arena fina arena limosa caliza Fracturado		Arena limpia grava y arena fina		grava limpia		

Fuente: Custodio, E. & Llamas, M. (1983). Hidrología subterránea

Tabla 74

Clasificación de la permeabilidad según Silin Bekchurin para terrenos no consolidados

Material	K (cm/s)	K (m/día)
Grava Limpia	>1	>1000
Arena gruesa limpia	$1 \text{ a } 10^{-2}$	1000 a 10
Mezcla de arena	$10^{-2} \text{ a } 5 \cdot 10^{-3}$	10 a 5
Arena fina	$5 \cdot 10^{-3} \text{ a } 10^{-3}$	5 a 1
Arena limosa	$2 \cdot 10^{-4} \text{ a } 10^{-4}$	2 a 0.1
Limo	$5 \cdot 10^{-4} \text{ a } 10^{-5}$	0.5 a 0.001
Arcilla	$< 10^{-6}$	< 0.001

Fuente: Custodio, E. & Llamas, M. (1983). Hidrología subterránea

Se realizaron trece ensayos de permeabilidad mediante el método de Lefranc a carga constante para obtener los valores directamente en campo. Los resultados fueron contrastados con la tabla convencional de permeabilidad. (Tabla 73)

Tabla 75

Resumen de Valores de Permeabilidad

Nº	Este	Norte	Tipo	Permeabilidad(K)-m/d
1	198040	8486749	Peo-so I	0.09
2	197038	8487367	Peo-so II	8.82
3	195665	8487642	Qh - pl	0.55
4	194326	8488009	Nom-pu	13.7500
5	195158	8488280	Peo-so II	3.05
6	193759	8489992	Peo - so II	2.91
7	193148	8490704	Peo - so II	26.0100
8	195489	8490715	Peo-ky	12.3283
9	199886	8488403	Peo - ky	0.94
10	200152	8488652	Qh - co	1.22
11	196700	8487186	Peo-so II	0.33
12	196785	8486862	Peo-so II	0.11
13	196914	8487395	Peo-so I	0.0028

8.4.1. Permeabilidad en materiales no consolidados

El ensayo de carga variable Lefranc mide el ascenso del nivel de agua en un pozo para calcular.

Ensayo Lefranc Con Nivel Variable

Este ensayo se realiza llenando agua la camisa hasta alcanzar una altura inicial h_1 , sobre el nivel freático y midiendo el tiempo que demora el agua en descender desde h_1 hasta una altura final h_2 , ambas relacionadas al nivel freático, a lo largo de un intervalo de tiempo t .

Se aplica la siguiente formula

$$K = \frac{2\pi R}{11 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Donde:

R: radio de la camisa

h_1, h_2 : Altura del agua al principio y al final de ensayo.

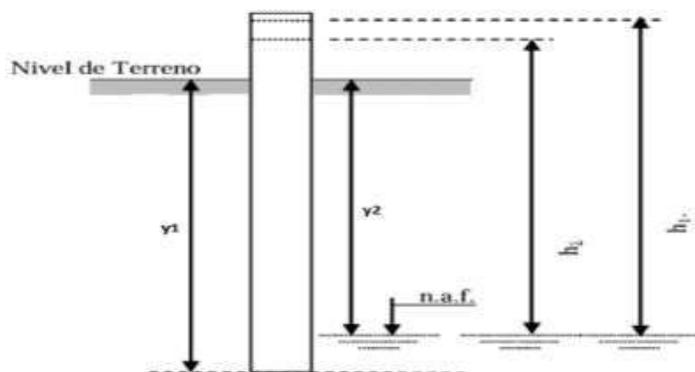
t: Tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2

y_1 : altura de la profundidad del tubo hasta el nivel del terreno

y_2 : altura del nivel freático al nivel del terreno.

Figura 91

Ensayo de Lefranc con nivel variable



Fuente: <https://es.scribd.com/document/688409101/Metodo-Lefranc>

Para los ensayos de campo realizados en esta investigación, se aplicó el método de Lefranc con nivel variable. Asimismo, las formaciones geológicas fueron clasificadas y caracterizadas como unidades hidrogeológicas, tomando como referencia la siguiente tabla recopilada de diversos autores, que se pasara a detallar en la parte de anexos de nuestro trabajo.

Figura 92

Realización del ensayo de Permeabilidad de Lefranc de Carga Variable



En la fig. 90 se realizó la prueba de Lefranc con nivel variable, utilizando un tubo conectado al terreno y una jarra de agua como fluido de prueba, lo cual está ubicada en el sector Tauca donde nos ayuda a determinar la permeabilidad, analizando la rapidez de disminución del nivel de agua la tubería con respecto al tiempo.

Figura 93

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-002

Proyecto: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."								
Ubicación:		Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi			
Fecha		7/07/2024		Cordenadas		Este	Norte	
Zona		Com. Ccolcayqui				197038	8487367	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU (Metodo de carga variable)								
		D	Diametro (cm):	5.08	$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$			
		L	Altura (cm):	100.00				
		R	Radio del tubo	2.54				
		C	C (1/cm):	0.008				
N°	Codigo	tiempo	Perdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observacion (H)	Factor de forma (C)	Area de la sección circular de la perforacion (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d
1	EPMC-002	10 s	30.00 cm	85.00 cm	0.008	20.268 cm ²	1.02E-02 cm/s	8.85E+00 m/d
		10 s	29.00 cm	85.50 cm	0.008	20.268 cm ²	9.90E-03 cm/s	8.55E+00 m/d
		10 s	30.00 cm	85.00 cm	0.008	20.268 cm ²	1.02E-02 cm/s	8.85E+00 m/d
		10 s	29.50 cm	85.25 cm	0.008	20.268 cm ²	1.01E-02 cm/s	8.70E+00 m/d
		10 s	31.00 cm	84.50 cm	0.008	20.268 cm ²	1.06E-02 cm/s	9.14E+00 m/d
						PROMEDIO	1.02E-02 cm/s	8.82E+00 m/d
Resultados								
Calificacion	Permeable			Calificacion de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina

Figura 94

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-003

Proyecto: "ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."								
Ubicación:		Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi			
Fecha		7/07/2024		Cordenadas		Este	Norte	
Zona		Com. Ccolcayqui				195665	8487642	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU (Metodo de carga variable)								
		D	Diametro (cm):	5.08	$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$			
		L	Altura (cm):	100.00				
		R	Radio del tubo	2.54				
		C	C (1/cm):	0.008				
N°	Codigo	tiempo	Perdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observacion (H)	Factor de forma (C)	Area de la sección circular de la perforacion (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d
2	EPMC-003	10 s	2.00 cm	99.00 cm	0.008	20.268 cm ²	6.83E-04 cm/s	5.90E-01 m/d
		10 s	2.00 cm	99.00 cm	0.008	20.268 cm ²	6.83E-04 cm/s	5.90E-01 m/d
		10 s	1.80 cm	99.10 cm	0.008	20.268 cm ²	6.14E-04 cm/s	5.31E-01 m/d
		10 s	1.80 cm	99.10 cm	0.008	20.268 cm ²	6.14E-04 cm/s	5.31E-01 m/d
		10 s	1.85 cm	99.08 cm	0.008	20.268 cm ²	6.31E-04 cm/s	5.46E-01 m/d
		10 s	1.75 cm	99.13 cm	0.008	20.268 cm ²	5.97E-04 cm/s	5.16E-01 m/d
		10 s	1.81 cm	99.10 cm	0.008	20.268 cm ²	6.18E-04 cm/s	5.34E-01 m/d
		10 s	1.79 cm	99.11 cm	0.008	20.268 cm ²	6.11E-04 cm/s	5.28E-01 m/d
		10 s	1.86 cm	99.07 cm	0.008	20.268 cm ²	6.35E-04 cm/s	5.49E-01 m/d
						PROMEDIO	6.32E-04	5.46E-01 m/d
Resultados								
Calificacion	Permeable			Calificacion de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina

Figura 95

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-005

Proyecto:		"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."						
Ubicación:		Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi			
Fecha:		7/07/2024		Cordenadas	Este			Norte
Zona:		Com. Ccolcayqui			195158			8488280
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU								
(Método de carga variable)								
	D	Diámetro (cm):		5.08	$k = \frac{2rC \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$			
	L	Altura (cm):		100.00				
		Radio del tubo:		2.54				
	C	C (1/cm):		0.008				
N°	Código	tiempo	Pérdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observación (H)	Factor de forma (C)	Área de la sección circular de la perforación (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d
3	EPMC-005	10 s	24.00 cm	88.00 cm	0.008	20.268 cm ²	8.19E-03 cm/s	7.08E+00 m/d
		10 s	16.50 cm	91.75 cm	0.008	20.268 cm ²	5.63E-03 cm/s	4.87E+00 m/d
		10 s	15.90 cm	92.05 cm	0.008	20.268 cm ²	5.43E-03 cm/s	4.69E+00 m/d
		10 s	13.60 cm	93.20 cm	0.008	20.268 cm ²	4.64E-03 cm/s	4.01E+00 m/d
		10 s	15.00 cm	92.50 cm	0.008	20.268 cm ²	5.12E-03 cm/s	4.42E+00 m/d
		10 s	15.00 cm	92.50 cm	0.008	20.268 cm ²	5.12E-03 cm/s	4.42E+00 m/d
		10 s	15.80 cm	92.10 cm	0.008	20.268 cm ²	5.39E-03 cm/s	4.66E+00 m/d
Resultados						PROMEDIO	5.65E-03 cm/s	4.88E+00 m/d
Calificación	Permeable		Calificación de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina	

Figura 96

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-006

Proyecto:		"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."						
Ubicación:		Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi			
Fecha:		7/07/2024		Cordenadas	Este			Norte
Zona:		Com. Ccolcayqui			193759			8489992
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU								
(Método de carga variable)								
	D	Diámetro (cm):		5.08	$k = \frac{2rC \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$			
	L	Altura (cm):		100.00				
		Radio del tubo:		2.54				
	C	C (1/cm):		0.008				
N°	Código	tiempo	Pérdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observación (H)	Factor de forma (C)	Área de la sección circular de la perforación (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d
4	EPMC-006	10 s	9.60 cm	95.20 cm	0.008	20.268 cm ²	3.28E-03 cm/s	2.83E+00 m/d
		10 s	9.90 cm	95.05 cm	0.008	20.268 cm ²	3.38E-03 cm/s	2.92E+00 m/d
		10 s	10.30 cm	94.85 cm	0.008	20.268 cm ²	3.52E-03 cm/s	3.04E+00 m/d
		10 s	9.97 cm	95.02 cm	0.008	20.268 cm ²	3.40E-03 cm/s	2.94E+00 m/d
		10 s	11.10 cm	94.45 cm	0.008	20.268 cm ²	3.79E-03 cm/s	3.27E+00 m/d
		10 s	8.40 cm	95.80 cm	0.008	20.268 cm ²	2.87E-03 cm/s	2.48E+00 m/d
		10 s	9.00 cm	95.50 cm	0.008	20.268 cm ²	3.07E-03 cm/s	2.65E+00 m/d
		10 s	11.60 cm	94.20 cm	0.008	20.268 cm ²	3.96E-03 cm/s	3.42E+00 m/d
		10 s	9.10 cm	95.45 cm	0.008	20.268 cm ²	3.11E-03 cm/s	2.68E+00 m/d
		10 s	9.80 cm	95.10 cm	0.008	20.268 cm ²	3.35E-03 cm/s	2.89E+00 m/d
		10 s	9.75 cm	95.13 cm	0.008	20.268 cm ²	3.33E-03 cm/s	2.88E+00 m/d
		Resultados						PROMEDIO
Calificación	Permeable		Calificación de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina	

Figura 97

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-009

Proyecto:		"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."							
Ubicación:	Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi					
Fecha	7/07/2024		Cordenadas	Este	Norte				
Zona	Com. Ccolcayqui		199886	8488403					
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU									
(Método de carga variable)									
	D	Diámetro (cm):		5.00	$k = \frac{2.3 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - R^2})}{L}$				
	L	Altura (cm):		100.00					
	R	Radio del tubo:		2.54					
	C	C (1/cm):		0.008					
N°	Código	tiempo	Pérdida de carga hidráulica (Δh)	Carga hidráulica promedio en cada observación (H)	Factor de forma (C)	Área de la sección circular de la perforación (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d	
5	EPMC-009	20 s	6.20 cm	96.90 cm	0.008	20.268 cm ²	1.06E-03 cm/s	9.14E-01 m/d	
		20 s	5.00 cm	97.50 cm	0.008	20.268 cm ²	8.53E-04 cm/s	7.37E-01 m/d	
		20 s	6.00 cm	97.00 cm	0.008	20.268 cm ²	1.02E-03 cm/s	8.85E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	7.00 cm	96.50 cm	0.008	20.268 cm ²	1.19E-03 cm/s	1.03E+00 m/d	
		20 s	8.00 cm	96.00 cm	0.008	20.268 cm ²	1.37E-03 cm/s	1.18E+00 m/d	
		20 s	5.33 cm	97.33 cm	0.008	20.268 cm ²	9.10E-04 cm/s	7.86E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		20 s	6.50 cm	96.75 cm	0.008	20.268 cm ²	1.11E-03 cm/s	9.59E-01 m/d	
		Resultados							PROMEDIO
Calificación	Permeable			Calificación de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina	

Figura 98

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-010

Proyecto:		"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."							
Ubicación:	Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi					
Fecha	14/07/2024		Cordenadas	Este	Norte				
Zona	Com. Ccolcayqui		200152	8488652					
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU									
(Método de carga variable)									
	D	Diámetro (cm):		5.00	$k = \frac{2.3 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - R^2})}{L}$				
	L	Altura (cm):		33.00					
	R	Radio del tubo:		2.54					
	C	C (1/cm):		0.020					
N°	Nombre	tiempo	Pérdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observación (H)	Factor de forma (C)	Área de la sección circular de la perforación (A)	Coefficiente de permeabilidad (k)	Permeabilidad m/d	
6	EPMC-010	60 s	7.50 cm	29.25 cm	0.020	20.268 cm ²	3.09E-03 cm/s	2.67E+00 m/d	
		60 s	4.50 cm	30.75 cm	0.020	20.268 cm ²	1.86E-03 cm/s	1.60E+00 m/d	
		60 s	3.90 cm	31.05 cm	0.020	20.268 cm ²	1.61E-03 cm/s	1.39E+00 m/d	
		60 s	3.10 cm	31.45 cm	0.020	20.268 cm ²	1.28E-03 cm/s	1.11E+00 m/d	
		60 s	2.20 cm	31.90 cm	0.020	20.268 cm ²	9.08E-04 cm/s	7.84E-01 m/d	
		60 s	2.90 cm	31.55 cm	0.020	20.268 cm ²	1.20E-03 cm/s	1.03E+00 m/d	
		60 s	2.40 cm	31.80 cm	0.020	20.268 cm ²	9.90E-04 cm/s	8.55E-01 m/d	
		60 s	2.10 cm	31.95 cm	0.020	20.268 cm ²	8.66E-04 cm/s	7.49E-01 m/d	
		60 s	2.10 cm	31.95 cm	0.020	20.268 cm ²	8.66E-04 cm/s	7.49E-01 m/d	
Resultados							PROMEDIO	1.41E-03 cm/s	1.22E+00 m/d
Calificación	Permeable			Calificación de acuífero	Acuífero de medio a bueno		Tipo de material	Arena limpia, grava y arena fina	

Figura 99

Prueba de permeabilidad mediante el método de carga variable EPMC-013

Proyecto:		"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA COLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023."							
Ubicación:		Distrito	Lucre	Provincia	Quispicanchi				
Fecha		7/07/2024		Este		Norte			
Zona		Com. Colcayquí		Cordenadas		196914	8487395		
ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU									
	D	Diametro (cm):	5.08	$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{1 \times H}$ $C = \frac{0.366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$					
	L	Alura (cm):	70.00						
	R	Radio del tubo	2.54						
	C	C (1/cm):	0.011						
									
N°	Codigo	tiempo	Pérdida de carga hidráulica (ΔH)	Carga hidráulica promedio en cada observación (H)	Factor de forma (C)	Area de la sección circular de la perforación (A)	Coefficiente de permeabilidad (k) cm/s	Coefficiente de permeabilidad (k) m/d	
9	EPMC-013	300 s	0.25 cm	69.88 cm	0.011	20.268 cm ²	5.41E-06 cm/s	4.68E-03 m/d	
		300 s	0.20 cm	69.90 cm	0.011	20.268 cm ²	4.33E-06 cm/s	3.74E-03 m/d	
		300 s	0.15 cm	69.93 cm	0.011	20.268 cm ²	3.25E-06 cm/s	2.81E-03 m/d	
		300 s	0.10 cm	69.95 cm	0.011	20.268 cm ²	2.17E-06 cm/s	1.87E-03 m/d	
		300 s	0.16 cm	69.92 cm	0.011	20.268 cm ²	3.46E-06 cm/s	2.99E-03 m/d	
		300 s	0.10 cm	69.95 cm	0.011	20.268 cm ²	2.17E-06 cm/s	1.87E-03 m/d	
		300 s	0.20 cm	69.90 cm	0.011	20.268 cm ²	4.33E-06 cm/s	3.74E-03 m/d	
		300 s	0.10 cm	69.95 cm	0.011	20.268 cm ²	2.17E-06 cm/s	1.87E-03 m/d	
		300 s	0.15 cm	69.93 cm	0.011	20.268 cm ²	3.25E-06 cm/s	2.81E-03 m/d	
		300 s	0.10 cm	69.95 cm	0.011	20.268 cm ²	2.17E-06 cm/s	1.87E-03 m/d	
Resultados							PROMEDIO	3.27E-06	2.83E-03 m/d
Calificacion	Poco permeable	Calificacion de acuífero	Acuífero	Tipo de material	Limo arenoso, lujá				

8.4.2. Permeabilidad para materiales Consolidados

Para evaluar la permeabilidad en formaciones rocosas, se empleó un método indirecto basado en el sistema de fracturas de Hoek y Bray, que evalúa los macizos rocosos según el espaciamiento y la apertura de las fracturas.

Tenemos la siguiente ecuación:

$$k = \frac{a^2 \gamma}{12 \mu b}$$

Donde:

k: Permeabilidad en cm/s, m/d.

a: Promedio de aberturas de las fracturas.

b: Promedio de espacio de fracturas.

γ : Peso específico del agua con valor de 0.998 g/cm³

μ : Coeficiente de viscosidad dinámica del agua cuyo valor es 0.01 g/cm.s.

Cabe resaltar que el método de permeabilidad efectiva responde de manera significativa las variaciones en el grado de apertura de las fisuras, un aumento en la apertura resulta en un incremento del valor de la permeabilidad efectiva. Sin embargo, si se toma en cuenta un mayor espaciamiento de la discontinuidad, este efecto podría revertirse

Tabla 76

Síntesis de ensayos de permeabilidad con datos de apertura y espaciamiento en materiales consolidados

N°	Este	Norte	Unidad geológica	Sistema de discontinuidades		cm/s	m/s	m/d
				Prom. Abertura (C)	Prom. Espaciado (S)			
1	198040	8486749	Soncco I	0.019	27.9	0.00011	0.000001	0.09
2	194326	8488009	Nom-pu	0.13	9.4750	0.0142689	0.0001427	12.33
3	193148	8490704	Peo-so II	0.15	6.3000	0.0300997	0.0003010	26.01
4	195489	8490715	Peo-ky	0.12	7.4000	0.0159152	0.0001592	13.75

Figura 100

Prueba de permeabilidad EPMC-001

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU							
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023.						
Ubicación:	Distrito:	Lucre	Provincia:	Quispicanchi	Zona:	Ccolcayqui	EPMC-001
Fecha:	14/07/2024	Coordenadas:	X	198040	Y	8486748	
Sistema de discontinuidades(f1,f2,f3,f4)							
Abertura		Espaciado			K		
C1	0.06mm	0.006cm	S1	0.68m	68cm	1.10E-04	cm/s
C2	0.02mm	0.002cm	S2	0.035m	3.5cm	1.09887E-06	m/s
C3	0.85mm	0.085cm	S3	0.05m	5cm	0.09	m/d
C4	0.02mm	0.002cm	S4	0.05m	5cm	a, b	Promedio
C5	0.01mm	0.001cm	S5	0.58m	58cm		
$k = \frac{a^2 y}{12ub}$			a= 0.0192	a2 = 0.000369	b=27.9	PE =0.998 g/cm3	CV = 0.01 g/cm.s
							

Figura 101

Prueba de permeabilidad EPMC-004

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU							
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE						
Ubicación:	Distrito:	Lucre	Provincia:	Quispicanchi	Zona:	Ccolcayqui	EPMC-004
Fecha:	14/07/2024	Coordenadas:	X	194326	Y	8488009	
Sistema de discontinuidades(f1,f2,f3,f4)							
Abertura		Espaciado			K		
C1	0.75mm	0.075cm	S1	0.2m	20cm	1.59E-02	cm/s
C2	2mm	0.2cm	S2	0.02m	2cm	1.59E-04	m/s
C3	1mm	0.1cm	S3	0.01m	1cm	13.75	m/d
C4	1.2mm	0.12cm	S4	0.04m	4cm	$k = \frac{a^2 y}{12ub}$	
C5	1mm	0.1cm	S5	0.1m	10cm		
a	0.119	a2	0.014161	b	7.4	PE =0.998 g/cm3	CV = 0.01 g/cm.s
							

Figura 102

Prueba de permeabilidad EPMC-007

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU							
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA COLCAYQUI, DISTRITO DE						
Ubicación:	Distrito:	Lucre	Provincia:	Quispicanchi	Zona:	Colcayqui	EPMC-007
Fecha:	14/07/2024	Coordenadas:	X	193148	Y	8490704	
Sistema de discontinuidades(f1,f2,f3,f4)							
Abertura		Espaciado			K		
C1	0.95mm	0.095cm	S1	0.2m	20cm	3.01E-02	cm/s
C2	2.1mm	0.21cm	S2	0.03m	3cm	3.01E-04	m/s
C3	1mm	0.1cm	S3	0.085m	3.5cm	26.01	m/d
C4	1.5mm	0.15cm	S4	0.04m	4cm	$k = \frac{a^2 \gamma}{12ub}$	PE = 0.998 g/cm ³ CV = 0.01 g/cm.s
C5	2mm	0.2cm	S5	0.01m	1cm		
a	0.151	a2	0.022801	b	6.3		



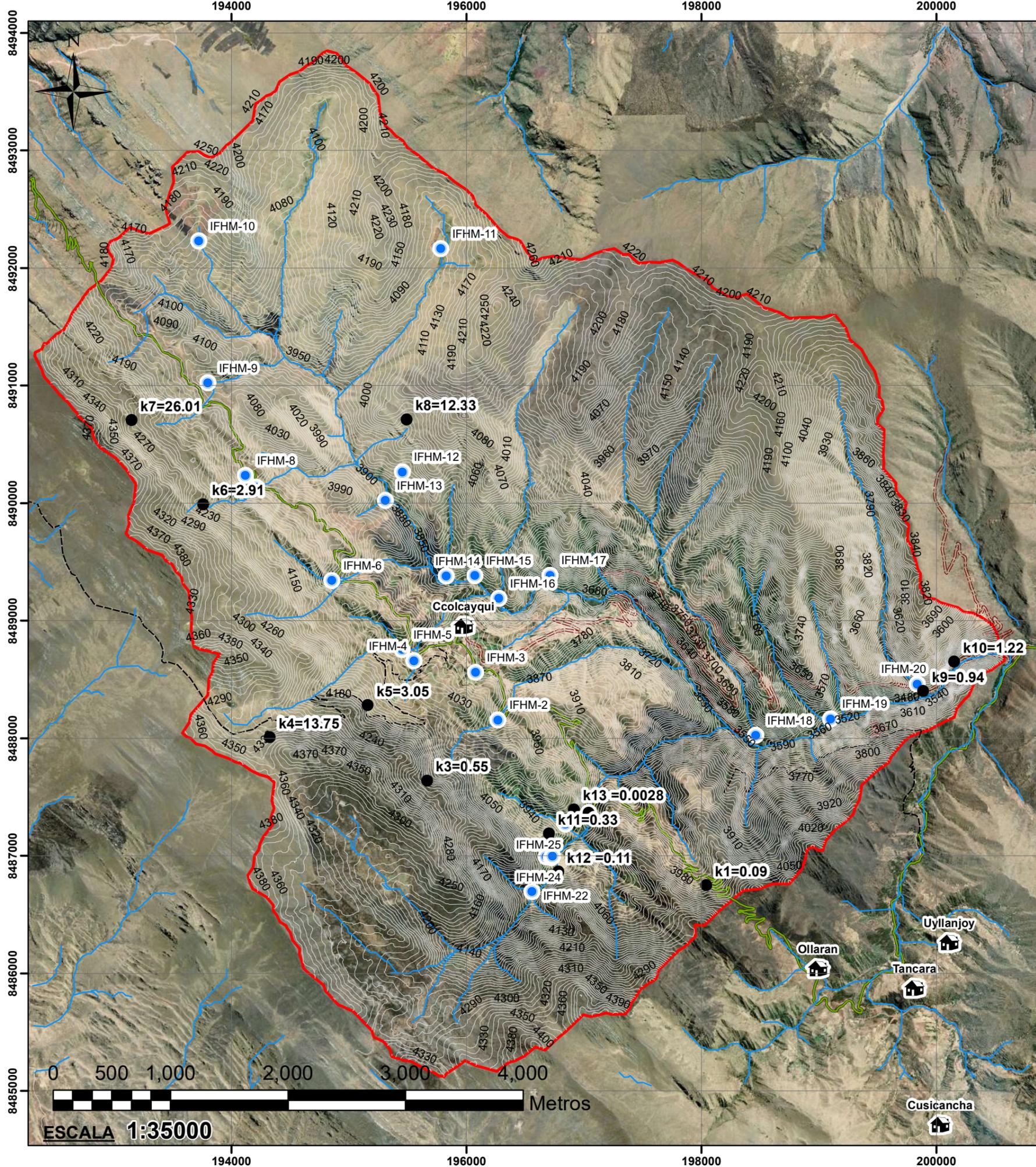
Figura 103

Prueba de permeabilidad EPMC-008

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU							
Proyecto:	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HÍDRICO DE LA CUENCA COLCAYQUI, DISTRITO DE						
Ubicación:	Distrito:	Lucre	Provincia:	Quispicanchi	Zona:	Colcayqui	EPMC-008
Fecha:	14/07/2024	Coordenadas:	X	195489	Y	8490715.079	
Sistema de discontinuidades(f1,f2,f3,f4)							
Abertura		Espaciado			K		
C1	0.9mm	0.09cm	S1	0.2m	20cm	1.43E-02	cm/s
C2	2mm	0.2cm	S2	0.05m	5cm	1.43E-04	m/s
C3	1mm	0.1cm	S3	0.085m	8.5cm	12.33	m/d
C4	1.2mm	0.12cm	S4	0.044m	4.4cm	a,b	Promedio
$k = \frac{a^2 \gamma}{12ub}$			a= 0.1275	a2 = 0.0162563	b=9.475	PE = 0.998 g/cm ³	CV = 0.01 g/cm.s



MAPA DE ENSAYOS DE INFILTRACION DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - DIST. LUCRE - PROV. QUISPICANCHI - DEP. CUSCO



SIMBOLOGIA

- Prueba de Infiltracion
- Inventario Fuentes Hidricas
- 🏠 Centro Poblado Ccolcayqui
- Drenaje
- Curvas de Nivel 10
- ==== Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- ▭ Cuenca_Ccolcayqui

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DE LA CUENCA CCOLCAYQUI

Nº	Coordenadas		Tipo	Permeabilidad(K)-m/d	
	Este	Norte			
1	198040	8486749	Peo-so I	9.00E-02 m/d	Poco permeable
2	197038	8487367	Peo-so II	8.82E+00 m/d	Permeable
3	195665	8487642	Qh-pl	5.50E-01 m/d	Permeable
4	194326	8488009	Nom-pu	1.38E+01 m/d	Permeable
5	195158	8488280	Peo-so II	3.05E+00 m/d	Permeable
6	193759	8489992	Peo-so II	2.91E+00 m/d	Permeable
7	193148	8490704	Peo-so II	2.60E+01 m/d	Permeable
8	195489	8490715	Peo-ky	1.23E+01 m/d	Permeable
9	199886	8488403	Peo-ky	9.40E-01 m/d	Permeable
10	200152	8488652	Qh-co	1.22E+00 m/d	Permeable
11	196700	8487186	Peo-so II	3.30E-01 m/d	Permeable
12	196785	8486862	Peo-so II	1.10E-01 m/d	Permeable
13	196914	8487395	Peo-so I	2.80E-03 m/d	Poco permeable

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa: MAPA DE ENSAYOS DE INFILTRACION DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE-QUISPICANCHI			
Asesor: MSC. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicacion: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE		Datum: WGS 84	Escala: 1:35000
		Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	Fecha: 2025
			P-15

8.5. Direcciones del Flujo

Para identificar la distribución del flujo de agua, inicialmente era necesario preparar el inventario de la fuente hídricas para obtener su nivel de agua. Esta información podría desarrollarse mediante un mapa piezométrico

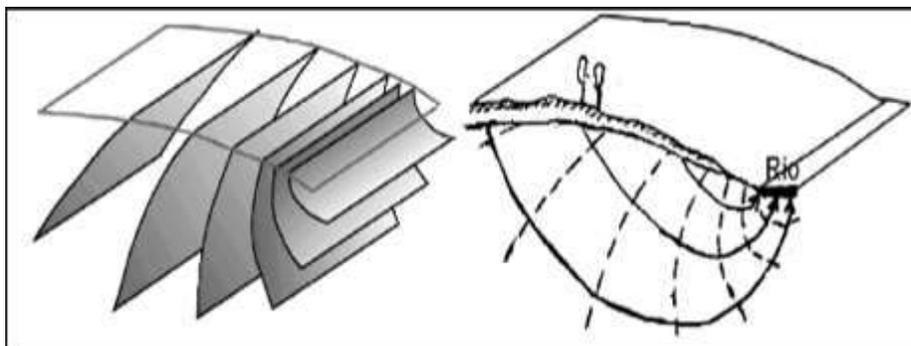
El desplazamiento del agua a través de suelos y rocas se considera un proceso complejo debido a la variabilidad impredecible en la permeabilidad, que puede variar de un lugar a otro y en diferentes direcciones. No obstante, es factible realizar un análisis esquemático y representar este fenómeno mediante las mallas de flujo

Las mallas de flujo están formadas por líneas de corriente y líneas equipotenciales. Las mallas de flujo muestran el camino que sigue el agua en su movimiento en un momento específico. Por otro lado, las líneas equipotenciales, también llamadas isopiezas, conectan puntos donde el nivel del agua se mantiene igual. Estas líneas de flujo son útiles para identificar áreas de recarga de acuíferos y localizar áreas con posible contaminación, entre otras aplicaciones.

Las mallas de flujo ayudan a identificar las áreas de recarga del acuífero y detectar contaminación.

Figura 104

Redes de flujo.

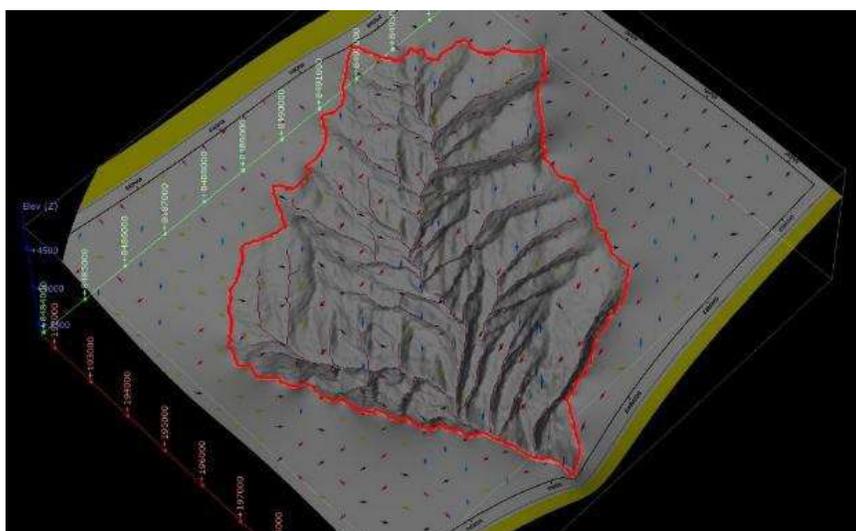


Fuente: Sánchez F. (2011). Hidráulica subterránea: Principios básicos. Departamento geología. Universidad de Salamanca. Pag 3

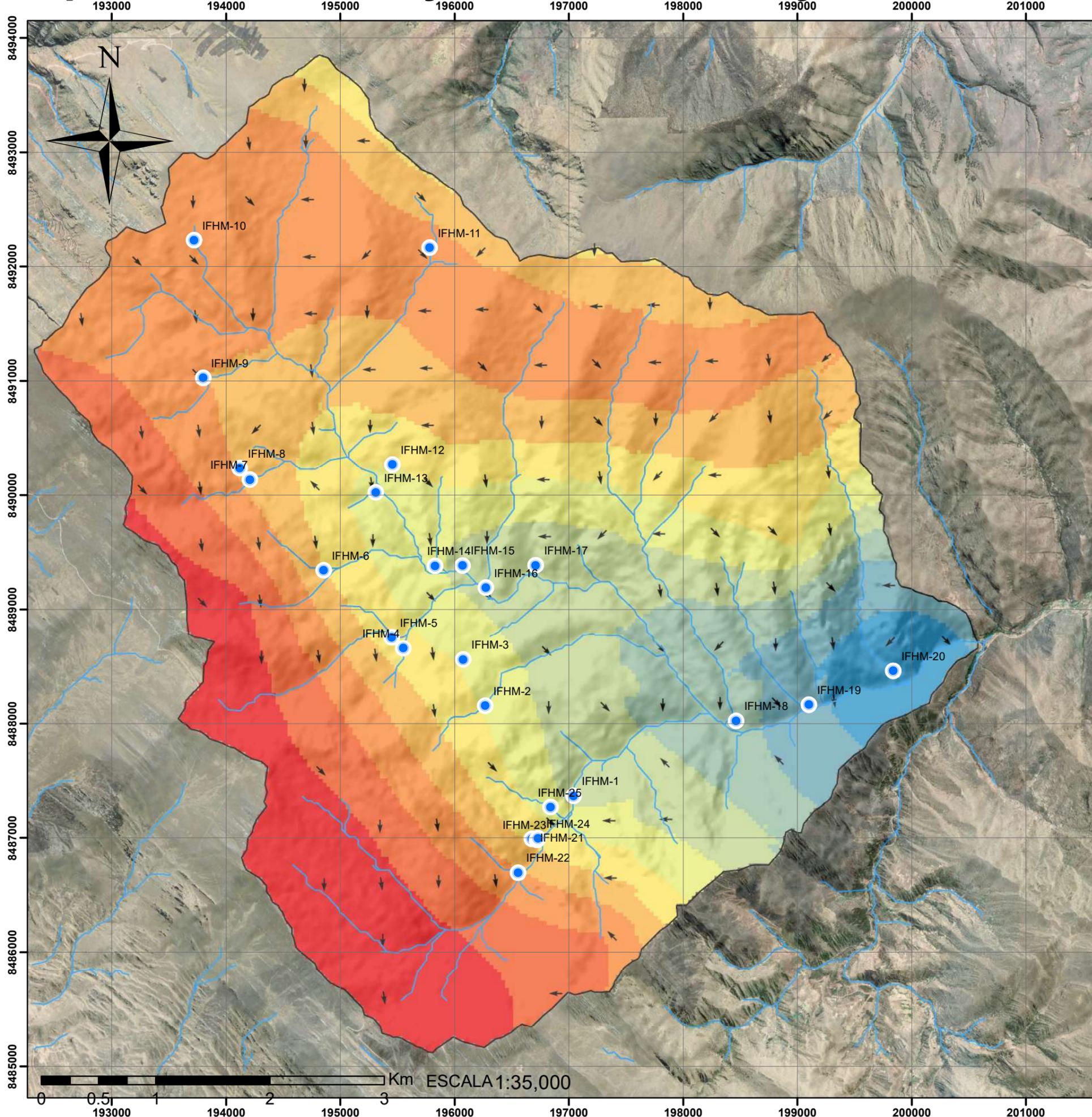
La creación de una res de flujo requiere información piezométrica, aunque también se pueden considerar las elevaciones de los manantiales y las posibles profundidades de filtración en el material geológico, basadas en estudios geofísicos. Cabe mencionar que este análisis es teórico.

Figura 105

Imagen en 3D modelado en Leapfrog de las direcciones flujo de la cuenca Ccolcayqui



Mapa Piezometrico y Dirección de flujos de la Cuenca Ccolcayqui- Dist. Lucre



Simbologia

- Inventario_FH
- Drenaje
- Cuenca_Ccolcayqui

Dirección_De_Flujos

- ↓ 1 (8°)
- ↘ 2 (45°)
- ↓ 3 - 4 (0°)
- ↙ 5 - 8 (-45°)
- ← 9 - 16 (-90)
- ↖ 17 - 32 (-135°)

Rangos_de_Piezometria(m.s.n.m)

	3,494.2 - 3,603.4
	3,603.4 - 3,690.7
	3,690.7 - 3,765.6
	3,765.6 - 3,834.2
	3,834.2 - 3,912.2
	3,912.2 - 3,983.9
	3,983.9 - 4,049.4
	4,049.4 - 4,121.1
	4,121.1 - 4,205.4
	4,205.4 - 4,289.620605

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa: MAPA PIEZOMETRICO Y DIRECCION DE FLUJOS DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE- QUISPICANCHI			
Asesor:	MSC. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable:	Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY
Ubicación:	Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum:	WGS 84
		Sistema de Proyeccion:	UTM ZONA 19 L
		Escala:	1:35000
		Fecha:	2025
			P-16

8.6. Identificación Zonas de Recarga y Descarga

8.6.1. Zonas de Recarga:

Las principales fuentes que recargan el acuífero en el lugar de estudio son:

- La infiltración del agua proveniente de lluvias intensas y prolongadas, que se infiltran a través de fracturas en las rocas. El principal alimentador es la falla geológica presente en las diversas formaciones.
- El flujo subterráneo generado por el ingreso de agua desde los drenes cercanos. subterráneo originado por la infiltración de aguas de los drenes aledaños.
- La filtración de agua desde ciertas áreas agrícolas

En la cuenca de Ccolcayqui se identifican dos zonas de recarga clave. La zona está ubicada en el cerro de Hullpo, Tauca, Cullumayo, Patococha, donde según el mapa piezométrico y dirección de flujos es de NW-E. Por lo que hay la acumulación en diferentes partes de las quebradas hace que haya la reabastecimiento de aguas y que alimentan la cuenca Ccolcayqui

Figura 106

Zona de recarga del sector Tauca



Figura 107

Vista panorámica de la Cuenca Ccolcayqui.



*En las partes altas de la cuenca, las areniscas permeables de la **Formación Kayra** lo cual actúan como la principal área de recarga, permitiendo la infiltración de agua. Las lutitas y limolitas de la **Formación Soncco I** limitan la recarga debido a su baja permeabilidad, mientras que las capas fracturadas de la **Formación Soncco II** pueden permitir flujos subterráneos localizados. En la **Formación Punacancha**, compuesta por areniscas y conglomerados, actúa como una unidad receptora que almacena el agua subterránea recargada desde las partes altas.*

8.6.2. Zonas de Descarga:

Las áreas de descarga en la cuenca Ccolcayqui son acuíferos que almacenan y emanan aguas tanto superficiales como subterráneas que fluyen a través de manantiales a causa de la existencia de fallas, fisuras, saturación de suelos y el resto de la precipitación fluye hacia zonas bajas por escorrentía superficial.

8.7. Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca

La clasificación de los materiales hidrogeológicos en la cuenca Ccolcayqui se realizó mediante un registro de las fuentes de agua y un estudio de la litología de las formaciones geológicas empleando los valores de la permeabilidad de Benitez obtenidos de pruebas de infiltración.

En nuestra zona de estudio, se reconocieron acuíferos sedimentarios fisurados y acuíferos no consolidados.

8.7.1. Acuíferos

Un acuífero es una unidad geológica que puede retener y permitir el movimiento de agua subterránea. En el lugar de estudio, y en función de la litología y la conductividad hidráulica, los acuíferos han sido clasificados en dos grupos.

8.7.1.1. Acuífero Fisurado Sedimentario

La unidad hidrogeológica está integrada por las formaciones Kayra, Soncco y Punacancha, caracterizadas por la presencia de intercalaciones de lutitas. Estas formaciones presentan fracturas, lo que les confiere la condición de acuíferos sedimentarios fisurados. Sus afloramientos se distribuyen a lo largo de toda la cuenca.

8.7.1.1.1. Acuífero Fisurado Sedimentario Kayra

Esta unidad acuífera cubre parte de la cuenca y presenta capacidades de almacenamiento y transmisión que oscilan entre medias y buenas. Dentro de las formaciones geológicas que la conforman, destaca la formación Kayra, con una permeabilidad efectiva de $k=1.38+01$ y una porosidad 5%.

A pesar de la escasez de afloramiento de manantiales registrados, este acuífero muestra un notable grado de microfisuras entre las capas de lutitas y areniscas.

En función de productividad, estos acuíferos se clasifican entre buenos y muy buenos, tomando en cuenta los manantiales y caudales asociados.

Tabla 77

Calidad de roca de la Fm. Kayra hallando el RQD.

Formación	Longitud de los pedazos de la muestra >10cm	Longitud total de la muestra	RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
Kayra	35 14	90	54.44	Regular

Tabla 78

Índice de la calidad de roca, para areniscas en la Fm. Kayra

RQD	Calidad de la roca
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: “rock quality designation” Dece et al.(1967)

De acuerdo al valor del RQD, esta formación Kayra es de clase **Regular**.

Figura 108*Acuífero fisurado sedimentario Kayra*

En la fig. 108 se observa un afloramiento de la Fm. Kayra, en la cual se ha identificado un acuífero fisurado sedimentario, se puede observar la estructura geológica, destacando las fisuras presentes en las rocas sedimentarias que componen la formación, donde estas fisuras son claves para el almacenamiento y la circulación del agua subterránea en el acuífero, la exposición de los estratos permite visualizar la estratificación y el grado de fracturamiento. Este acuífero fisurado desempeña un papel clave en la capacidad de almacenamiento y flujo de agua dentro de la cuenca.

8.7.1.1.2. Acuitardo formación Soncco I

Este acuitardo posee una capacidad moderada de almacenamiento y transmisión de agua, estando conformado por las Formación geológica Soncco I, con una permeabilidad $k=6.27E+00$ y una porosidad efectiva de 8%.

El movimiento del flujo subterráneo en esta unidad hidrogeológica está relacionado con la fracturación y estratificación de la formación geológica.

Tabla 79

Calidad de roca de la formación Soncco I hallando el RQD.

Formación	Longitud de los pedazos de la muestra >10cm	Longitud total de la muestra	RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
Soncco I	18 11 0 10.5	90	43.9	Mala

Tabla 80

Índice de la calidad de la roca, para las areniscas de la Formación Soncco I

RQD	Calidad de la roca
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: “rock quality designation” Dece et al.(1967)

De acuerdo al valor del RQD, esta formación Soncco I es de clase **Mala**

Figura 109

Acuitardo en la formación Soncco



*En la figura 109 se observa la formación **Soncco I**, donde un manantial emerge en un corte expuesto al lado derecho de una vía rural. El agua que brota se acumula en un pequeño estanque natural cerca del corte, lo que nos indica que el nivel freático ha estado alcanzando la superficie del terreno en este lugar.*

8.7.1.1.3. *Acuíferos Fisurados Sedimentarios Soncco II*

Esta unidad acuífera presenta facultades de retención y flujo que oscilan de medio a bueno, con la permeabilidad efectiva de $k= 2.60E+01m/d$ y una porosidad de 15%.

El flujo subterráneo está estrechamente relacionado con el fracturamiento principal. Además, este acuífero constituye una fuente significativa para la mayoría de los manantiales que emergen en esta área.

Figura 110

Acuíferos encontrados en la formación Soncco II



En la figura 110 se percibe afloramientos de acuíferos en la formación **Soncco II**, donde sale caudales de 0.27lt/s a 4.5ltr/s, el agua emerge desde una fisura en el sustrato rocoso, sugiriendo un flujo subterráneo a través de un medio fracturado, y asociado a rocas sedimentarias.

Tabla 81

Calidad de roca de la formación Soncco II hallando el RQD

Formación	Longitud de los pedazos de la muestra >10cm	Longitud total de la muestra	RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
Soncco II	11	90	58.33	Regular
	31			
	10.51			

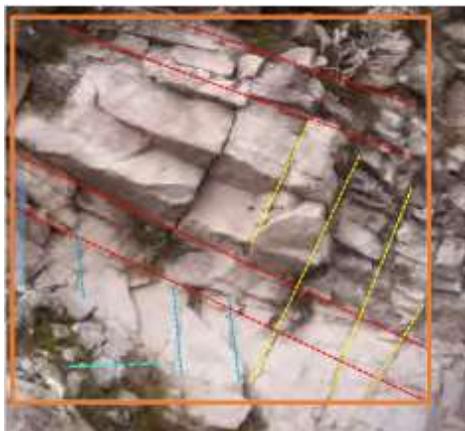
Tabla 82

Valor de la condición de la roca, para los depósitos arenosos de la formación Soncco II.

RQD	Calidad de la roca
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente “rock quality designation” Dece et al.(1967)

De acuerdo al valor del RQD, esta formación Soncco II es de clase **Regular**

Figura 111*Acuífero fisurado sedimentario Soncco II*

En la figura 111 se percibe los estratos rocosos característicos de esta unidad geológica Soncco II, como se evidencia fisuras y fracturas y así como se evidencia con los datos se tiene un 15% de porosidad con una calidad regular de la roca.

8.7.1.1.4. Acuíferos Fisurados Sedimentarios Punacancha

Esta formación hidrogeológica presenta un alto grado de fracturamiento, caracterizado por espaciamiento reducido entre las discontinuidades. La lutita observada muestra un comportamiento favorable para el movimiento del flujo subterráneo. El acuífero posee una capacidad de retención y flujo moderado, con una permeabilidad de $k= 13.75\text{m/d}$ y una porosidad del 11%.

El flujo subterráneo en esta unidad sigue un patrón similar al del acuífero Soncco II, dado que las fracturas podrían facilitar la transmisión del flujo hacia dicho acuífero.

Tabla 83

Calidad de roca de la formación Punacancha hallando el RQD.

Formación	Longitud de los pedazos de la muestra >10cm	Longitud total de la muestra	RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
Punacancha	14	90	48.89	Mala
	12			
	18			

Tabla 84

Índice de calidad de las rocas, para areniscas de la Formación Punacancha.

RQD	Calidad de la roca
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: "rock quality designation" Dece et al.(1967)

Figura 112

Acuífero fisurado sedimentario Punacancha



En la fig. 112 se puede identificar las características rocosas de colores grises a rojizos, con estratificación continua, que presenta una estructura que facilita la acumulación y circulación del agua subterránea.

8.7.1.2. Acuíferos Porosos No Consolidados

Esta formación hidrogeológica es formada por sedimentos coluviales y aluviales, compuesto por gravas con matriz variable. Estos depósitos configuran acuíferos porosos no consolidados, localizados en los lugares bajos y a lo largo de las quebradas de la cuenca.

Figura 113

Acuífero poroso aluvial, sector Quisuarcancha



En la figura 113 se pueden observar las características de un acuífero poroso aluvial con 16.6% de porosidad efectiva, con gravas, limos. Estos materiales no están cementados y el espacio entre los granos de sedimentos permite el almacenamiento y movimiento del agua.

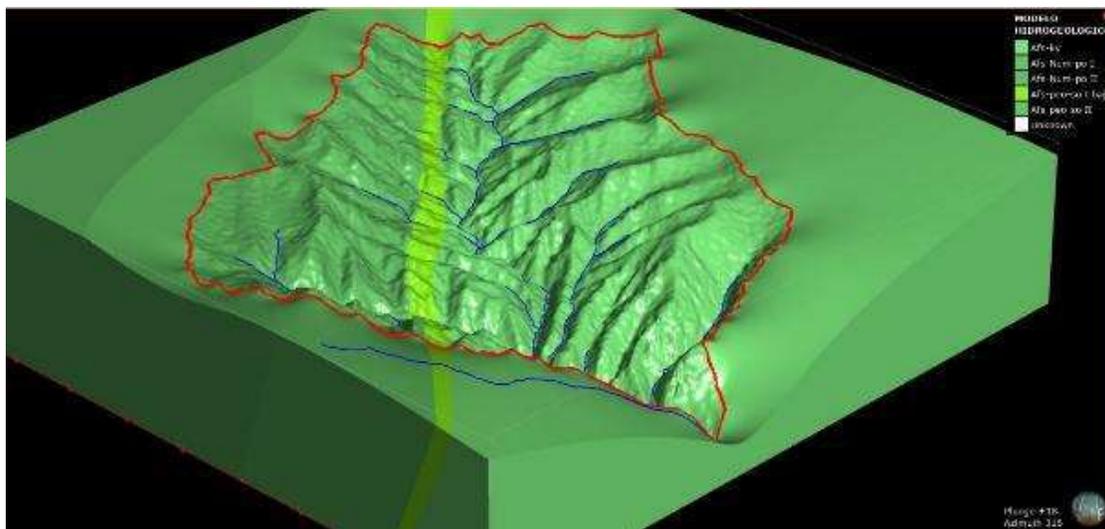
Luego de haber realizado trece ensayos de permeabilidad in situ, se ha obtenido varios valores según al tipo de formación, junto con la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas en el lugar de estudio, los cuales se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 85*Descripción hidrogeológica de las unidades geológicas en la cuenca Ccolcayqui -Lucre*

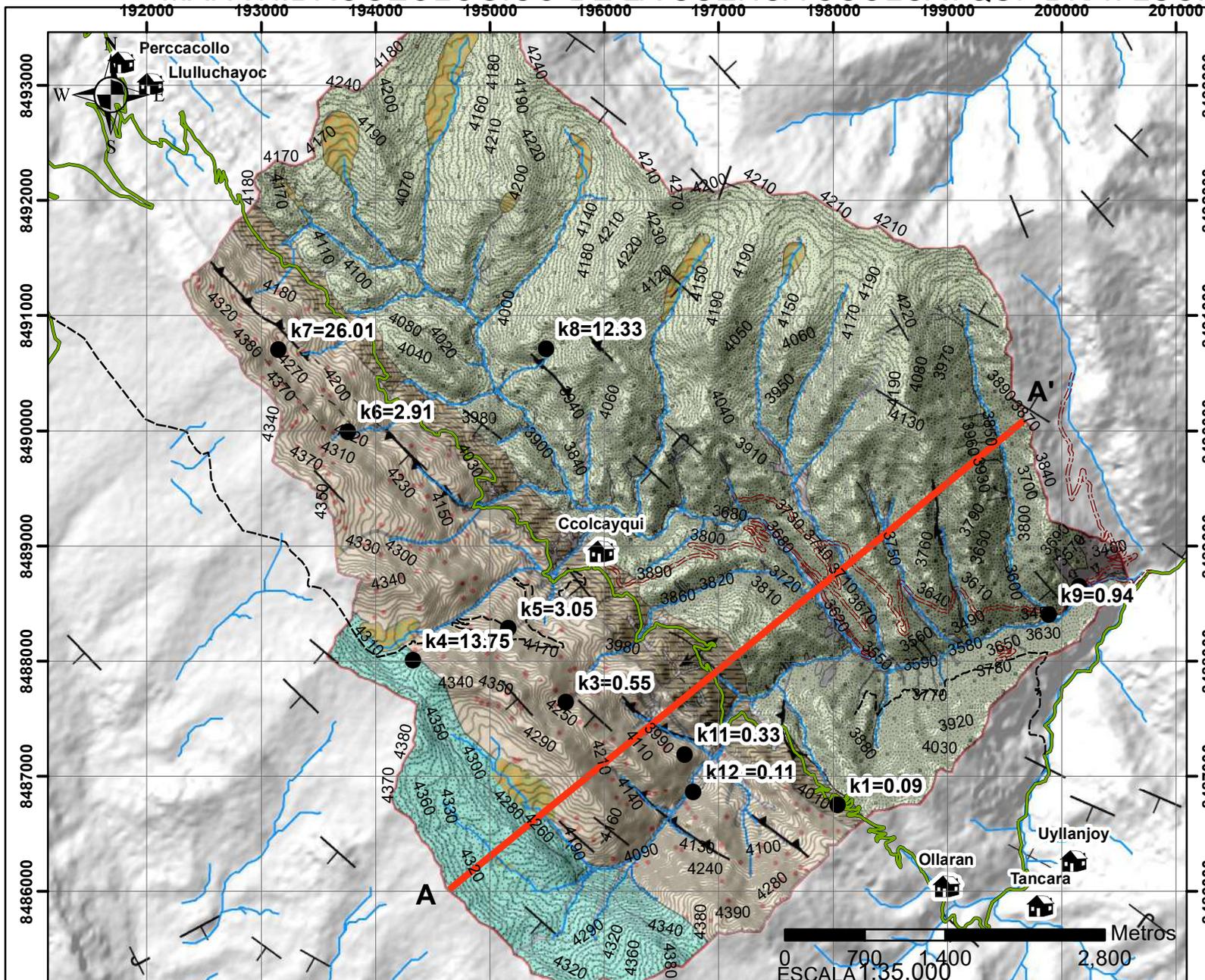
COD	Este	Norte	Calificación	Calificación de Acuífero	K(m/d)	Símbolo hidrogeológico	Caracterización Hidrogeológica
EPMC-001	198040	8486749	Poco permeable	Acuitardo	k1=0.09	ATSC-So I	Acuitardo Soncco I
EPMC-002	197038	8487368	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k2=8.82	AFS-So II	Fisurado Sedimentario So II
EPMC-013	196914	8487396	Poco permeable	Acuitardo	k13=0.0028	ATNC-So I	Acuitardo Soncco I
EPMC-003	195665	8487642	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k3=0.55	APNC-pl.	Acuífero Poroso no consolidado
EPMC-004	194326	8488009	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k4=13.75	AFS-Pu	Acuífero Fisurado Sedimentario Pu
EPMC-005	195159	8488281	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k5=3.05	AFS-So II	Acuífero Fisurado Sedimentario So II
EPMC-009	199886	8488403	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k9=0.94	AFS-Ky	Acuífero Fisurado Sedimentario Ky
EPMC-010	200152	8488652	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k10=1.22	APNC-co	Acuífero Poroso no consolidado
EPMC-006	193759	8489992	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k6=2.91	AFS-So II	Acuífero Fisurado Sedimentario So II
EPMC-007	193148	8490704	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k7=26.01	AFS-So II	Acuífero Fisurado Sedimentario So II
EPMC-008	195489	8490715	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k8=12.33	AFS-Ky	Acuífero Fisurado Sedimentario Ky
EPMC-012	196780	8486866	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k12=0.11	AFS-So II	Acuífero Fisurado Sedimentario So II
EPMC-011	196703	8487190	Permeable	Acuífero de medio a bueno	k11=0.33	AFS-So II	Acuífero Fisurado Sedimentario So II

Figura 114

Imagen en 3D, modelamiento hidrogeológico de la cuenca Ccolcayqui



MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI -DIST. LUCRE-PROV. QUISPICANCHI



Simbologia

- Centro Poblado Ccolcayqui
- Prueba_de_Infiltracion
- CORTE_A
- Camino Carrozable
- Camino de Herradura
- Carretera Abandonada
- Carretera Afirmada
- Curvas de Nivel 10
- Drenaje

FALLA_LOCAL

- Anticlinal
- Contacto
- Falla Inferida
- Falla Inversa
- Sinclinal

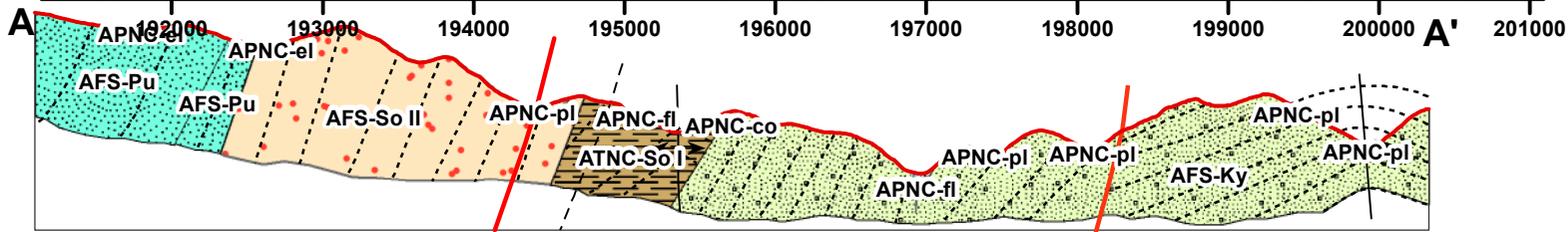
Buzamientos

- Rumbo y buzamiento de estratos
- 12, Rumbo y buzamiento de foliacion
- 20, Rumbo y buzamiento de estratos invertido
- 25, Estrato vertical

LEYENDA

Unidades Hidrogeologicas

- AFS-Ky-Acuifero Fisurado Sedimentario Kayra
- AFS-Pu-Acuifero Fisurado Sedimentario Punacancha
- AFS-So II-Acuifero Fisurado Sedimentario Soncco II
- APNC-al-Acuifero Poroso no consolidado aluvial
- APNC-col-Acuifero Poroso no consolidado coluvial
- APNC-el-Acuifero Poroso no consolidado eluvial
- APNC-fl-Acuifero Poroso no consolidado fluvial
- APNC-pl-Acuifero Poroso no consolidado proluvial
- ATNC-So I-Acuifardo Soncco I



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"		
Mapa: MAPA HIDROGEOLOGICO LOCAL DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE-QUISPICANCHI		
Asesor: MSC. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO	Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LMACH CATARI, EDITH ROSMERY	Fecha: 2025
Ubicación: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE	Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	Escala: 1:35000 Lamina: P-17

Capítulo IX: Hidroquímica

9.1. Hidroquímica de Aguas Subterráneas

En la cuenca Ccolcayqui se evaluaron tres muestras de aguas: una proveniente de un manantial, otra ubicada en el centro de la cuenca y el punto final de aforo. El análisis fisicoquímico incluyó la identificación de cationes (K, Mg, Ca y Na), aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos), así como la medición de la conductividad eléctrica, Ph, sales solubles, los sólidos suspendidos totales.

Los valores resultantes del análisis fisicoquímico de laboratorio están disponibles en los anexos. Mediante el estudio hidroquímico, se evaluará la pureza del agua con la finalidad de identificar su aptitud para diversos y analizar su interacción.

9.2. Muestreo y Determinación de Campo

Se realizó la recolección de tres muestras de agua de distintos manantes en la cuenca Ccolcayqui, para determinar sus parámetros fisicoquímicos y químicos, tales datos se han obtenido en el laboratorio MC QUIMICALAB.

Figura 115

Recolección de Muestra de Agua Para Análisis Químico



Recolección en una botella descartable con código M1 para hacer el proceso de análisis químico obteniendo datos como pH, Conductividad hidráulica, Fe, Ca, Mg, Cl, etc.

Figura 116

Entrega de las muestras hidricas en el laboratorio MC QUIMICALAB



9.3. Análisis de Resultados

Las variables fisicoquímicas se originan a partir de los datos obtenidos en el laboratorio.

Figura 117

Resultados de los Análisis químicos

Resultado de analisis quimico de las muestras de agua de la Cuenca Ccolcayqui																	
Nº	UBICACIÓN		Muestra	ph	Conductividad	Turbiedad	Fe	Sales solubles	cationes		Aniones				Dureza	FECHA	
	Este	Norte			Electrica	NTU			Ca (ppm)	Mg	Cl-	HCO3	CO3	SO4			CaCO3
					(Us/cm)	mg/l											
01	196763	8486852	M1	7	555	0.1	0.01	370	102	1.2	10	81	0	170	260	16/07/2024	
02	197231	8489246	M2	7.2	341	0.5	0.05	227	58	3.1	7	146	0	25	158	16/07/2024	
03	200150	8488604	M3	7.6	583	0.5	0.03	389	104	1.2	21	114	0	150	265	19/07/2024	

9.3.1. pH

En la cuenca Ccolcayqui, el pH del agua subterránea oscila entre 7 a 7,6. Dado que el Ph refleja la concentración de hidrogeniones, un valor de 7,0 indica agua neutra, mientras que los valores superiores a 7,0 señalan un carácter alcalino y los inferiores a 7,0 es de carácter ácido. Estas variaciones dependen del sector y de la composición del material geológico.

El sector Taucca donde el pH es 7, significa que es neutro, entonces el agua es apta para el consumo.

En los sectores Hullpo y Ccolcayqui, el pH es superior a 7,0, lo que quiere decir que es agua alcalina o básica, esto debido a que las surgencias se encuentran ubicadas en formaciones calcáreas

Tabla 86

Ph de la fuente hídrica en la cuenca Ccolcayqui-Lucre

N°	Muestra	CODIGO	UBICACIÓN		pH	Sector / Quebrada	Escala de pH
			Este	Norte			
1	M1	IFHC-07-07- MA-01	196763	8486852	7	Quebrada Taucca	Neutro
2	M2	IFHC-07-07- RIO-02	197231	8489246	7.2	Hullpo	Alcalina o básica
3	M3	IFHC-07-07- RIO-03	200150	8488604	7.6	Ccolcayqui	Alcalina o básica

Para observar bidimensionalmente los niveles de pH, se utilizó un histograma horizontal. Este análisis mostró que las fuentes hídricas de la cuenca tienen un pH neutro, y alcalina lo que indica que cumple con las regulaciones sobre la calidad del agua potable, que suelen permitir un rango de pH entre 6.5 y 8.5.

Según las normativas nacionales sobre la calidad del agua, los niveles de Ph en los cuerpos de agua presentes en la cuenca Ccolcayqui se clasifican en la categoría A1, lo que indica que son aptos para ser tratados y convertidos en agua potable a través de un proceso de desinfección.

Tabla 87

Tabla de criterios nacionales para la condición ambiental del agua.

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

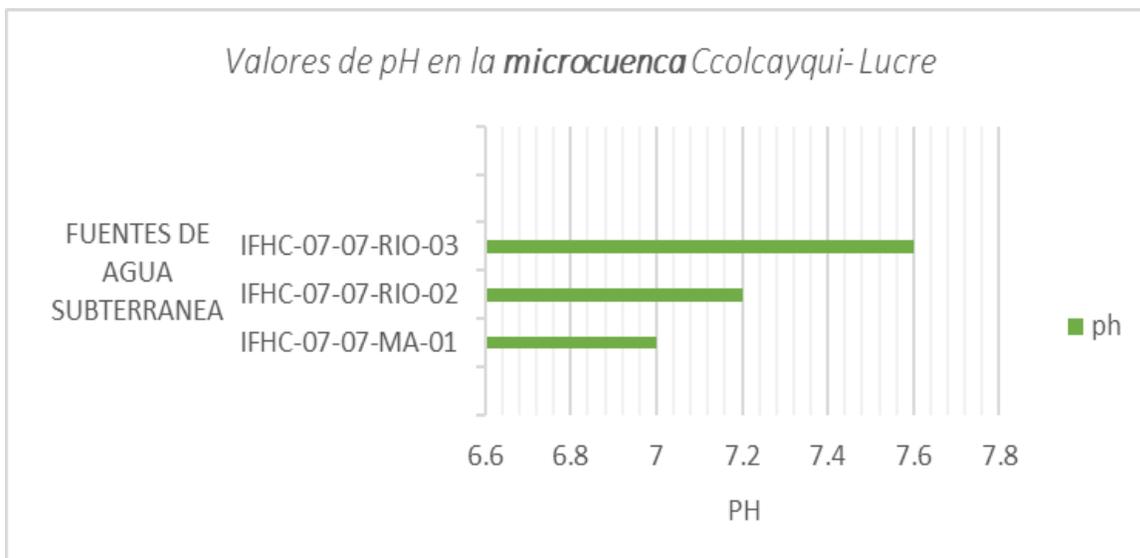
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm °	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Petróles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nítricos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Origeno Disuelto	mg/L	≤ 6	≤ 5	≤ 4	≤ 5	≤ 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	LNT °	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Urano	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**

Fuente: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/ds_002_2008_ecc_a_agua.pdf

Figura 118

Valores de pH en la cuenca Ccolcayqui – Lucre



En la siguiente figura 118 nos indica que la primera fuente hídrica con códigos IFHC-07-07-MA-01, IFHC-07-07-RIO-02 y IFHC-07-07-RIO-03 tienen PH de 7, 7.2, 7.6 los cuales, según los estándares nacionales, donde el límite máximo permisible es de 6.5 -8.5 mencionadas en la tabla 87 nos indica que es A1 con aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

9.3.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es un indicador de cuan bien el agua puede transmitir electricidad, lo que se incrementa con la concentración de iones disueltos. Este indicador es útil para evaluar la salinidad del agua.

Tabla 88

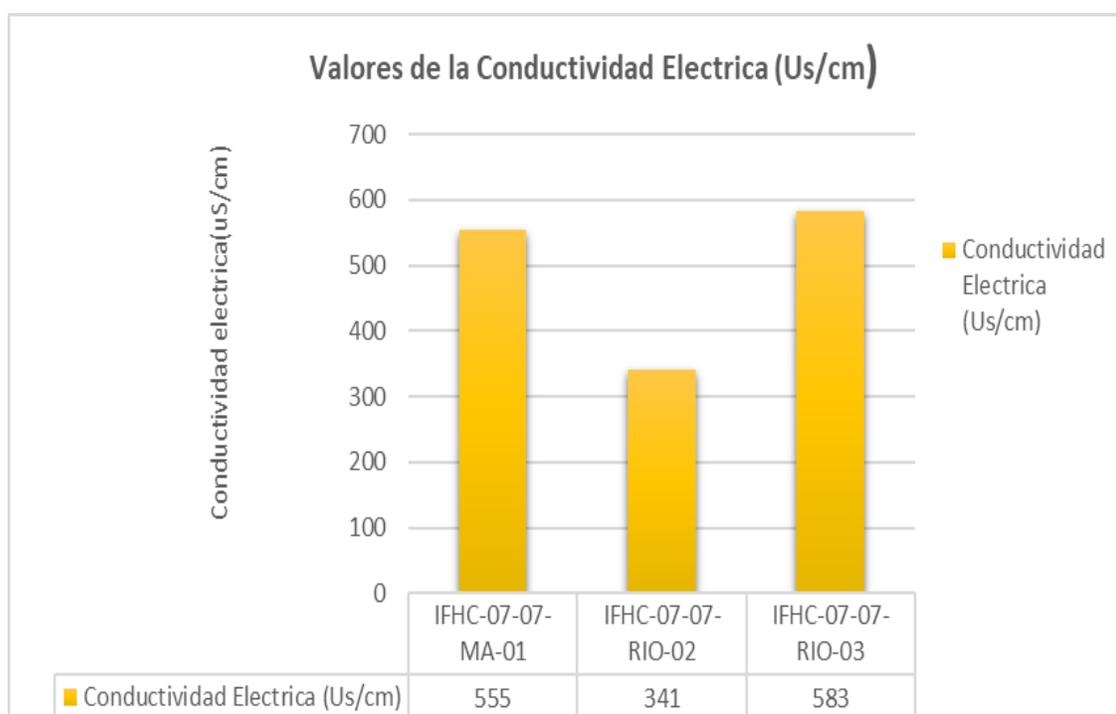
Conductividad eléctrica de Fuentes de Agua en la cuenca Ccolcayqui – Lucre

Nº	Muestra	CODIGO	UBICACIÓN		Conductividad Eléctrica (Us/cm)
			Este	Norte	
01	M1	IFHC-07-07-MA-01	196763	8486852	555
02	M2	IFHC-07-07-RIO-02	197231	8489246	341
03	M3	IFHC-07-07-RIO-03	200150	8488604	583

Se utilizó un histograma vertical para observar la conductividad eléctrica de las fuentes hídricas de la cuenca Ccolcayqui, que varía entre 340 y 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según los estándares nacionales, donde el límite máximo permisible es 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estas aguas se clasifican en la categoría A1 y pueden ser potabilizadas mediante desinfección.

Figura 119

Niveles de la Conductividad Eléctrica en la cuenca Ccolcayqui – Lucre



Aquellos valores bajos de conductividad eléctrica que van de 300 a 600 según las muestras, señalan que las fuentes de agua tuvieron una interacción directa con las formaciones sedimentarias como la arenisca y las lutitas, lo cual si corresponde a las formaciones Kayra y Soncco que están dentro de nuestra cuenca Ccolcayqui.

9.3.3. Clasificación Hidroquímica del Agua Subterránea

Para el análisis hidroquímico, se muestrearon tres manantiales representativos, y los resultados fueron procesados en el laboratorio MC QUIMICALAB. Se examinaron tales como pH, Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻, SO₄⁻, CO₃⁻, HCO₃⁻, Fe⁻, B⁻ y sustancias disueltas. Se utilizarán diagramas de Stiff, Piper, dispersión y Scholler - Berkloff para clasificar la composición química de las aguas subterráneas.

9.3.3.1. Clasificación por iones dominantes

Según Custodio y Llamas (1983), el agua se denomina según el anión o catión que supera el 50 % de la suma total; si ninguno lo hace, se utilizan los dos más abundantes. Se puede incluir un ion menor con alta concentración si es relevante. Cada combinación de Aniones y Cationes recibe un número y letra para la identificación.

En este ámbito, se han creado varios gráficos utilizando los programas AquaChem 2014.2, Diagrammes y QualiGraf para examinar la información de los aniones y cationes obtenidos de los estudios de laboratorio.

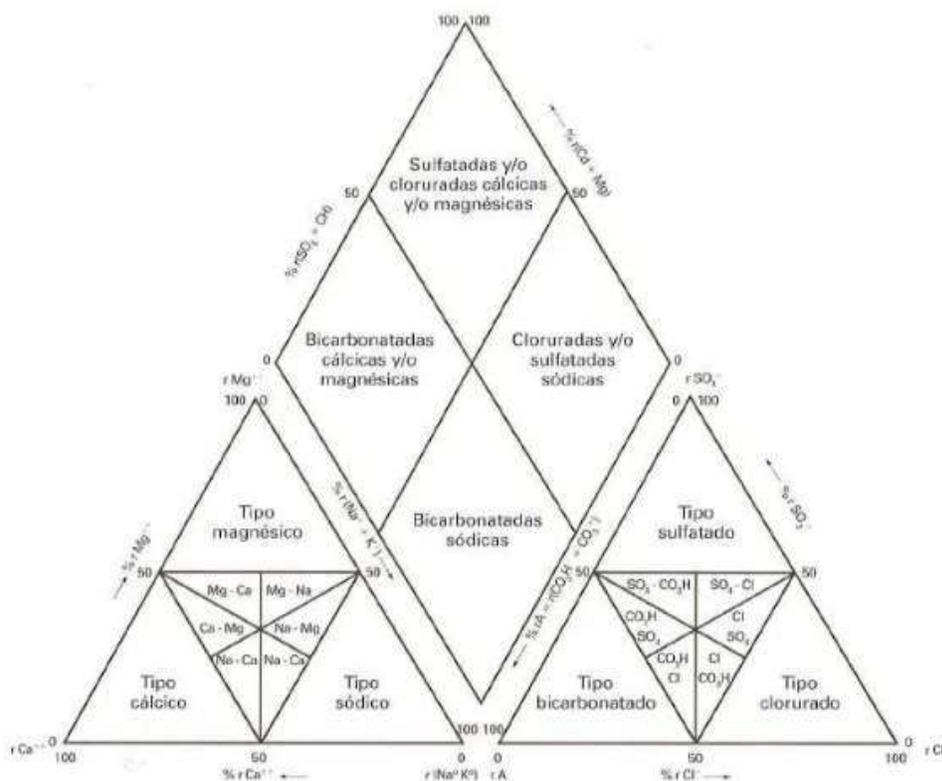
Diagrama de Piper

A través del gráfico de Piper, cada vértice indica el 100% de la concentración de un elemento específico o el 0% del componente en el vértice adyacente, desplazándose en dirección horaria. La concentración de cada componente se representa trazando desde el punto opuesto al

vértice correspondiente. Aunque se pueden mostrar solo tres iones por análisis, es posible incluir varios análisis en un solo gráfico. Piper (1944).

Figura 120

Diagrama triangular de Piper-Hill-Langerier



Fuente: Martínez Alfaro, P., Martínez Santos P., Castaño S., (2005). Fundamentos de Hidrología. Ediciones Multi prensa. España. Pag 170.

Figura 121

Diagrama triangular de Piper-Hill-Langerier. (Grapher)

GRAPHER PIPER * Plot3 PRUEBA_1.blm * Plot7 * Plot9 *							
D6							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Ca	Na+K	Mg	Cl	SO4	HCO3+CO3	Muestras
2	102	6.9	1.2	10	170	81 M1	
3	58	4.9	3.1	7	25	146 M2	
4	104	14.5	1.2	21	150	114 M3	

Realizado con las tres muestras en Grapher

Figura 122

Diagrama de Piper Hill Langelier para análisis de las fuentes de agua de la cuenca Ccolcayqui

– Lucre, realizado en Grapher.

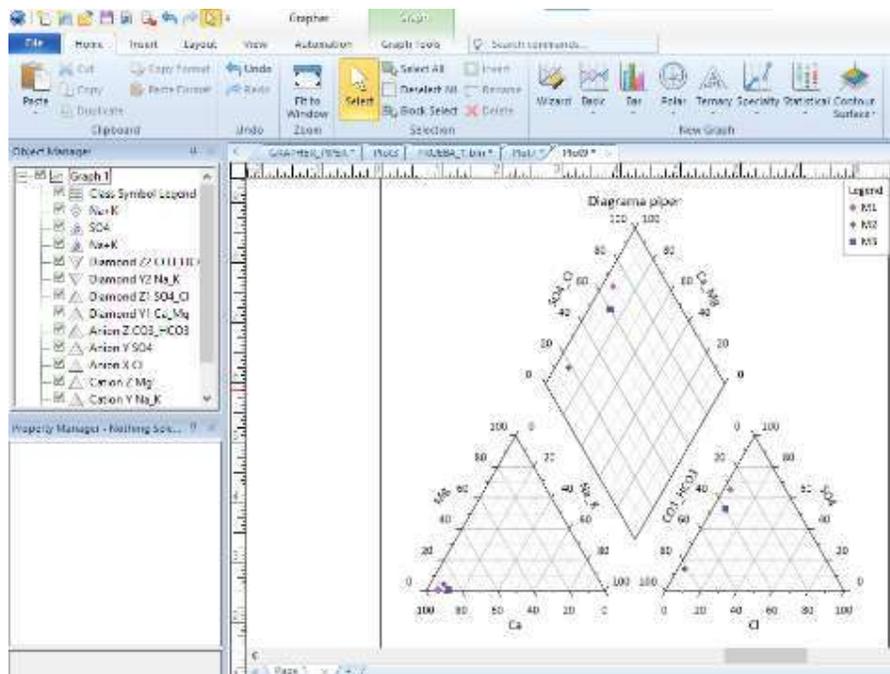
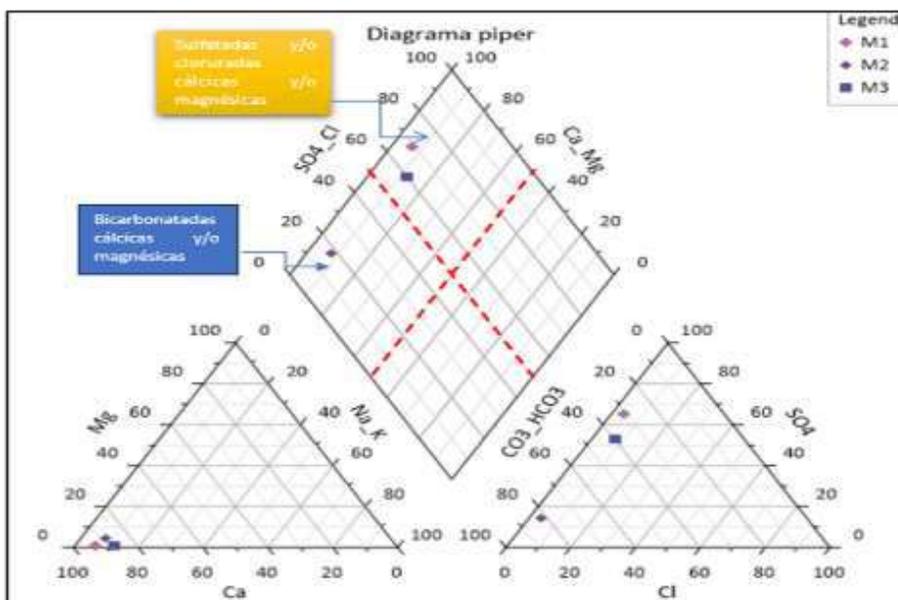


Figura 123

Diagrama de Piper de los resultados de las fuentes de agua de la cuenca Ccolcayqui – Lucre



Según el diagrama triangular, el manante presenta aguas de clase: sulfatadas y/o cloruradas, con calcio y/o magnesio, así como las aguas bicarbonatadas, con calcio y/o magnesio.

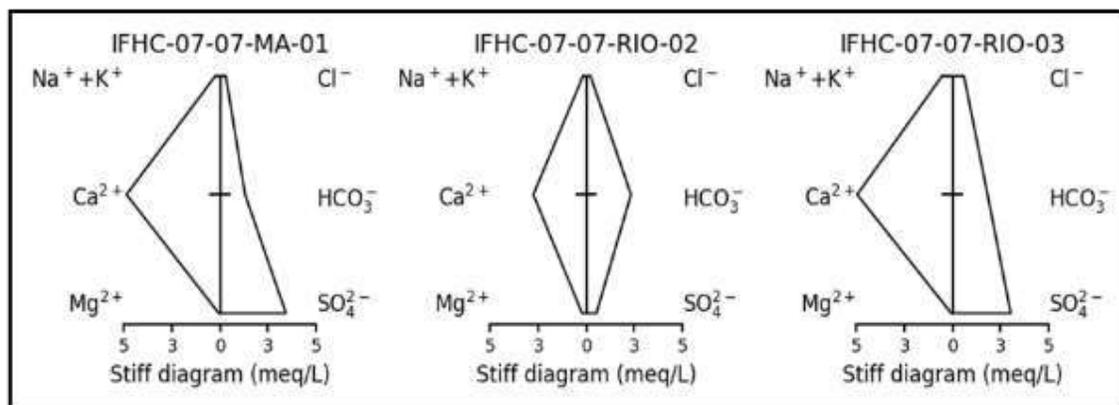
Diagramas de Stiff modificado

El gráfico de Stiff modificado facilita la categorización del agua según su composición química. Este diagrama utiliza tres ejes para los cationes (Na, Ca, y Mg) que apuntan a la izquierda, y tres ejes para los aniones (cloruros, bicarbonatos y sulfatos) que apuntan a la derecha.

A continuación, se presentan los diagramas de Stiff para las fuentes de agua subterránea muestreadas.

Figura 124

Diagramas de Stiff de los resultados de las fuentes hídricas subterráneas diseñado en *aquiferApp*



El manantial identificado con el código IFHC-07-07-MA-01 se clasifica como agua cálcica sulfatada. Este manantial presenta altas concentraciones de sulfatos, con menores cantidades de bicarbonatos, magnesio, cloro y sodio.

El río identificado con el código IFHC-07-07-MA-02 se clasifica como agua cálcica bicarbonatada. Este manantial presenta altas concentraciones de bicarbonatos, con menores cantidades de magnesio, cloro y sodio.

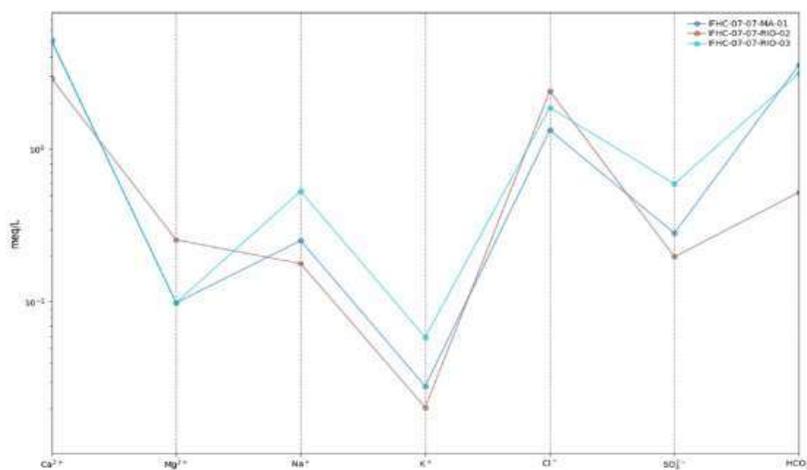
El río identificado con el código IFHC-07-07-MA-03 se clasifica como agua cálcica sulfatada. Este manantial presenta altas concentraciones de sulfatos, con menores cantidades de bicarbonatos, magnesio, cloro y sodio.

Diagramas de Scholler-Berkaloff

A través gráfico de Scholler-Berkaloff, empleando una escala logarítmica, es posible identificar las concentraciones de los iones. Este diagrama es útil porque permite representar varias muestras en un solo gráfico. En la siguiente figura, se ilustra el diagrama obtenido con los datos de la cuenca Ccolcayqui.

Figura 125

Diagrama de Scholler-Berkaloff de la cuenca de Ccolcayqui – Lucre



Para interpretar los registros de los estudios de agua subterránea y determinar si el flujo es local, regional o intermedio, se pueden usar las concentraciones de los principales iones, como Na+K y Cl+SO₄. Estos valores permiten inferir el tipo de flujo dependiendo de su relación y la

posible mezcla de aguas subterráneas provenientes de diferentes fuentes. 1. Na+K: - Bajo (alrededor de 4.9-6.9): Suele indicar aguas que no han estado demasiado tiempo en contacto con las formaciones rocosas, lo que sugiere un flujo local. Esto se debe a que los cationes Na+ y K+ provienen principalmente de procesos de disolución de minerales que están en las proximidades- Alto (14.5): Este valor más alto podría indicar un mayor tiempo de tránsito del agua subterránea, lo que sugiere un flujo regional o un componente más profundo de la circulación, donde el agua ha interactuado más. con los minerales del subsuelo 2.

9.3.3.2. Clasificación del agua subterránea

A partir de los gráficos interpretados, se logró identificar la facie hidro química según el ion mayoritario presente (anión y catión), cuyos datos se sintetiza en la siguiente tabla:

Tabla 89

Clasificación de las facies hidro químicas de las fuentes hídricas.

Muestra	Este	Norte	IRHS	Aniones dominantes	Cationes dominantes	Facie hidro química
M-1	196763	8486852	IFHC-07-07- MA-01	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Ca>Mg	Cálcicas sulfatadas
M-2	197231	8489246	IFHC-07-07- RIO-02	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca>Mg	Cálcicas bicarbonatadas
M-3	200150	8488604	IFHC-07-07- RIO-03	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Ca>Mg	Cálcicas sulfatadas

Del cuadro podemos concluir que el agua de la cuenca Ccolcayqui lo siguiente:

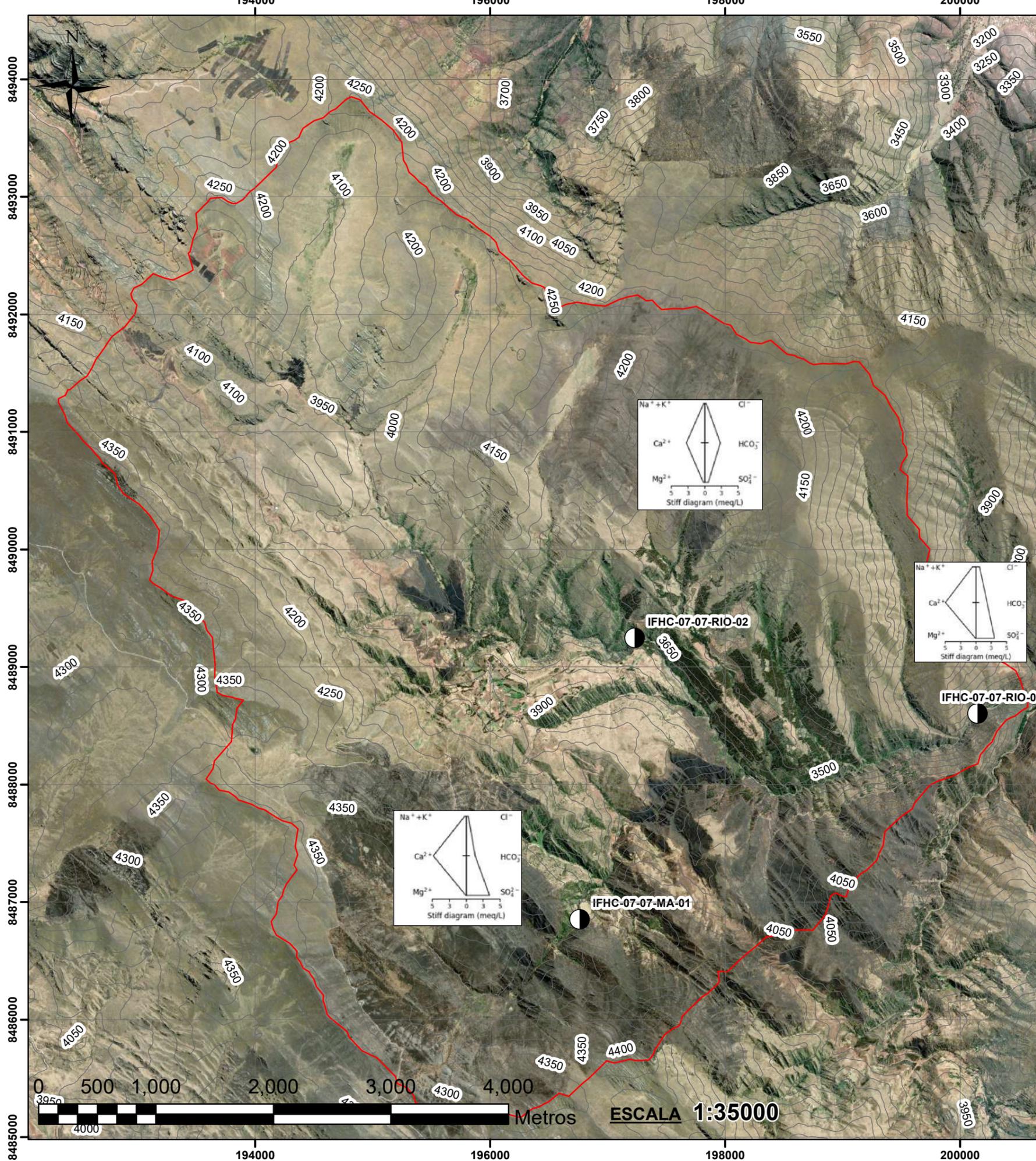
M-1: En este manantial, el tipo predominante, según los resultados de la tabla 89 y es APTO para consumo humano y se verifico con el diagrama de Schoeller. Por ende, el agua es Cálcicas sulfatadas magnésicas bicarbonatadas.

M-2: En el río, el tipo predominante, según los resultados de la tabla 89 y es APTO para consumo humano y se verificó con el diagrama de Schoeller. Por ende, el agua es Cálcidas bicarbonatadas magnésicas sulfatadas.

M-3: En el río, el tipo predominante, según los resultados de la tabla 89, y es APTO para consumo humano y se verificó con el diagrama de Schoeller. Por ende, el agua es Cálcidas sulfatadas magnésicas bicarbonatadas.

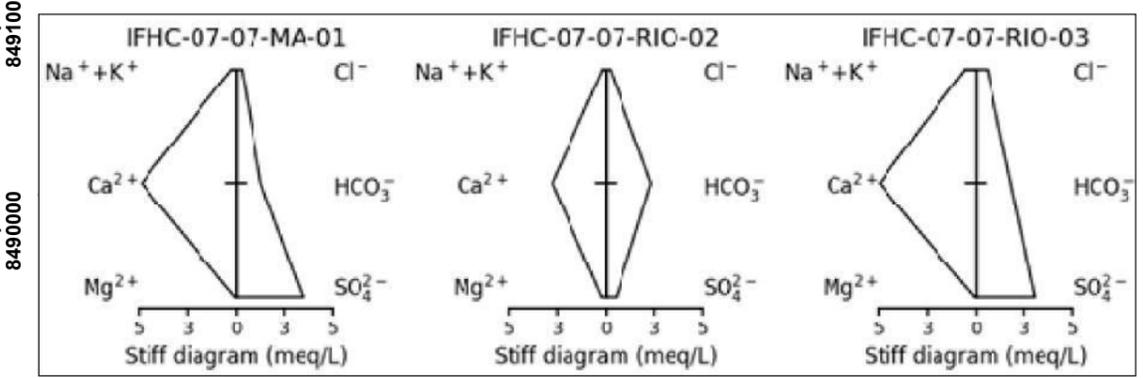
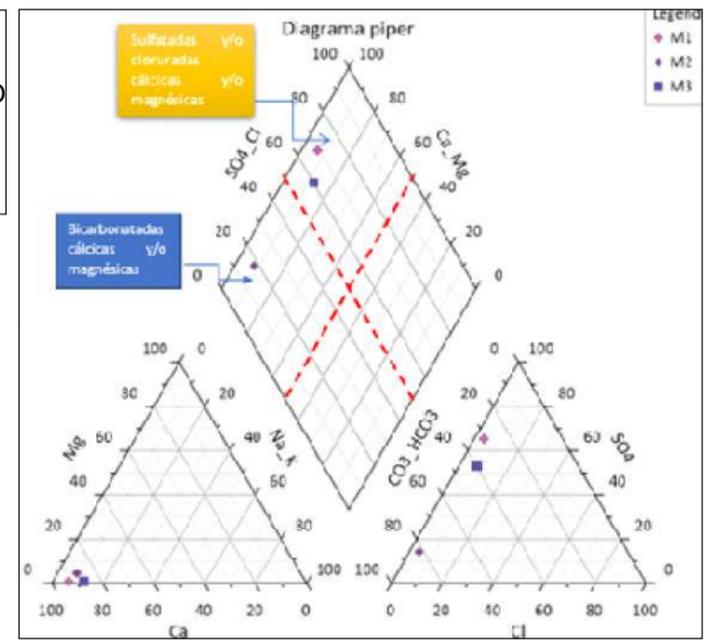
En resumen, de acuerdo con los datos obtenidos al comparar de cationes y aniones de las muestras de agua (ver tabla 89.), se identificaron dos tipos de familias que predominan en la cuenca Ccolcayqui, la familia más común es la cálcica sulfatada, que se originan en rocas sedimentarias, como las areniscas cuarzosas y feldespáticas (formación Kayra).

MAPA HIDROQUIMICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - DIST. LUCRE - PROV. QUISPICANCHI - DEP. CUSCO



SIMBOLOGIA

- PUNTOS_LABORATORIO
- Curvas_Nivel
- CUENCA



N°	Muestra	CODIGO	UBICACIÓN		PH	Sector / Quebrada	Escala de pH
			Este	Norte			
1	M1	IFHC-07-07-MA-01	196763	8486852	7	Quebrada Tancca	Neutro
2	M2	IFHC-07-07-RIO-02	197231	8489246	7.2	Hullpo	Alcalina o básica
3	M3	IFHC-07-07-RIO-03	200150	8488604	7.6	Ccolcayqui	Alcalina o básica

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO GEOLOGO			
"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI DEP. CUSCO - 2023"			
Mapa: MAPA HIDROQUIMICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI - LUCRE-QUISPICANCHI			
Asesor: MSc. ING. FREDY VICTOR BUSTAMANTE PRADO		Responsable: Bach. ANCCO CURAMPA, YENY KARINA Bach. LIMACHI CATARI, EDITH ROSMERY	
Ubicacion: Dep. CUSCO Prov. QUISPICANCHI Dist. LUCRE		Datum: WGS 84 Sistema de Proyeccion: UTM ZONA 19 L	
		Escala: 1:35000 Fecha: 2025	
		Lamina: P-18	

CONCLUSIONES

Primera:

A partir del estudio hidrogeológico se pudo determinar que el potencial hídrico de la cuenca Ccolcayqui es bueno ya que presenta tres acuíferos fisurados representados por la Fm. Kayra, Soncco II y Punacancha, y un acuitardo Soncco I. Los acuíferos reconocidos en el área de estudio incluyen acuíferos fisurados y acuíferos porosos no consolidados. Los acuíferos fisurados se encuentran en las formaciones Kayra, Soncco II y Punacancha, compuesta de intercalaciones de areniscas, lutitas con valores de permeabilidad promedios de 0.0028m/día, hasta 26.01 m/día. Por otro lado, el acuífero poroso no consolidado corresponde a los depósitos coluviales y proluviales, compuestos por gravas con Matriz arenosa-limosa, con valores de permeabilidad promedio 1.22m/día y 0.55m/día el cual se extienden en las faldas del cerro y con ayuda de la geología estructural mediante el mapeo geo mecánico de los macizos rocosos, se halló el RQD en la formación Kayra con 54%(Regular), Soncco I con 43%(Pobre), Soncco II con 58%(Regular) y Punacancha 48.89%(Pobre)

Segunda:

El mapeo geomorfológico identificó cinco subunidades principales: montañas en roca sedimentaria, vertiente coluvial de detritos, vertiente eluvial, vertientes aluvio-torrenciales y terrazas aluviales. Predominan las montañas en roca sedimentaria, que cubren 37.87 km², y las pendientes fuertemente empinadas (50%-75%), que abarcan 20.31 km² de la cuenca.

Tercera:

El mapeo geológico de la cuenca identificó cuatro formaciones principales: Kayra, Soncco I y II (Paleógeno-Eoceno) y Punacancha I y II, además de depósitos cuaternarios como

los aluviales, coluviales, proluviales, fluviales y eluviales, destacando la Formación Kayra como predominante en los afloramientos rocosos de la zona.

Cuarta:

En la geología estructural se determinó el control estructural de la cuenca que está determinado por el anticlinal Saylla-Lucre que atraviesa la zona baja de la cuenca con un buzamiento hacia el noroeste, también se identificaron fallas inversas inferidas, fallas de normales ubicadas de forma longitudinal en la cuenca y plegamientos a escalas menores dentro del área de estudio, se deduce que la falla de primer orden a nivel regional que influye a la zona cuenca Ccolcayqui es la falla de San Juan de Quihuares siendo la causante de las deformaciones locales presentes en la cuenca con el cambio estructural modificado en el grupo San Jerónimo dando como resultado los buzamientos de manera subterránea a favor de la cuenca Ccolcayqui por el cual fluye el agua de manera subterránea hacia la zona de estudio, junto con la ayuda de las fallas presentes en el margen derecho de la cuenca.

Quinta:

La cuenca de Ccolcayqui posee un área de extensión de 40.25 km², con una longitud de contorno de 28.32km y la longitud del río principal de 10.4 km. Hidrográficamente según la codificación de Pfafstetter, la cuenca de Ccolcayqui tiene una codificación 4994977619, según la curva hipsométrica esto señala que la cuenca está en una etapa temprana de evolución o como se dice fase juventud.

Sexta:

El área de estudio registra una precipitación media mensual de 704.40 mm/año, cuenta con una temperatura media mensual es de 12.2°C, en tanto la temperatura máxima es de 20.4 °C, en tanto la temperatura mínima es de 4 °C. además, analógicamente la evapotranspiración real es

de 34.35 mm, con una escorrentía superficial de 168.57 mm, una infiltración de 367.49 mm/año, y como resultado -186.370 de déficit en el balance hídrico de almacenamiento , que representa el volumen de agua necesario para satisfacer las demandas potenciales en el distrito de Lucre.

Séptima

Se identificaron 25 fuentes de agua en toda la cuenca de estudio, un río de tercera categoría, en la comunidad de Ccolcayqui, con código IFHM -1, de acuerdo con las directrices establecidas por la ANA, que tiene 69.300 litros/segundo, cuatro ríos de quinta categoría, con código IFHM-5 en la Quebrada Hullpo, IFHM-8 en el sector Percacollo, IFHM-9 en el sector Cachopata, y IFHM-16 en el sector Ccesceorco, trece manantes y riachuelos de sexta categoría, con códigos IFHM-3 en el sector Chihuacuyoc, IFHM-6 en el sector Patococha, IFHM-7 el sector Quinsacruz, IFHM-10 en Ushoabamba , IFHM-11 y IFHM -12 en el sector Cacllacancha , IFHM-13 y IFHM-14 en el sector Yupani, IFHM-15 en el sector Ccesce , IFHM-17 y IFHM-18 en el sector Pejaran, IFHM-19 en el sector Quishuarcancha y IFHM-20 en el sector Misquiunuyoc, poseen 1.750, 1.750, 1.685, 1.250, 1.820, 1.950, 2.643, 1.984, 1.780, 1.990, 2.750 y 2.550 Litros/Segundo respectivamente, dos manantes de séptima categoría, identificados con los códigos IFHM-2 del sector Cullumayo y IFHM-4 en el sector de Ispac Rumiyoq, que poseen 0.43 y 0.951 litros/segundo respectivamente.

Octava:

Se determinó las características de las unidades hidrogeológicas como acuíferos con fracturas sedimentarias en las Fm. Kayra, Soncco II y Punacancha y los acuíferos porosos no consolidados en depósitos cuaternarios como los proluviales, aluviales, y el porte de masas de agua por precipitaciones torrenciales y precipitaciones fluviales prolongadas que se infiltran a través de las

fisuras presentes en las rocas y es el principal alimentador es las fallas geológicas encontradas en las diferentes formaciones, estas fracturas muestran dos direcciones principales NO-SE.

Novena:

Se determinó las características del agua subterránea mediante la clasificación por iones dominantes, con el diagrama de Piper el análisis fisicoquímico del agua fue clasificada como Cálcidas sulfatadas, además se realizó el análisis hidroquímico por el diagrama de potabilidad de Scholler-Berkaloff y se determinó que las aguas de la cuenca Ccolcayqui son adecuadas para el consumo humano ya que los parámetros analizados están dentro de los límites permisibles según la OMS.

RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda evitar el uso de fertilizantes agrícolas en la zona de cabecera de la cuenca para reducir la contaminación del agua. Esto es importante porque estas sustancias pueden filtrarse hacia los acuíferos y afectar la calidad del agua, lo cual es especialmente crítico en zonas donde el agua se recolecta y distribuye a lo largo de la cuenca.

Segunda

Es recomendable realizar exploraciones en las zonas de recarga de la cuenca utilizando métodos indirectos, como la tomografía eléctrica 2D, con una profundidad superior a los 60 metros. Esto permite obtener información detallada sobre los límites de las unidades geológicas. Adicionalmente, es útil aplicar métodos directos, como la perforación de pozos exploratorios, para definir el caudal de extracción y calcular la capacidad del pozo, así como para medir el nivel estático y dinámico del agua y el espesor del acuífero.

Tercera

Se recomienda perforar pozos en la zona de estudio para determinar la forma y estructura exacta de los acuíferos y conocer con precisión el nivel piezométrico, que es la medida de presión del agua en el acuífero y es fundamental para su correcta gestión.

Cuarta

Es importante implementar proyectos de saneamiento que proporcionen servicios de desagüe y alcantarillado en la comunidad de Ccolcayqui. Esto ayudaría a evitar que las aguas residuales se infiltren en el subsuelo, previniendo así la contaminación del agua de la cuenca tanto en su recorrido subterráneo como en la superficie

BIBLIOGRAFIA

Academia.edu. (s.f.). Obtenido de

https://www.academia.edu/12631866/manual_conociendo_la_roca

Alfaro, P., Martinez, & Castaño. (2005). *Fundamentos de hidrogeología.* Mundi-Prensa.

Aparicio Mijares, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* Grupo Noriega Editores.

Araque, M. (2019). *Cuencas Hidrograficas* (Primera ed.). Universidad Politécnica Salesiana.

Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Aspectos Biofísicos. (s.f.). Obtenido de Cortolima:

https://cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf

Burgos, A., & Sosa, J. (2015). *Dimensiones sociales en el Manejo de la Cuenca.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Calderon Yopez, K. A., & Quillahuaman Muñoz, C. (2021). ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LAS MICROCUENCAS SANTO DOMINGO-ACOPIA Y HUAYRACHAPI – MISKIUNU, EN EL DISTRITO DE ACOPIA, ACOMAYO, CUSCO - 2019. Universidad Naaacional de San Antonio Abad del Cusco.

Carlotto Caillaux, V. S., & Cardenas Roque, J. D. (2011). *Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000.* Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

Carlotto, V., Cardenas, J., Oviedo, M., & Pari, W. (2004). *Geología de Choquequirao.*

INGEMMET. Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/375>

- Chereque, W. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Obtenido de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Choquehuanca, A. (1999). *Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Río Lucre*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioidesarrollo/article/view/8077>
- Custodio, & Llamas. (1983). *Aguas Subterráneas* (Segunda ed.). Omega.
- Davila, J. (2011). *DICCIONARIO GEOLÓGICO*. INGEMMET. Obtenido de <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2020/12/DIC-GEOLOGICO.pdf>
- González, Luis;. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/192346537/Gestion-de-cuencas-hidrograficas-E-Zorrilla>
- Gutierrez, E. (2008). *Geomorfología*. Pearson. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/216501503/Geomorfologia-Mateo-Gutierrez-Elorza>
- Lopez, C. (2023). *Estudio Hidrogeológico para determinar el potencial hídrico en la microcuenca de Ccorao - Mandorani, Distrito San Sebastian, Provincia de Cusco, Region Cusco-2022*. Cusco.
- Mantilla, H. (2017). *Geología General*. Grupo Editorial MEGABYTE S.A.C. Obtenido de https://www.sancristoballibros.com/libro/geologia-general_82878
- Márquez Gajardo, M. (2024). *Actualización hidrogeológica y estimación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos de las cuencas del Río Teno y Lontué, Región del Maule*. Maule: Universidad Mayor para espíritus emprendedores.
- Mejia, A. (2018). *Hidrología Aplicada*. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.

- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en La Ingeniería* (2da ed.). Alfaomega. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/417576683/Hidrologia-en-La-Ingenieria-2da-Edicion-German-Monsalve-Saenz>
- Ordoñez , J. J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Sociedad Geografica de Lima. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/geologia/ordonez-2011-nota-8/9117684>
- Peña Monne, J. L. (1997). *Cartografía geomorfológica: básica y aplicada*. University of Zaragoza. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/235863747_Cartografia_geomorfologica_basica_y_aplicada
- Villon, M. (2006). *Hidrologia Estadística*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://www.academia.edu/94279341/HIDROLOG%20DA_ESTADISTICA_M%20A1ximo_Vill%20B3n_B%20A9jar
- Zorrilla , E. (2011). *Gestion de Cuencas Hidrograficas*. Universidad Nacional del Centro del Peru. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/192346537/Gestion-de-cuencas-hidrograficas-E-Zorrilla>

ANEXOS

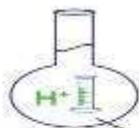
ANEXO A:

MUESTRA E

INFORMES DE

ESTUDIO DE

LABORATORIO



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° LQ 0452-24

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

SOLICITA

YENY KARINA ANCCO CURAMPA
 EDITH ROSMERY IIMACHI CATARL

PROYECTO : ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA CCOLCAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICACHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023

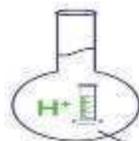
MUESTRA : M.- MANANTE TAUCA E:196763 N:8486852
DISTRITO : LUCRE,
PROVINCIA : QUISPICANCHI
DEPARTAMENTO : CUSCO
FECHA DE INFORME : 16/07/2024

RESULTADOS

DETERMINACIONES		UNIDAD	M.	LMP
Sabor			Acceptable	Acceptable
Olor			Acceptable	Acceptable
Color		UCV Pt/Co	0	15
Dureza Total CaCO ₃		mg/L	260	500
Calcio		mg/L	102	-
Magnesio		mg/L	1,2	-
Bicarbonatos HCO ₃		mg/L	81	-
Carbonatos CO ₃		mg/L	0	-
Acidez Total CO ₂		mg/L	2,6	-
Cloruros Cl		mg/L	10	250
Sulfatos SO ₄ ²⁻		mg/L	170	250
Sólidos Totales en Suspensión		mg/L	2	-
Sodio		mg/L	5,8	200
Potasio		mg/L	1,1	-
Hierro		mg/L	0,01	0,3
pH			7,0	6,5 - 8,5
Conductividad Eléctrica		µS/cm	665	1600
Sales Solubles Totales		mg/L	370	1000
Turbiedad		NTU	0,1	5,0

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP 234336

Página 1 de 2



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

NORMA: D.S. N° 004-2017 MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Categoría 1 - Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

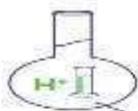
CONCLUSIÓN: De acuerdo a las determinaciones realizadas, la muestra de agua presenta los valores de análisis por debajo de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, por consiguiente, es **APTO** para dicho uso.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP 234336

Análisis Físico-Químico para el Consumo de Agua



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10462897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° LQ 0453-24 ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

SOLICITA: YENY KARINA ANCCO GURAMPA
 EDITH ROSMERY LIMACHI CATARI.

PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRICO DE LA CUENCA OCCUCAYQUI DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA QUISPICACHI DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023

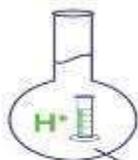
MUESTRA: M.: RIO HULLPO E: 197231 N: 8489246
 DISTRITO: LUCRE,
 PROVINCIA: QUISPICACHI
 DEPARTAMENTO: CUSCO
 FECHA DE INFORME: 15/07/2024

RESULTADOS

DETERMINACIONES		UNIDAD	M ₂	LMP
Sabor			Aceptable	Aceptable
Olor			Aceptable	Aceptable
Color		UCV P/Co	2	15
Dureza Total	CuCO ₃	mg/L	158	500
Calcio		mg/L	58	-
Magnesio		mg/L	3.1	-
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	mg/L	148	-
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	mg/l	0	-
Acidez Total	CO ₂	mg/L	7.7	-
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	7	250
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	25	250
Sólidos Totales en Suspensión		mg/l	4	-
Sodio		mg/L	4.1	200
Potasio		mg/L	0.5	-
Hierro		mg/L	0.05	0.3
pH			7.2	8.5 - 8.5
Conductividad Eléctrica		µS/cm	341	1200
Salos Solubles Totales		mg/L	227	1000
Turbiedad		N TU	0.5	5.0

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 INGENIERO QUIMICO
 CIP 23433B

Página 1 de 2



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10462897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

NORMA: D.S. N° 004-2017 MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Categoría 1 - Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

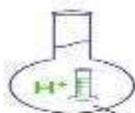
CONCLUSIÓN: De acuerdo a las determinaciones realizadas, la muestra de agua presenta los valores de análisis por debajo de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, por consiguiente, es APTO para dicho uso.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 INGENIERO QUIMICO
 CIP 23433B

Análisis Físico-Químico para el Consumo de Agua



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° I.Q. 0458-24

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

SOLICITA

YENY KARINA ANCOO GURAMPA,
EDITH ROSMERY LIMACHI CATARI.

PROYECTO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL
HÍDRICO DE LA CUENCA COOLGAYQUI, DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA QUISPICACHI,
DEPARTAMENTO DE CUSCO - 2023*

MUESTRA

M₃ - RIO AFOREO E:200150 N:8489604

DISTRITO

LUCRE

PROVINCIA

QUISPICACHI

DEPARTAMENTO

CUSCO

FECHA DE INFORME

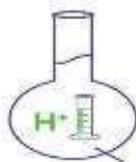
19/07/2024

RESULTADOS

DETERMINACIONES		UNIDAD	M ₃	LMP
Sabor			Acceptable	Acceptable
Olor			Acceptable	Acceptable
Color		UCV P/Co	0	15
Dureza Total	CaCO ₃	mg/L	265	500
Calcio		mg/L	104	-
Magnesio		mg/L	1.2	-
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	mg/L	114	-
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	mg/L	0	-
Acidez Total	CO ₂	mg/L	2.6	-
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	21	250
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	150	250
Sólidos Totales en Suspensión		mg/L	5	-
Sodio		mg/L	12.2	200
Potasio		mg/L	2.3	-
Hierro		mg/L	0.03	0.3
pH			7.6	6.5 - 8.5
Conductividad Eléctrica		µS/cm	503	1500
Sales Solubles Totales		mg/L	380	1000
Turbiedad		NTU	0.5	5.0

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
INGENIERO QUÍMICO
CIP 23438

Página 1 de 2



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

NORMA: D.S. N° 004-2017 MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Categoría 1 - Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

CONCLUSIÓN: De acuerdo a las determinaciones realizadas, la muestra de agua presenta los valores de análisis por debajo de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, por consiguiente, es APTO para dicho uso.

NOTA:

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
INGENIERO QUÍMICO
CIP 23438

Análisis Físico-Químico para el Consumo de Agua