

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



TESIS

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS
FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL
DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO
DEL CUSCO**

PRESENTADO POR:

BR. NORMA HUARANCCA FLORES

BR. IRIS DANAE QUISPE AGUILAR

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

ASESOR:

DR. RONALD LUIS LOPEZ ZAPANA

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO"

presentado por: Huaranca Flores, Norma con DNI Nro.: 45541033 presentado por: Quispe Aguilar Iris Danae con DNI Nro.: 70367795 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 05%.

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, 06 de Enero de 2025


Firma
Post firma Ronald Luis Lopez Zapana
Nro. de DNI 23923900

ORCID del Asesor 0000-0003-0148-6535

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:419502869

NORMA IRIS HUARANCCA QUISPE

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:419502869

Fecha de entrega

6 ene 2025, 1:48 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

6 ene 2025, 2:02 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS PACRAMAYO FINAL NORMA E IRIS corr.pdf

Tamaño de archivo

30.7 MB

182 Páginas

38,406 Palabras

202,799 Caracteres

5% Similitud general

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




Filtrado desde el informe

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

Exclusiones



- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
49 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
6 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

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

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a mis padres Melchor y Dionicia que consiguieron formarme inculcarme en esta trayectoria de la vida, con los buenos valores y su amor incondicional acompañándome en cada instante de la vida. A mis hermanos Cesar, Rene, Yurica, Darcy por las recomendaciones que me proporcionaron para recargar cada día de mis días con felicidad. A mi sobrino Albeiro por brindarme felicidad cada día.

Norma Huaranca Flores

A mis dos padres que ahora son los ángeles que me protegen día a día; a mi padre Félix Quispe Ccori y a mi abuelo Hermógenes Aguilar Ttamata que siempre llenaron de alegría mis días y me inculcaron a cumplir mis metas.

A mi madre Luz Aguilar Condori le agradezco por ser el cimiento de mi vida, la motivación y el respaldo incondicional que me brindo durante todos mis estudios y siempre haber sido mi fortaleza. A mis hermanas Laura, Luz Ch'asca y Urpi, que siempre me brindaron esperanzas y recomendaciones para continuar alcanzando mis objetivos y por su respaldo en los momentos más complicados.

Iris Danae Quispe Aguilar

AGRADECIMIENTO

Agradecemos con mucha gratitud a Dios, quien con su bendición llena cada momento de nuestra vida y a nuestras familias por estar presente.

Estamos agradecidas a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, a toda la escuela profesional de ingeniería Geológica, a mis docentes que a través de la impartición de sus valiosos conocimientos permitieron nuestro crecimiento profesional diario. Muchas gracias a todos ustedes, por su compromiso, paciencia, apoyo incondicional y amistad. Al Mgt. Ronald Luis López Zapana, por la dedicación de su tiempo, su valiosa orientación y asesoramiento en el trabajo de investigación.

Al Ing. Ronal Zavaleta por apoyo incondicional y buenos consejos brindados en los aportes, observaciones y recomendaciones.

Al Ing. Carlos Huamán Sucso por su apoyo incondicional y los consejos brindados en los aportes del trabajo de investigación.

Gracias a nuestros amigos: Jhon Albert, Jarly, Rosmery, Roly, Juan, Candelaria, Alex Leonardo por todo el respaldo en las salidas de campo y las recomendaciones proporcionadas.

PRESENTACIÓN

El aprovechamiento de las fuentes hídricas debe ser regularizado y bien administrado para así evitar malgastar la fuente hídrica y darle un buen uso y rentabilidad.

Hoy en día, una buena gestión del recurso hídrico permite conservar el elemento principal que es el agua, generando un buen uso y una manera de aumentar su caudal y proporcionar para que este suministre a todas las poblaciones y evitar déficits grandes y la falta de abastecimiento del agua, realizando el estudio hidrogeológico de la microcuenca relacionando su descripción geológica, geomorfológica, seguido a las características hidrológicas e hidrogeológicas; de esta manera, se alcanza un modelo conceptual fundamentado en la información obtenida durante en el proceso. Los resultados previstos pueden proporcionar información y servir como base para futuros proyectos vinculados a temas hidrogeológicos dentro del ámbito de estudio.

RESUMEN

El presente estudio de investigación se titula “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO”. El mismo se llevó a cabo en el distrito de Lucre, en la provincia de Quispicanchi, ubicado en la región del Cusco, con el objetivo de realizar el análisis hidrogeológico de la zona. La microcuenca Pacramayo tiene como objetivo identificar fuentes de agua para su posterior identificación. El uso para consumo humano, agricultura y ganadería de la zona, funcionará también como instrumento de consulta para iniciar futuros proyectos de zonificación ecológica, económica y de abastecimiento de agua en sus comunidades de la microcuenca de Pacramayo.

La microcuenca Pacramayo se ubica al suroeste de la ciudad de Lucre, ubicada en las comunidades campesinas de Pacramayo, Colcaiquí, Quehuarpata, Huar cay, tiene una superficie de 23,41km² y un perímetro de 20,67km, donde se pueden destacar tres quebradas: Pukaqocha, Hatun chinchay, huchuy chinchay, las coordenadas UTM del área de estudio son 200493.13E y 8485333.67N y tiene una altitud de 4003.5 metros sobre el nivel del mar.

Los objetivos a considerar en este trabajo son: determinar las características hidrológicas, identificar y delimitar las unidades geológicas y geomorfológicas, identificar y delimitar las unidades hidrogeológicas, a través del inventario de manantiales, hidroquímica, permeabilidades, etc. Identificar las existentes Zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas en la microcuenca.

La microcuenca Pacramayo tiene una codificación de 4994969. La precipitación promedio mensual es de 607.9 mm/año, la temperatura promedio mensual es de 9.2 °C, la temperatura máxima es de 16.4 °C y además la temperatura mínima es de 1.7 °C, la

evapotranspiración real es 502,3 mm/año, el escurrimiento superficial es de 88,07 mm/año y la infiltración es de 17,55 mm/año, el balance hídrico entre aportes y pérdidas de agua, en toda la microcuenca hidrogeológica es de 39,21 mm, que es el valor del agua acumulada en los acuíferos.

Mediante el uso del análisis e interpretación de la pendiente y geomorfología, en la microcuenca Pacramayo se determinó que en el área de estudio predominan las laderas de alta montaña, modernamente diseccionadas, con pendientes que varían entre el 25-50%, que cubre la mayor parte del área de estudio. Con porcentaje de área, también podemos mencionar las altas montañas escarpadas con una pendiente entre 50-75%, podemos mencionar las altas montañas escarpadas con una pendiente >75%, por último, la llanura eluvial y la llanura modernamente diseccionada, con pendientes que varían entre 4-8%, las cuales se ubican en la parte baja de la microcuenca.

La geología local de la microcuenca está compuesta por la formación Kayra, Soncco miembro I y II, formación Punacancha, depósitos cuaternarios como aluviales y coluviales, deluviales, eluviales y fluviales.

En las unidades hidrogeológicas se distinguen tres tipos de acuíferos más importantes: los acuíferos fisurados sedimentarios de Kayra, el acuífero sedimentario pobre de Sonco y por último podemos mencionar el acuífero fluvial poroso no consolidado. Adicionalmente se destacaron 2 acuíferos porosos coluviales y coluvioaluviales.

En la microcuenca se registraron un total de 59 manantiales, los cuales fueron clasificados por sus valores de caudal; manantiales con caudales muy bajos, caudales bajos, caudales regulares, buenos caudales.

En la microcuenca se identificaron 2 zonas de recarga importantes, los depósitos eluviales ubicados en la parte superior de la microcuenca que actúan como aportes de los ríos

de la margen derecha de la microcuenca. Se identificaron dos tipos de familia que predominan en la microcuenca de Pacramayo, la familia dominante es la cálcica sulfatada, originaria de la roca sedimentaria, areniscas cuarzosas y feldespatos (Formación Kayra y Soncco), principalmente en los flancos del anticlinal de Lucre.

Palabras claves

Modelo hidrogeológico, acuíferos, aprovechamiento, uso de recursos hídricos.

ABSTRACT

This research study is entitled “HYDROGEOLOGICAL STUDY FOR THE USE OF WATER SOURCES IN THE PACRAMAYO MICRO-BASIN IN THE LUCRE DISTRICT, QUISPICANCHI PROVINCE, CUSCO DEPARTMENT”. It was carried out in the Lucre district, in the Quispicanchi province, located in the Cusco region, with the objective of carrying out a hydrogeological analysis of the area. The Pacramayo micro-basin aims to identify water sources for later identification. The use for human consumption, agriculture and livestock in the area will also serve as a consultation tool to initiate future ecological, economic and water supply zoning projects in its communities in the Pacramayo micro-basin. The Pacramayo micro-basin is located southwest of the city of Lucre, located in the peasant communities of Pacramayo, Colcaiquí, Quehuarpata, Huarcaiy, has an area of 23.41 km² and a perimeter of 20.67 km, where three ravines can be highlighted: Pukaqocha, Hatun chinchay, huchuy chinchay, the UTM coordinates of the study area are 200493.13E and 8485333.67N and has an altitude of 4003.5 meters above sea level.

The objectives to be considered in this work are: to determine the hydrological characteristics, determine the water balance, identify and delimit the geological and geomorphological units, identify and delimit the hydrogeological units, through the inventory of springs, hydrochemistry, permeabilities, etc. Identify the existing groundwater recharge and discharge zones in the micro-basin.

The Pacramayo micro-basin has a code of 4994969. The average monthly precipitation is 607.9 mm/year, the average monthly temperature is 9.2 °C, the maximum temperature is 16.4 °C and the minimum temperature is 1.7 °C, the actual evapotranspiration is 502.3 mm/year, the surface runoff is 88.07 mm/year and the infiltration is 17.55 mm/year, the water balance between water inputs and losses, in the entire hydrogeological micro-basin is 39.21 mm, which is the value of the water accumulated in the aquifers. Through the analysis and interpretation of the slope and

geomorphology, it was determined that in the Pacramayo micro-basin the study area, the high mountain slopes predominate, modernly dissected, with slopes that vary between 25-50%, which cover most of the study area. With percentage of area, we can also mention the high steep mountains with a slope between 50-75%, we can mention the high steep mountains with a slope >75%, finally, the eluvial plain and the modernly dissected plain, with slopes that vary between 4-8%, which are located in the lower part of the micro-basin.

The local geology of the micro-basin is composed of the Kayra formation, Soncco I and II member, Punacancha formation, Quaternary deposits such as alluvial and colluvial, deluvial, eluvial and fluvial.

In the hydrogeological units, three main types of aquifers are distinguished: the fissured sedimentary aquifers of Kayra, the poor sedimentary aquifer of Soncco and finally we can mention the unconsolidated porous fluvial aquifer. Additionally, 2 colluvial and colluvio-alluvial porous aquifers were highlighted.

In the micro-basin, a total of 59 springs were recorded, which were classified by their flow values; springs with very low flows, low flows, regular flows, good flows.

In the micro-basin, 2 important recharge zones were identified, the eluvial deposits located in the upper part of the micro-basin that act as contributions from the rivers on the right bank of the micro-basin. Two types of families were identified that predominate in the Pacramayo micro-basin, the dominant family is the sulphated calcic family, originating from sedimentary rock, quartz sandstones and feldspars (Kayra and Soncco formation), mainly on the flanks of the Lucre anticline.

Keywords

Hydrogeological model, aquifers, exploitation, use of water resources.

CONTENIDO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

PRESENTACIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

| | |
|---|---|
| CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES | 1 |
| 1.1. UBICACIÓN..... | 1 |
| 1.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA | 1 |
| 1.2. ACCESIBILIDAD | 2 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.4.1. PREGUNTA GENERAL..... | 3 |
| 1.4.2. PREGUNTAS ESPECIFICAS | 4 |
| 1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.5.1. OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | 5 |
| 1.7.1. HIPOTESIS GENERAL..... | 5 |
| 1.7.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS..... | 5 |
| 1.8. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 6 |
| 1.8.1. Variables dependientes | 6 |
| 1.8.2. Variables independientes | 6 |
| 1.9. METODOLOGIA O PLAN EXPERIMENTAL | 6 |
| 1.9.1. Métodos de investigación..... | 6 |
| 1.10.ETAPAS DE INVESTIGACION | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 1.10.1. Etapa I: Trabajo de Pre-Campo..... | 7 |
| 1.10.2. Etapa II: Trabajo de Campo 1 | 8 |
| 1.10.3. Etapa III: Trabajo de Post-Campo 1 | 8 |
| 1.11.ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION..... | 9 |
| CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL | 10 |
| 2.1. MARCO REFERENCIAL..... | 10 |
| 2.2. MARCO CONCEPTUAL..... | 12 |
| 2.2.1. Ciclo Hidrológico..... | 12 |
| 2.2.2. Zona no saturada o vadosa..... | 12 |
| 2.2.3. Zona Saturada | 13 |
| 2.2.4. Formaciones Geológicas y su comportamiento frente al agua | 13 |
| 2.2.5. Por su textura | 15 |
| 2.2.6. Hidrogeoquímica..... | 17 |
| 2.2.7. PARAMETROS DE CALIDAD Y LIMITES MAXIMO PERMISIBLES | 20 |
| 2.2.8. ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA..... | 21 |
| CAPITULO 3: GEOMORFOLOGIA..... | 23 |
| 3.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL..... | 23 |
| 3.2. ASPECTOS MORFOLOGICOS DE PACRAMAYO | 24 |
| 3.2.1. Quebrada (Q) / Carcava (C)..... | 24 |
| 3.2.2. Ladera de montaña (Ldm)..... | 25 |
| 3.2.3. Cima de montaña (Cm)..... | 27 |
| 3.2.4. Cono aluvial (Ca)..... | 28 |
| 3.2.5. Planicies | 28 |
| 3.3. MAPA DE PENDIENTES..... | 31 |
| CAPITULO 4: GEOLOGIA | 33 |
| 4.1. GEOLOGIA REGIONAL..... | 33 |
| 4.2. GEOLOGIA LOCAL..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 4.2.1. Grupo San Jerónimo (Peo-ky-so)..... | 35 |
| 4.2.2. Formación Punacancha I, II (Nom-pu-I, II)..... | 37 |
| 4.2.3. Deposito Coluvioaluvial (Q-coal)..... | 38 |
| 4.2.4. Deposito Aluvial (Q-al) | 39 |
| 4.2.5. Deposito Deluvial (Q-dl) | 40 |
| 4.2.6. Deposito Eluvial (Q-el)..... | 41 |
| 4.2.7. Deposito fluvial (Q-fl) | 41 |
| 4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL | 49 |
| 4.3.1. Falla Tambomachay | 49 |
| 4.3.2. Falla Cusco..... | 50 |
| 4.3.3. Falla Urcos | 50 |
| 4.3.4. Falla Paruro | 51 |
| 4.4. ASPECTOS ESTRUCTURALES EN PACRAMAYO..... | 53 |
| 4.4.1. Estructuras primarias..... | 53 |
| 4.4.2. Estructuras secundarias | 54 |
| CAPITULO 5: HIDROLOGIA..... | 63 |
| 5.1. Ubicación hidrográfica de la microcuenca | 63 |
| 5.2. Morfometría de la cuenca..... | 63 |
| 5.2.1. Parámetros generales..... | 63 |
| 5.2.2. Parámetros de relieve | 65 |
| 5.2.2.1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias | 67 |
| 5.2.2.2. Características de la red de drenaje | 68 |
| 5.3. INFORMACION HIDROMETEREOLOGICA..... | 69 |
| 5.3.1. PRECIPITACION..... | 69 |
| 5.3.2. TEMPERATURA | 76 |
| 5.3.3. EVAPOTRANSPIRACION | 77 |
| 5.3.4. EVAPOTRANSPIRACION REAL..... | 78 |

| | |
|--|------------|
| 5.3.5. Escorrentía superficial (ES) | 78 |
| 5.3.6. Infiltración (I)..... | 79 |
| 5.3.7. Balance hidrológico | 80 |
| CAPITULO 6: GEOFISICA..... | 82 |
| 6.1. FUNDAMENTOS DE LOS ENSAYOS GEOFISICA | 82 |
| 6.2. EQUIPO UTILIZADO..... | 89 |
| 6.3. Ubicación de los puntos de Sondeo Eléctrico Vertical | 90 |
| 6.4. Análisis e interpretación de resultados..... | 91 |
| 6.4.1. Análisis | 91 |
| 6.4.2. Procesamiento de resistividad eléctrica | 91 |
| 6.4.3. Interpretación de resultados..... | 91 |
| 6.4.4. Sondaje eléctrico vertical SEV-01 | 92 |
| 6.4.5. Sondaje eléctrico vertical SEV-02..... | 94 |
| 6.4.6. Sondaje eléctrico vertical SEV-03..... | 97 |
| 6.4.7. Sondaje eléctrico vertical SEV-04..... | 100 |
| 6.4.8. Secciones Geoelectricas a partir de los SEV | 103 |
| CAPITULO 7: HIDROGEOLOGIA | 106 |
| 7.1. GENERALIDADES..... | 106 |
| 7.2. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS..... | 106 |
| 7.2.1. POROSIDAD..... | 106 |
| 7.2.2. PERMEABILIDAD..... | 107 |
| 7.2.3. TRANSMISIVIDAD..... | 111 |
| 7.3. INVENTARIO DE FUENTES HIDRICAS | 112 |
| 7.4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS | 116 |
| 7.4.1. ACUIFEROS FISURADOS EN ROCAS SEDIMENTARIAS..... | 116 |
| 7.4.2. ACUIFERO POROSO EN DEPOSITOS CUATERNARIOS | 118 |

| | |
|--|-----|
| 7.5. ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA..... | 122 |
| 7.5.1. ÁREAS DE RECARGA..... | 122 |
| 7.5.2. ÁREAS DE DESCARGA..... | 123 |
| 7.6. HIDROGEOQUÍMICA | 127 |
| 7.6.1. GENERALIDADES | 127 |
| 7.6.1.1. LA HIDROQUÍMICA Y EL CICLO DEL AGUA..... | 127 |
| 7.6.2. HIDROGEOQUIMICA DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO | 128 |
| 7.6.2.1. MUESTREO Y TOMA DE DATOS DE CAMPO | 129 |
| 7.6.3. EQUIVALENTE QUIMICO..... | 130 |
| 7.6.4. COMPOSICION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS..... | 131 |
| DISCUSION DE RESULTADOS..... | 137 |
| CONCLUSIONES..... | 140 |
| RECOMENDACIONES..... | 142 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 143 |
| ANEXOS | 146 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Ubicación geográfica del distrito de Lucre</i> | 2 |
| Tabla 2 <i>Accesibilidad a la zona de estudio</i> | 2 |
| Tabla 3 <i>Limites máximo permisibles (LMP) referenciales de los parámetros de la calidad del agua</i> | 21 |
| Tabla 4 <i>Riego de vegetales y bebida de animales</i> | 22 |
| Tabla 5 Porcentaje de Unidades Geomorfológicas | 29 |
| Tabla 6 Clasificación de Pendientes | 31 |
| Tabla 7 Porcentaje de Unidades Litológicas..... | 42 |
| Tabla 8 Coordenadas UTM de las ventanas estructurales | 55 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Tabla 9 | Parámetros de las discontinuidades, ventana estructural Soncco I..... | 55 |
| Tabla 10 | Parámetros de las discontinuidades, ventana estructural Kayra margen derecha..... | 57 |
| Tabla 11 | Parámetros de las discontinuidades ventana estructural Kayra margen izquierda ... | 58 |
| Tabla 12 | Coordenadas de las fallas locales..... | 60 |
| Tabla 13 | Parámetros de forma de la microcuenca Pacramayo | 64 |
| Tabla 14 | Unidades Hidrográficas y rangos..... | 64 |
| Tabla 15 | Áreas parciales de la microcuenca Pacramayo | 66 |
| Tabla 16 | Datos de estaciones meteorológicas..... | 69 |
| Tabla 17 | División de periodos | 72 |
| Tabla 18 | Calculo de parámetros de cada periodo | 72 |
| Tabla 19 | Evaluación de consistencia en la media..... | 72 |
| Tabla 20 | Evaluación de consistencia de la desviación estándar | 73 |
| Tabla 21 | Matriz de Regionalización | 74 |
| Tabla 22 | Cuadro de precipitación de la microcuenca Pacramayo | 74 |
| Tabla 23 | Temperaturas de la microcuenca | 76 |
| Tabla 24 | Evapotranspiración de la microcuenca | 78 |
| Tabla 25 | Balance hídrico de la microcuenca | 80 |
| Tabla 26 | Valores de resistividad de rocas y suelos..... | 85 |
| Tabla 27 | Puntos de los ensayos de resistividad eléctrica..... | 90 |
| Tabla 28 | Datos de porosidad de las rocas | 107 |
| Tabla 29 | Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)..... | 108 |
| Tabla 30 | Datos de permeabilidad de las diferentes unidades geológicas | 109 |
| Tabla 31 | Valores de transmisividad de los manantes captados..... | 111 |
| Tabla 30 | Valores de transmisividad para puntos de caudales..... | 111 |
| Tabla 33 | Inventario de manantes en la microcuenca | 112 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 34 Clasificación por su productividad de los manantes..... | 114 |
| Tabla 35 Resultados de análisis químico de la muestra..... | 129 |
| Tabla 36 Equivalentes químicos de cationes y aniones | 130 |
| Tabla 37 Equivalentes químicos de cationes y aniones | 131 |
| Tabla 38 Clasificación iónica de aforos y familias de aguas..... | 131 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 Mapa de ubicación de la microcuenca Pacramayo | 1 |
| Figura 2 Tabla de formaciones geológicas frente al agua..... | 14 |
| Figura 3 Tipos de acuíferos según su textura..... | 15 |
| Figura 4 Tipos de acuíferos..... | 17 |
| <i>Figura 5 Geomorfología regional</i> | <i>23</i> |
| Figura 6 Muestra la presencia de la quebrada Qentepucara..... | 24 |
| Figura 7 Muestra la presencia de dos quebradas..... | 24 |
| <i>Figura 8 Muestra la presencia de la ladera de montaña escarpada en el sector de Colcaiqui</i> | <i>25</i> |
| Figura 9 Muestra la presencia de la ladera de montaña alta empinada..... | 26 |
| Figura 10 Muestra la presencia de la ladera de montaña alta moderadamente disectada..... | 26 |
| <i>Figura 11 Muestra la presencia de cimas de las montañas</i> | <i>27</i> |
| Figura 12 Muestra la presencia de la planicie moderadamente disectada | 28 |
| Figura 13 Muestra la presencia de la planicie eluvial | 29 |
| Figura 14 Geología Regional | 34 |
| Figura 15 Presencia de areniscas y lutitas en la zona de estudio..... | 35 |
| Figura 16 Areniscas de coloración grisácea..... | 36 |
| Figura 17 Muestra el contacto de la Formación Soncco entre los miembros I y II..... | 36 |
| <i>Figura 18 Areniscas fracturadas y alteradas</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 19 Afloramiento de la formación Punacancha</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 20 Areniscas finas de la formación Punacancha.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 21 Presencia de clastos angulosos en matriz limo arcillosa</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 22 Presencia del material aluvial.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 23 zonas de cultivo del centro poblado de Quehuarpata</i> | <i>40</i> |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 24 zonas de cultivo del sector de Colcaiqui</i> | 40 |
| <i>Figura 25 presencia de los depósitos eluviales</i> | 41 |
| <i>Figura 26 se observa las gravas arenosas del rio Pacramayo</i> | 42 |
| <i>Figura 27 Se observan las líneas de secciones en la microcuenca</i> | 44 |
| <i>Figura 28 Sección geológica 1 dirección NE – SW</i> | 48 |
| <i>Figura 29 Sección geológica 2 dirección SE – NW</i> | 48 |
| <i>Figura 30 Mapa de geología estructural regional</i> | 52 |
| <i>Figura 31 Estratificación flanco izquierdo de la microcuenca Pacramayo</i> | 53 |
| <i>Figura 32 Estratificación flanco derecho de la microcuenca Pacramayo</i> | 53 |
| <i>Figura 33 Formato de los parámetros de fracturas medidos en campo</i> | 54 |
| <i>Figura 34 Ventana estructural de la Formación Soncco I</i> | 56 |
| <i>Figura 35 Planos de fractura de la Formación Soncco I en la zona de estudio</i> | 56 |
| <i>Figura 36 Ventana estructural de la Formación Kayra margen derecha</i> | 57 |
| <i>Figura 37 Planos de fractura de la Formación Kayra de la zona de estudio</i> | 58 |
| <i>Figura 38 Ventana estructural de la Formación Kayra margen izquierda</i> | 59 |
| <i>Figura 39 Planos de fractura de la Formación Kayra margen izquierda de la zona de estudio</i> | 59 |
| <i>Figura 40 Falla de rumbo inferida</i> | 60 |
| <i>Figura 41 Presencia de la falla inversa en la Formación Kayra</i> | 61 |
| <i>Figura 42 Falla normal en areniscas de la Formación Soncco I</i> | 61 |
| <i>Figura 43 Áreas parciales de la microcuenca Pacramayo</i> | 66 |
| <i>Figura 44 Curva hipsométrica de la microcuenca Pacramayo</i> | 67 |
| <i>Figura 45 Polígono de frecuencias de la microcuenca Pacramayo</i> | 67 |
| <i>Figura 46 Hidrografía de la microcuenca Pacramayo</i> | 68 |
| <i>Figura 47 Serie histórica de precipitaciones</i> | 70 |
| <i>Figura 48 Diagrama de Doble Masa</i> | 71 |
| <i>Figura 49 Diagrama de la precipitación media mensual</i> | 76 |
| <i>Figura 50 Diagrama de temperatura media, máxima y mínima</i> | 77 |
| <i>Figura 51 Esquema del principio de resistividad</i> | 82 |
| <i>Figura 52 Resistividades de diferentes rocas y minerales</i> | 84 |
| <i>Figura 53 Resistividades de diferentes materiales geológicos</i> | 85 |
| <i>Figura 54 Arreglo tetraelectrodico método Schlumberger</i> | 86 |
| <i>Figura 55 Arreglo Werner, con equidistantes de AMNB</i> | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 56 Arreglo Schulumberger. Los electrodos A, B se abren y M y N quedan fijos respecto a P. | 88 |
| Figura 57 Equipo de geofísica utilizado | 88 |
| Figura 58 Dispositivo de equipos | 89 |
| Figura 59 Ubicación espacial de los SEV en la microcuenca..... | 90 |
| Figura 60 Proceso de inversión de resultados..... | 92 |
| Figura 61 Curva de resistividad | 93 |
| Figura 62 Perfil geoelectrico de resistividad..... | 93 |
| Figura 63 Proceso de inversión de resultados..... | 94 |
| Figura 64 Curva de resistividad | 95 |
| Figura 65 Perfil geoelectrico de resistividad..... | 96 |
| Figura 66 Proceso de inversión de resultados..... | 97 |
| Figura 67 Curva de resistividad | 98 |
| Figura 68 Perfil estratigráfico y de resistividad..... | 99 |
| Figura 69 Proceso de inversión de resultados..... | 100 |
| Figura 70 Curva de resistividad | 101 |
| Figura 71 Perfil estratigráfico y de resistividad..... | 102 |
| Figura 72 Sección SEV 01 – SEV 02 – SEV 03 – SEV 04..... | 103 |
| Figura 73 Sección SEV 04 – SEV 03 – SEV 02..... | 103 |
| Figura 74 Sección SEV 01 – SEV 02 | 104 |
| Figura 75 Sección SEV 01 – SEV 02, SEV 03, SEV 04..... | 105 |
| Figura 76 Diagrama de permeabilidad..... | 110 |
| Figura 77 Ensayos de permeabilidad carga variable..... | 110 |
| Figura 78 Medida de caudales de los manantes..... | 112 |
| Figura 79 Cantidad de manantes según su productividad..... | 114 |
| Figura 80 Acuífero fisurado sedimentario Kayra | 117 |
| Figura 81 Acuífero fisurado sedimentario pobre Soncco I | 118 |
| Figura 82 Acuífero poroso aluvial, sector Colcaiqui | 119 |
| Figura 83 Acuífero poroso deluvial, sector Patacancha..... | 119 |
| Figura 84 Acuífero poroso aluvial, sector Caraypampa | 120 |
| Figura 85 Zonas de recarga de la microcuenca..... | 122 |
| Figura 86 Zonas de descarga de la microcuenca..... | 123 |
| Figura 87 Zonas de recarga y descarga de la microcuenca..... | 124 |
| Figura 88 Datos de PH de las muestras de campo | 130 |

| | |
|--|------------|
| <i>Figura 89 Clasificación de agua ricos en sodio y salinización</i> | <i>132</i> |
| <i>Figura 90 DIAGRAMA DE PIPER.....</i> | <i>133</i> |
| <i>Figura 91 DIAGRAMA DE SHOELLER</i> | <i>134</i> |

UBICACIÓN POLÍTICA

La ubicación geográfica del distrito Lucre están registrados en proyección WGS 1984, franja 19L, con las coordenadas UTM siguientes: (Tabla 1)

Tabla 1 *Ubicación geográfica del distrito de Lucre*

| Sistema | Datum | Componentes | Valor | |
|-------------------------|------------------------------|--|--------------|------------|
| | | | Mínimo | Máximo |
| Coordenadas geográficas | Horizontal WGS 1984 | Longitud oeste | 71°45'59.8'' | 71°44'58'' |
| | | Latitud sur | 13°38'56.1'' | 13°42'36'' |
| Coordenadas UTM zona 19 | Horizontal WGS 1984 | Metros este | 200675 | 202620 |
| | | Metros norte | 8488790 | 8482655 |
| Altitud | Vertical nivel medio del mar | Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) | 3597 | 4301 |

Fuente: Elaboración propia

1.2. ACCESIBILIDAD

Existen dos accesos posibles para la zona de estudio a partir de la ciudad del Cusco.

Tabla 2 *Accesibilidad a la zona de estudio*

| | RUTA | TIEMPO | KM | TIPO |
|--------|---|-----------|----|---------------------|
| RUTA 1 | Plaza Túpac amaru - Ovalo - Vía de Evitamiento - Saylla - Oropesa - Huacarpay - Lucre | 1h 1 min | 34 | Carretera Asfaltada |
| RUTA 2 | Garcilaso - Av. La cultura - Carr. Cusco -Paucartambo - Huacarpay - Lucre | 1h 15 min | 34 | Carretera Asfaltada |

Fuente: Elaboración propia

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El incremento en la necesidad de agua en las comunidades campesinas que pertenecen al distrito de Lucre como Yanamanchi, Pacramayo, Huar cay, Colcayqui se debe al crecimiento urbano. Es importante señalar que la población actual en todo el distrito es de 4020 habitantes, lo que provoca una mayor demanda de uso de recurso hídrico. El cambio climático, la ignorancia en la conservación del recurso hídrico, así como el uso inadecuado y no técnico de fuentes de agua existentes son los factores principales de un déficit de agua.

Los manantes en la microcuenca son las fuentes de suministro de agua para las comunidades de Lucre. Dado que son elementos altamente vulnerables a los factores antes mencionados, se nota claramente una reducción de los caudales y en numerosos casos la desaparición de estos, por lo que no satisfacen la demanda productiva que se produce sobre ellos.

Considerándose la agricultura y piscicultura como las principales actividades económicas de las comunidades en el poblado de Lucre, las cuales están siendo perjudicadas de manera negativa. Ante esta problemática global y particularmente en el ámbito local que atraviesa el poblado de Lucre y sus comunidades, es que vamos a realizar “El estudio hidrogeológico para el aprovechamiento de las fuentes hídricas de la microcuenca Pacramayo del distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco”.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. PREGUNTA GENERAL

¿Cuáles son las características hidrogeológicas para el aprovechamiento de las fuentes hídricas de la microcuenca de Pacramayo del distrito de Lucre provincia de Quispicanchi departamento del Cusco?

1.4.2. PREGUNTAS ESPECIFICAS

1. ¿Cuáles son las unidades geológicas presentes en la microcuenca Pacramayo?
2. ¿Cuáles son las características hidrológicas de la microcuenca Pacramayo?
3. ¿Cuáles son los principales parámetros hidrogeológicos de la microcuenca Pacramayo?
4. ¿Cuáles son las características hidroquímicas y fisicoquímicas de las fuentes hídricas de la microcuenca Pacramayo?
5. ¿Cuáles son las zonas de recarga y descarga de acuíferos de la microcuenca Pacramayo?

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características hidrogeológicas de la microcuenca Pacramayo del distrito de Lucre con el propósito del aprovechamiento de las fuentes hídricas dejando una línea de base de conocimiento hidrogeológico de la zona para una adecuada gestión del recurso hídrico.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las formaciones geológicas presentes en la microcuenca Pacramayo de interés como acuífero.
2. Determinar las características hidrológicas de la microcuenca Pacramayo.
3. Determinar los parámetros hidrogeológicos de las unidades hidrogeológicas de la zona.
4. Caracterizar los parámetros hidroquímicos de las aguas subterráneas de la microcuenca de Pacramayo
5. Identificar las zonas de recarga y descarga de la zona.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se justifica dado que proporciona datos básicos de hidrogeológica e hidroquímica, dado que en el distrito de Lucre no se han realizado investigaciones anteriores a

nivel local. Este estudio beneficiara a las comunidades de Pacramayo, Quehuarpata, Colcaiqui, así como a los centros poblados que se encuentren dentro de la zona de estudio.

El estudio comprende la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas y puede servir como un fundamento de conocimientos generales sobre la hidrogeología del distrito para proponer proyectos posteriores de captación y explotación de aguas subterráneas con el fin de cubrir la necesidad de agua de los pobladores, ya sea para el consumo humano, la agricultura o ganadería. Además, puede servir de línea base para futuras investigaciones más detalladas, para realizar proyectos de forestación, y gestión de cuenca en las comunidades del ámbito de estudio.

Además, permitirá la identificación del número y caudal de los manantes presentes en la microcuenca, con el objetivo de prevenir conflictos por el tema hídrico en el futuro y sirve como tesis de pregrado para la obtención del título de ingeniero geólogo.

1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. HIPOTESIS GENERAL

Las características hidrogeológicas de la microcuenca Pacramayo son favorables para el aprovechamiento hídrico de agua subterránea por la presencia de acuíferos drenantes en varios sectores y la presencia de macizos rocosos fracturados.

1.7.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

1. La formación Kayra conformada por las rocas areniscas, se encuentran fracturadas y son importantes para la recarga de los acuíferos; los depósitos cuaternarios como fluviales, aluviales son de interés hidrogeológico de la microcuenca Pacramayo.
2. La precipitación en las zonas altas son las generadoras de recarga de acuíferos en la microcuenca de Pacramayo y las zonas de descarga en los manantiales que emergen y

mediante evapotranspiración condicionan un balance hídrico negativo en la oferta hídrica.

3. Las características hidrogeológicas de la microcuenca de Pacramayo como la porosidad, permeabilidad y transmisividad son favorables para la conformación de acuíferos con zonas emergentes de aguas subterráneas, sin embargo, por las condiciones de los macizos rocosos poco fracturados sugieren presencia de acuitardos.
4. Las características hidroquímicas son: pH, conductividad eléctrica, dureza, cationes y aniones, son aptas para riego y consumo humano.
5. Conociendo las características hidrogeológicas de la zona, se determinó las zonas de recarga, que son zonas llanas de la parte alta de la microcuenca; las zonas de descarga se encuentran en parte baja de la quebrada donde afloran los manantes y ríos.

1.8. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente estudio se ha definido las variables dependientes, independientes

1.8.1. Variables dependientes

- Aprovechamiento de las fuentes hídricas

1.8.2. Variables independientes

- Características geológicas
- Características hidrológicas
- Propiedades hidrogeológicas
- Características hidroquímicas

1.9.METODOLOGIA O PLAN EXPERIMENTAL

1.9.1. Métodos de investigación

- **Descriptivo:** Se describe, clasifica y analiza el comportamiento de recurso hídrico y su distribución en el ámbito de estudio.

- **Explicativo:** Responde a las posibles causas y formula un modelo que explica los eventos físicos que habrían ocasionado la alteración del régimen del recurso hídrico en el ámbito de estudio.
- **Científico:** Realiza las observaciones de comportamiento geológico en campo, para la caracterización hidrológica y la interpretación de resultados obtenidos del análisis químico.
- **Deductivo:** Con los datos obtenidos se obtendrá el modelo hidrogeológico.

1.10. ETAPAS DE INVESTIGACION

Las etapas de la investigación se dividen en etapa de gabinete I para la recolección de datos previos, etapa de campo para la obtención de datos de campo, etapa de laboratorio y etapa de gabinete II en el que se analiza e interpreta los resultados obtenidos para luego plasmarlos en el informe final.

1.10.1. Etapa I: Trabajo de Pre-Campo

- ✓ Se realiza una revisión bibliográfica de antecedentes de la zona de estudio.
- ✓ Se realiza una interpretación geológica, geomorfológica, etc. Previa del INGEMMET cuadrángulo de la zona de estudio, en base a los cuadrángulos de Cusco 28s1 – 28s4.
- ✓ Se examina imágenes satelitales, para ver los accesos y realizar una fotointerpretación anticipada, en la zona de estudio.
- ✓ Elaboración de planos base preliminares a base de información del INGEMMET.
- ✓ Se elabora un cronograma de actividades, una estructura de costos y presupuestos, para la planificación inherente a la tesis considerando los tiempos de trabajo, costos de materiales, servicios tomados y los gastos, entre otros aspectos.

1.10.2. Etapa II: Trabajo de Campo 1

En esta etapa se realizará la recolección de diversos datos del terreno útiles para el estudio hidrogeológico.

- ✓ Mapeo geológico a escala 1:10000, mediante la cartografía de unidades geomorfológicas, estructurales, litológicas y fenómenos de origen geológico – hidrogeológico, que ha tenido fuerte influencia en el ámbito de estudio.
- ✓ Inventario de fuentes de agua, medición de caudales de los manantes identificados.
- ✓ Medición de permeabilidad in situ de los suelos, para lo cual se efectuará ensayos de infiltración para determinar el coeficiente de permeabilidad.
- ✓ Medición de estructuras, rumbos y buzamientos para la valoración de macizos rocosos.
- ✓ Recolección de muestras de agua en los diferentes puntos identificados y secciones.
- ✓ Cartografía de los manantes y captaciones identificadas.
- ✓ Cartografía y delimitación de los acuíferos en campo.
- ✓ Determinación de los parámetros hidroquímicos como el pH, temperatura, conductividad eléctrica y solidos totales disueltos.

1.10.3. Etapa III: Trabajo de Post-Campo 1

- ✓ Análisis de las muestras de agua de los manantes identificados en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- ✓ Digitalización de los datos obtenidos, procesamiento de los datos obtenidos en campo.
- ✓ Elaboración de los mapas de ubicación, pendientes, geológico, geomorfológico a escala local entre otros, mediante el uso de herramientas informáticas como ArcGis 10.5, Google Earth, Sas Planet, etc.
- ✓ Elaboración y procesamiento de los datos obtenidos como la permeabilidad, caudales.
- ✓ Análisis de los datos obtenidos en campo para la elaboración de los mapas temáticos dentro de nuestro ámbito de estudio.

- ✓ Redacción final del informe.

1.11. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

La presente investigación abarcara mayormente la descripción de las características y el comportamiento hidrogeológico de la microcuenca de Pacramayo perteneciente al distrito de Lucre teniendo en cuenta la litología, la geomorfología, la geología estructural, inventario de fuentes de agua, medición de caudales, ensayos de permeabilidad y parámetros hidroquímicos. Con estos datos se realizará la identificación y caracterización de las unidades hidrogeológicas.

Las limitaciones que presenta la investigación son:

Los resultados de los análisis químicos pueden variar de acuerdo al laboratorio que lo procese y también por la forma como se han obtenido las muestras en campo.

Debido a que no existe antecedentes de estudios hidrogeológicos en la cuenca de Pacramayo, los resultados que se muestren son de carácter preliminar, sin embargo, puede servir como base de información hidrogeológica del distrito de Lucre.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1. MARCO REFERENCIAL

Este trabajo de tesis se basó en la revisión de datos de estudios previos relacionados al enfoque de la investigación en la microcuenca Pacramayo, a continuación, se detallan los trabajos consultados:

- Peña Paz, Tania (2023) en la tesis **“Modelo conceptual hidrogeológico y análisis hidroquímico para la gestión de recursos hídricos en la subcuenca del río Chiquito, Honduras”**, cuyo objetivo es construir una caracterización integral de las dinámicas hídricas presentes en la subcuenca mediante el análisis hidrogeológico e hidroquímico, con el propósito de elaborar un modelo conceptual hidrogeológico como herramienta para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la región. El estudio fue una guía utilizando datos históricos de precipitación y la interpretación hidroquímica de los datos de laboratorio y clasificar las aguas subterráneas.

En esta tesis se identificó que los parámetros aptos para un agua para riego presentan un pH que varía de 5,5 a 9 y una conductividad eléctrica que se clasifica en 4 categorías de riesgo: bajo, medio, alto y muy alto; nos permitió diferenciar las familias de aguas carbonatadas, bicarbonatadas, sulfatadas en la microcuenca, así como ver si el agua es apta para riego y el consumo humano.

- INGEMMET (2018) en el artículo titulado **“Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento activo de Supayhuayco distrito Lucre, provincia Quispicanchis, región Cusco”**, cuyo objetivo del estudio es el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de los peligros geológicos, con la finalidad de proporcionar información técnica sobre la problemática por el deslizamiento Supayhuayco de Lucre. Se tomo en cuenta el estudio para la identificación de las fallas regionales que afectan el distrito de Lucre que pueden extenderse hasta nuestra zona de estudio y nos permite identificar

zonas vulnerables a erosión, desplazamientos y otros. Nos permitió relacionar la falla regional con las fallas encontradas en la microcuenca, que son importantes para la recarga de los acuíferos.

- Bandera, Barrientos (2019) en la tesis **“Estudio hidrogeológico para el diseño de métodos de recarga en acuíferos en la microcuenca de Unuhuaycco, distrito Oropesa, provincia Quispicanchi - cusco -2019”**. Es una guía para el estudio hidrogeológico, cuyo objetivo es determinar las características físicas y químicas de las unidades hidrogeológicas de la zona y determinar los diseños de métodos de recarga de acuíferos para la microcuenca. El estudio fue una guía en el aspecto hidrológico al realizar el análisis y regionalización de las condiciones meteorológicas de la microcuenca obteniendo para el mismo una precipitación anual de 669.97 mm/año y una temperatura media de 9.9°C. Nos sirvió para utilizar los métodos para el cálculo de la precipitación, temperatura, y planteo opciones buenas para recargar los acuíferos que son tomadas en las recomendaciones.
- Apaza, Huamán (2020), en la tesis **“Estudio hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la cuenca de Cachimayo, dist. Santiago, prov. Cusco, reg. Cusco”**. Con el objetivo de determinar características hidrológicas, determinar el balance hídrico, identificar y delimitar las unidades geológicas, geomorfológicas y estructurales, identificar y delimitar las unidades hidrogeológicas, a través de inventario de manantes, hidroquímica, permeabilidades. También identifica las zonas de recargas y descargas de aguas subterráneas existentes en la cuenca Cachimayo. Se comparo los datos de permeabilidad de las diferentes formaciones geológicas como Kayra, la clasificación de los manantes según caudales y la determinación de las zonas de recarga y descarga de la microcuenca.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Ciclo Hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea). El ciclo hidrológico es completamente irregular y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre. Una muestra de ello son los periodos de satisfacción con los requerimientos del agua, para las diferentes actividades (uso poblacional, irrigación, generación de energía, etc.), otros periodos de sequías y otros de inundaciones. (Villon, 2002)

El agua del ciclo hidrológico que se infiltra en el suelo atravesando dos grandes zonas del perfil de infiltración: Zona de aireación (denominada Zona no Saturada o Vadosa) y la zona Saturada o de saturación. El agua subterránea, como parte integrante del ciclo hidrológico sufre la influencia de los procesos de superficie, que interviene en el comportamiento de la recarga de los acuíferos y las características del agua subterránea. (Yoshinaga & Albuquerque, 2000).

2.2.2. Zona no saturada o vadosa

Es la región situada entre la superficie del terreno y la zona de saturación del agua. Se caracteriza por la presencia de poros rellenos por aire y agua. Ella puede ser dividida en:

2.2.2.1. Zona de agua del suelo o zona de evapotranspiración

Limitada por la superficie del terreno y los extremos radicales de la vegetación, cuyo espesor puede variar de centímetros a metros. Se caracteriza por la presencia del fenómeno de evapotranspiración causada por las plantas.

2.2.2.2. Zona intermedia

Caracterizada por la presencia de capilaridad del agua, que no se mueve debido a las fuerzas higroscópicas y capilares. Ella se extiende de la base de la zona de agua del suelo hasta la parte de la Zona Capilar.

2.2.2.3. Zona Capilar

Es la última subdivisión de la zona de aireación y se caracteriza por la presión existente es menor que la atmosférica y su límite superior posee forma irregular.

La variación del espesor de esa zona en función de las propiedades y de la homogeneidad del suelo. En materiales gruesos, el tamaño de la zona es prácticamente cero mientras que puede variar para más de 3 metros en materiales finos. (Yoshinaga & Albuquerque, 2000).

2.2.3. Zona Saturada

Se sitúa debajo de la superficie freática y se caracteriza por el relleno de todos los poros vacíos por agua y es área de estudio de la hidrogeología. (Yoshinaga & Albuquerque, 2000).

2.2.4. Formaciones Geológicas y su comportamiento frente al agua

Según (Gonzales de Vallejo, 2002) los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir el agua. Cabe indicar que existe en la naturaleza una amplia gama de formaciones con capacidades muy diversas para almacenar y transmitir el agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales:

2.2.4.1. Acuíferos.

Formaciones geológicas capaces de almacenar y permitir la circulación del agua por sus poros (gravas, arenas, calizas cársticas) o fracturas (rocas intrusivas, areniscas, cuarcitas etc.). También terrenos permeables, tales como los estratificados y aluviales cuaternarios etc.

2.2.4.2. Acuitardos

Es una clasificación que hace referencia a numerosas formaciones geológicas que, contiene apreciables cantidades de agua, sin embargo, la transmiten muy lentamente. No suelen ser aptas para su explotación, pero, son de importancia por ser los alimentadores de acuíferos

semi- confinados principalmente en recargas verticales en grandes superficies. Son formaciones geológicas medianamente permeables, como limos, arenas limosas, arenas arcillosas, calizas poco karstificadas, etc.

2.2.4.3. *Acuicludos*

Son formaciones geológicas que, conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, pero que no la puede transmitir con facilidad y por tanto imposibilita su explotación y su drenaje es muy difícil por encontrarse encerrada en sus poros (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos etc.). Constituyen, al igual que los Acuífugos, los límites impermeables de los acuíferos.

2.2.4.4. *Acuífugos*

Representan a formaciones geológicas impermeables y que no posee capacidad de circulación ni de retención de agua, como por ejemplo un granito no alterado ni fracturado.

Los tipos de acuíferos se resume en la siguiente tabla de Gonzales de Vallejo.

Figura 2 Tabla de formaciones geológicas frente al agua

| | Capacidad de almacenar | Capacidad de drenar | Capacidad de transmitir | Formaciones características |
|-------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Acuíferos | Alta | Alta | Alta | Grava, arena, calizas |
| Acuitardos | Alta | Media/Baja | Baja | Limos, arena limosa y arcillosas |
| Acuicludos | Alta | Muy baja | Nula | Arcillas |
| Acuífugos | Alta | Nula | Nula | Granitos, gneis, marmoles |

Fuente: modificado de (Gonzales de Vallejo, 2002)

2.2.5. Por su textura

Desde el punto de vista de su textura, existen tipos de materiales, acuíferos principales que se describen a continuación.

2.2.5.1. Acuíferos porosos

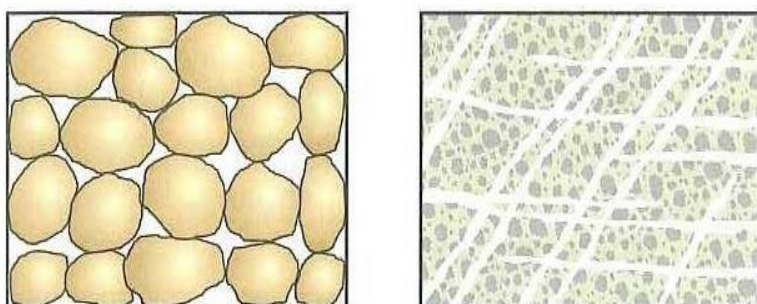
Son denominados así, a los que tienen una permeabilidad debido a la porosidad intergranular, donde el agua circula a través de sus poros o espacios existentes entre los granos del terreno (gravas, arenas, areniscas, arcosas).

2.2.5.2. Acuíferos fisurados.

Son denominados así, los que tienen alojados el agua en fisuras, grietas y oquedades del terreno tanto de origen mecánico (granitos, granodioritas etc.), como de disolución como son los casos de las calizas y dolomías. Las captaciones en estos acuíferos suelen tener mayores rendimientos que en los porosos.

En la siguiente figura se muestra la diferencia entre un acuífero fisurado y un acuífero poroso:

Figura 3 Tipos de acuíferos según su textura



Fuente: Gonzales Vallejo (2002)

Desde el punto de vista estructural e hidráulico o la presión a las que están sometidos se puede clasificar como:

2.2.5.3. Acuíferos libres

Denominados también como no confinados o freáticos, en estos existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático se encuentra la zona saturada.

El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija, sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas.

2.2.5.4. Acuíferos confinados

Son denominados también cautivos, a presión o en carga. El agua esta sometida a una presión superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. No existe zona no saturada. Se encuentran rodeados de materiales impermeables.

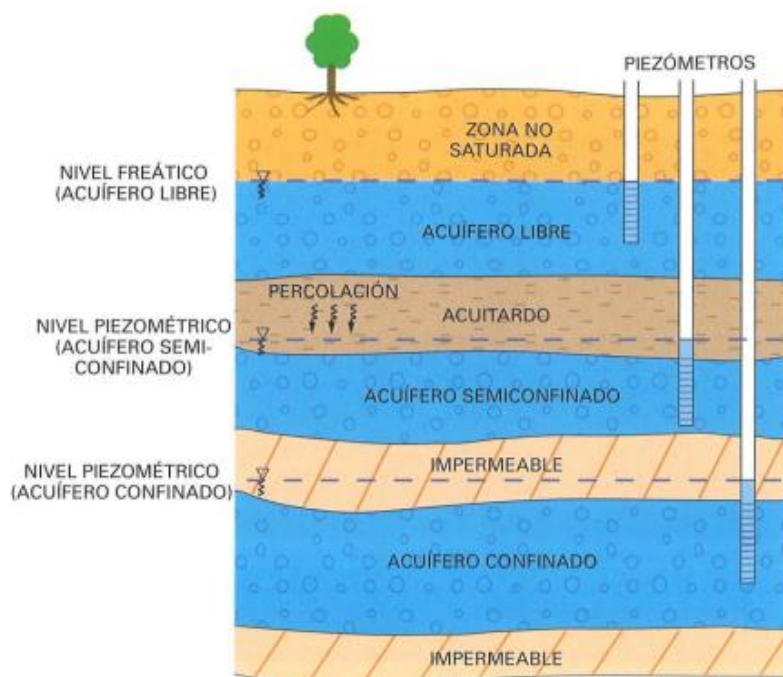
Si se perfora el nivel de agua asciende hasta situarse en una determinada posición que coincide con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga.

El agua que emana procede de la descomposición de los niveles superiores. Si la topografía es tal que la boca del pozo está por debajo del nivel del agua, el pozo resulta ser surgente o artesiano.

2.2.5.5. Acuíferos semi-confinados

El techo o capa superior no son totalmente impermeables, sino que son acuitardos y permiten la filtración vertical del agua y por tanto, puede recibir recarga o perder agua a través del techo o de la base. Consiguientemente la velocidad de reacción de estos acuíferos ante un bombeo es más moderada que en los cautivos. Este flujo vertical solo es posible si existe una diferencia de potencial entre ambos niveles. Un mismo acuífero puede ser libre, confinado o semi-confinado según sectores.

Figura 4 Tipos de acuíferos



Fuente: Tomado de Martínez (2006)

2.2.5.6. Acuíferos colgados

Se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una fuerte recarga asciende el nivel freático quedando retenida una porción de agua por un nivel inferior impermeable.

2.2.6. Hidrogeoquímica

Esta herramienta de la hidrogeología permite establecer correlación entre los aspectos geoquímicos del agua subterránea y su relación con los suelos y rocas, para lo que se recurre a los análisis químicos de las aguas. (Custodio y llamas 1996)

2.2.6.1. Potencial de hidrogeniones.

El PH o potencial de hidrogeniones, expresado matemáticamente constituye el antilogaritmo de H^+ es decir el $PH = -\log(H^+)$. Para un agua pura a 25° se cumple que $(H^+) = (H^+)$, siendo el $PH = 7$.

Por lo general varía entre 6.5 a 8.5 a los que se considera como neutras, y los menores a 6.5 son acidas y las mayores a 8.5 son alcalinas.

2.2.6.2. Conductividad eléctrica

Es la capacidad que tienen un cuerpo o una solución, de permitir el paso de la corriente eléctrica o de facilitar el paso de electrones a través suyo. Se mide como la conductividad existente entre dos electrodos de 1cm² de superficie cada uno separados a un cm y situados en el agua a medir. La unidad de medida que tiene este parámetro es el microsiems/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y debe mencionarse la temperatura de referencia, ya que los valores de CE aumentan a mayor temperatura a razón de 2% /°C, además el CE es mayor cuando mayor es el contenido de sustancias disueltas en el agua subterránea. (Custodio y Iltamas 1996).

2.2.6.3. Total de sólidos disueltos (TDS)

El total de sólidos disueltos, es el peso total de los constituyentes minerales disueltos en el agua por unidad de volumen o de peso de agua de la muestra. También se puede decir que es el material sólido en solución, la unidad de medida es el mg/L

Composición de las aguas subterráneas.

El agua está formada por oxígeno e hidrógeno en forma molecular, sin embargo, químicamente está formada por componentes de materia inorgánica en forma iónica y otros coloides como hidróxidos de Si, Al, Fe, materia orgánica y gases disueltos. Se clasifican en tres grupos.

2.2.6.4. Elementos mayoritarios

Son los componentes que se encuentran en las aguas subterráneas en cantidades superiores a 5 mg/L y por lo general se encuentran presentes casi siempre, constituyendo casi la totalidad de los iones disueltos. Dentro de este grupo se considera a los aniones cloruro, Sulfato, bicarbonato y cationes sodio, calcio y magnesio.

2.2.6.5. Elementos minoritarios

Son los componentes que se encuentran en cantidades de 10 a 0.01 mg/L, aunque a veces pueden sobrepasar ese rango, entre ellos se considera a los aniones nitrato, carbonato y nitrito, flúor, y cationes potasio, hierro ferroso, amonio, estroncio.

2.2.6.6. Elementos traza

En este grupo se considera los componentes que se encuentran en concentraciones menores a 0.1 mg/L, como los iones Bromo, Nitrito, Manganeseo, aluminio, arsénico, antimonio, Cromo, hierro, férrico, plomo, zinc, mercurio, uranio etc.

2.2.6.7. Dureza

La dureza definida como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes) iones calcio, magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con el agua y representa una serie de problemas de incrustación en equipo industrial y doméstico, además de ser nociva para consumo humano. (Custodio Llamas 1996)

2.2.6.8. Clasificación de las aguas subterráneas.

Se puede clasificar de distintas maneras y variados criterios, pero siempre con la finalidad de indicar brevemente, la composición química o algún aspecto químico del agua subterránea. Para ello se puede clasificar en dos grandes grupos: clasificaciones simples y geoquímicas.

La clasificación simple hace conocer información global y están enfocados al uso doméstico, urbano, agrícola, o industrial, y las clasificaciones geoquímicas contienen mayor información a través de diagramas donde refleja características geoquímicas del agua en forma concisa.

Las clasificaciones simples pueden ser: por su residuo seco (agua dulce, salobre, salda, salmuera) por la dureza blanda, algo dura, muy dura) por sus cualidades destacadas (ferruginosa, selenitosa, carbónica, lítica etc.) o por la clasificación SAR (según la salinidad representada por la conductividad eléctrica, y la relación de adsorción del sodio conocida como SAR)

Las clasificaciones geoquímicas (Custodio Llamas 1996) puede ser por lo iones dominantes, clase Palmer, Souline, y otros.

La clasificación por iones dominantes considera seis iones importantes:

Bicarbonato, (+carbonato), sulfato, Cloruro, Calcio, Magnesio, y sodio potasio). Para clasificar el agua bajo esta metodología se nombra primero el anión que supere el 50% de la suma de aniones, si ninguno cumple esta condición, se mencionan los dos más abundantes. Seguidamente se menciona el catión que supere el 50% de la suma de cationes, si ninguno sobrepasa el 50%, se menciona los dos cationes más abundantes. (Custodio Llamas 1996).

2.2.7. PARAMETROS DE CALIDAD Y LIMITES MAXIMO PERMISIBLES

El agua potable, también llamada para consumo humano debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de estas, se toman en cuenta normas internacionales. Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3 *Limites máximo permisibles (LMP) referenciales de los parámetros de la calidad del agua*

| PARAMETRO | LMP | Referencia |
|--|--------------|-------------------------|
| Coliformes totales, UFC/100 mL | 0 (ausencia) | (1) |
| Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL | 0 (ausencia) | (1) |
| Bacterias heterotróficas, UFC/mL | 500 | (1) |
| pH | 6,5 – 8,5 | (1) |
| Turbiedad, UNT | 5 | (1) |
| Conductividad, 25°C uS/cm | 1500 | (3) |
| Color, UCV – Pt-Co | 20 | (2) |
| Cloruros, mg/L | 250 | (2) |
| Sulfatos, mg/L | 250 | (2) |
| Dureza, mg/L | 500 | (3) |
| Nitratos, mg NO ₃ ⁻ /L (*) | 50 | (1) |
| Hierro, mg/L | 0,3 | 0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2) |
| Manganeso, mg/L | 0,2 | 0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2) |
| Aluminio, mg/L | 0,2 | (1) |
| Cobre, mg/L | 3 | (2) |
| Plomo, mg/L (*) | 0,1 | (2) |
| Cadmio, mg/L (*) | 0,003 | (1) |
| Arsénico, mg/L (*) | 0,1 | (2) |
| Mercurio, mg/L (*) | 0,001 | (1) |
| Cromo, mg/L (*) | 0,05 | (1) |
| Flúor, mg/L | 2 | (2) |
| Selenio, mg/L | 0,05 | (2) |

Notas:

- (1) Valores tomados provisionalmente de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1995)
- (2) Valores establecidos en la norma nacional “Reglamento de Requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables”, aprobado por Resolución Suprema del 17 de Diciembre de 1946
- (3) En el caso de los parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, tomar como referencia los valores indicados, los que han sido propuestos para la actualización de la norma de calidad de agua para consumo humano especialmente para aguas subterráneas.
- (*) Compuestos tóxicos

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

2.2.8. ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA

Basados en el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, se divide en varias categorías siendo utilizada la categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales, los parámetros establecidos se pueden ver en la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4 Riego de vegetales y bebida de animales

| Parámetros | Unidad de medida | D1: Riego de vegetales | | D2: Bebida de animales |
|---|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales |
| FÍSICOS- QUÍMICOS | | | | |
| Aceites y Grasas | mg/L | 5 | | 10 |
| Bicarbonatos | mg/L | 518 | | ** |
| Cianuro Wad | mg/L | 0,1 | | 0,1 |
| Cloruros | mg/L | 500 | | ** |
| Color (b) | Color verdadero Escala Pt/Co | 100 (a) | | 100 (a) |
| Conductividad | (μS/cm) | 2 500 | | 5 000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L | 15 | | 15 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | 40 | | 40 |
| Detergentes (SAAM) | mg/L | 0,2 | | 0,5 |
| Fenoles | mg/L | 0,002 | | 0,01 |
| Fluoruros | mg/L | 1 | | ** |
| Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N) | mg/L | 100 | | 100 |
| Nitritos (NO ₂ -N) | mg/L | 10 | | 10 |
| Oxígeno Disuelto (valor mínimo) | mg/L | ≥ 4 | | ≥ 5 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Unidad de pH | 6,5 – 8,5 | | 6,5 – 8,4 |
| Sulfatos | mg/L | 1 000 | | 1 000 |
| Temperatura | °C | Δ 3 | | Δ 3 |
| INORGÁNICOS | | | | |
| Aluminio | mg/L | 5 | | 5 |

| Parámetros | Unidad de medida | D1: Riego de vegetales | | D2: Bebida de animales |
|-------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales |
| Arsénico | mg/L | 0,1 | | 0,2 |
| Bario | mg/L | 0,7 | | ** |
| Berilio | mg/L | 0,1 | | 0,1 |
| Boro | mg/L | 1 | | 5 |
| Cadmio | mg/L | 0,01 | | 0,05 |
| Cobre | mg/L | 0,2 | | 0,5 |
| Cobalto | mg/L | 0,05 | | 1 |
| Cromo Total | mg/L | 0,1 | | 1 |
| Hierro | mg/L | 5 | | ** |
| Litio | mg/L | 2,5 | | 2,5 |
| Magnesio | mg/L | ** | | 250 |
| Manganeso | mg/L | 0,2 | | 0,2 |
| Mercurio | mg/L | 0,001 | | 0,01 |
| Niquel | mg/L | 0,2 | | 1 |
| Plomo | mg/L | 0,05 | | 0,05 |
| Selenio | mg/L | 0,02 | | 0,05 |
| Zinc | mg/L | 2 | | 24 |

Fuente: MINAM

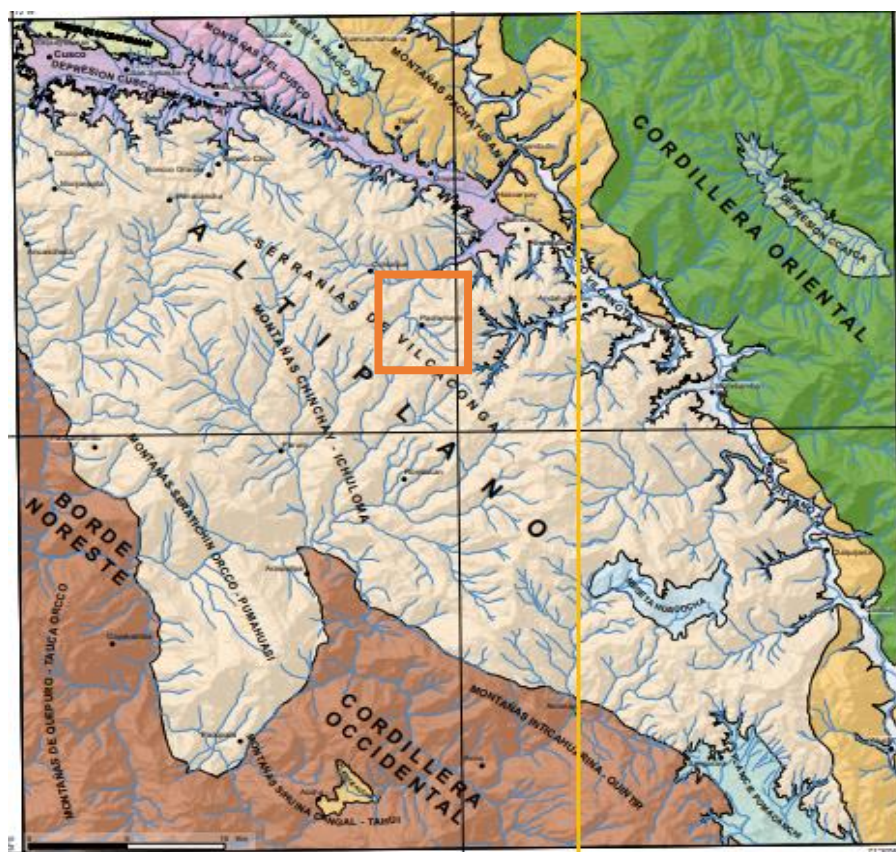
CAPITULO 3: GEOMORFOLOGIA

3.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

El área de estudio se sitúa en el extremo sureste del altiplano occidental, en términos morfológicos se distingue por ser una altiplanicie con altitudes que oscilan entre 3800 y 4000 msnm, aunque localmente algunas montañas pueden exceder los 4400 msnm.

Esta unidad esta disectada por numerosos ríos, que le dan una configuración muy agreste, a pesar de ser parte del Altiplano. (Carlotto et al, 2010: 12).

Figura 5 Geomorfología regional



En el Altiplano del Cusco se distinguen diferentes unidades geomorfológicas locales, como la depresión de Cusco-Huacarpay, Meseta de Saqsayhuaman, Montañas del Cusco, Montañas de Ancaschaca, Montañas Chinchay-Ichuloma, las Montañas de Seratichin Orcco-Pumahuasi y finalmente las Serranías de Vilcaconga (Carlotto, et al., 2010: 12).

3.2. ASPECTOS MORFOLOGICOS DE PACRAMAYO

Según los estudios de campo efectuados, respaldados por las imágenes satelitales y en conjunto con las altitudes de la microcuenca de Pacramayo, se han identificado las siguientes unidades geomorfológicas locales:

3.2.1. Quebrada (Q) / Carcava (C)

Estas geoformas han surgido debido a la erosión (acción del agua). La quebrada de mayor extensión se orienta del sureste hacia el noreste, son de tipo detrítico; muestran un inicio estrecho que se intensifica a medida que se expande, uniéndose con otras, formando parte de las quebradas.

Figura 6 Muestra la presencia de la quebrada Qentepucara



Figura 7 Muestra la presencia de dos quebradas



3.2.2. Ladera de montaña (Ldm)

3.2.2.1. Ladera de montaña alta escarpada (Ldmaes)

Conformada por afloramientos rocosos escarpados con pendientes mayores 75%, se encuentran fracturados y la geofoma se encuentra en mayor proporción en la microcuenca.

Figura 8 Muestra la presencia de la ladera de montaña escarpada en el sector de Colcaiqui



3.2.2.2.Ladera de montaña alta empinada (Ldmaem)

Las laderas de montaña alta empinada se ubican a una altitud que supera los 3800 msnm donde se encuentran los afloramientos de rocas, con pendientes superiores al 30%. Estas laderas muestran una ligera disección.

Figura 9 Muestra la presencia de la ladera de montaña alta empinada



3.2.2.3.Ladera de montaña alta moderadamente disectada (Ldmamd)

Laderas con inclinación rectilínea y uniforme, situadas al lado sur de la microcuenca caracterizados por su moderada disección y dispersión con pendientes menores al 30%, que en su mayoría son utilizados para la agricultura. Están situados a una altitud que oscila entre los 3500 y 3800 msnm.

Figura 10 Muestra la presencia de la ladera de montaña alta moderadamente disectada



3.2.3. Cima de montaña (Cm)

Conformada por las zonas elevadas de las montañas. En el lado sureste, las montañas se encuentran fuertemente disectadas, favorecidas por la inclinación de los estratos. Estas cimas poseen una altura que excede los 4070 msnm alcanzando los 4325 msnm.

Figura 11 Muestra la presencia de cimas de las montañas



3.2.4. Cono aluvial (Ca)

Estas geoformas se ubican en los flancos de las laderas, caracterizadas por material detrítico como suelos limo arcillosos, arenosos con presencia de pequeños clastos de rocas debido a la erosión en la parte alta de las quebradas.

3.2.5. Planicies

3.2.5.1. Planicie moderadamente disectada (Pmd)

Se ubican en las partes altas de la microcuenca, son superficies que cubren áreas de recarga y son aprovechadas para la agricultura y se encuentran disectadas ya sea debido a la erosión de las precipitaciones en la zona.

Se trata de geoformas llanas y allanadas, originadas por procesos erosivos que allanaron anteriores superficies elevadas y/o rellenaron con sedimentos antiguos superficies deprimidas, generando amplias superficies planas. Posteriormente, estas unidades debido a sucesos tectónicos han sido elevados de sus antiguos niveles de base y en la actualidad están siendo disectados por algunos sistemas erosivos superficiales que las seccionan en partes. Estas unidades presentan un espesor de suelo significativo por su origen sedimentario.

Figura 12 Muestra la presencia de la planicie moderadamente disectada



3.2.5.2. Planicie eluvial (Pe)

Estas unidades se ubican en las partes más elevadas de la microcuenca, son superficies planas con pendientes menores al 10 % y están a una altitud media de 4200 a 4300 msnm. Las planicies no muestran disección.

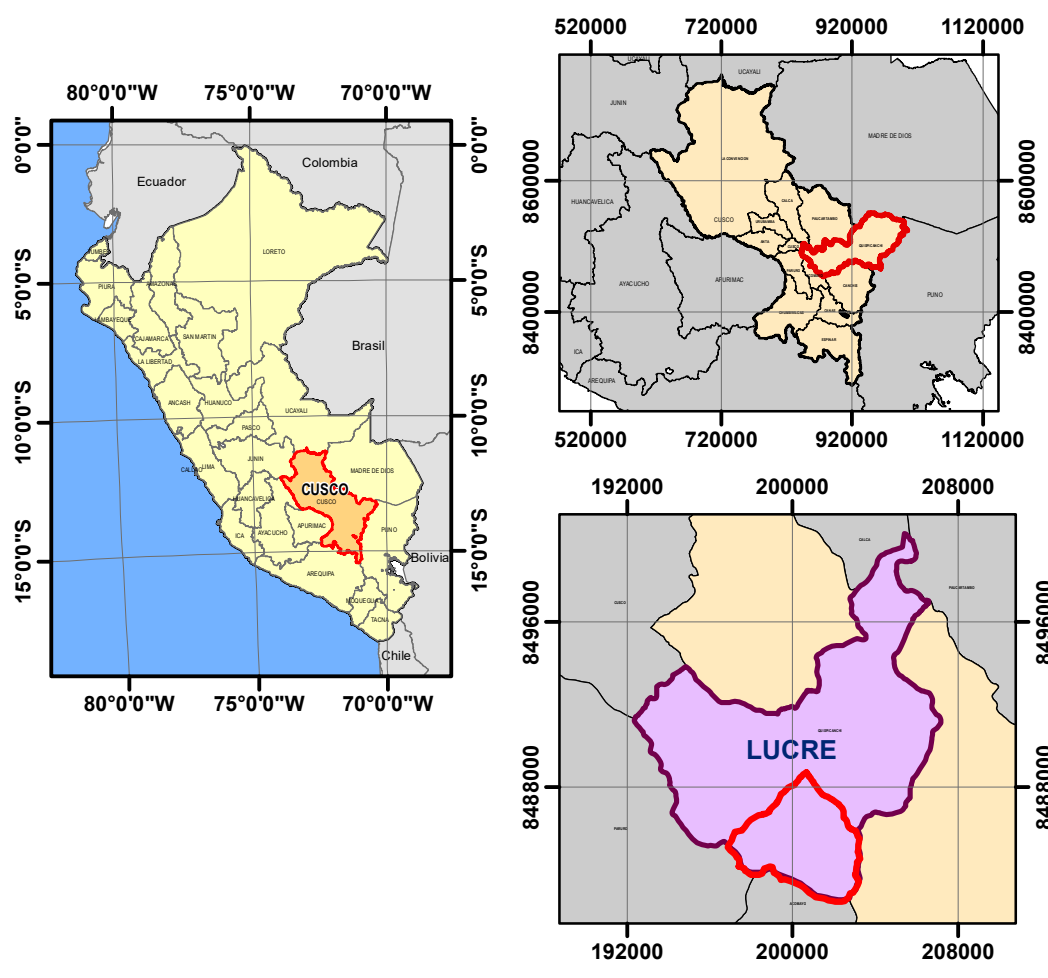
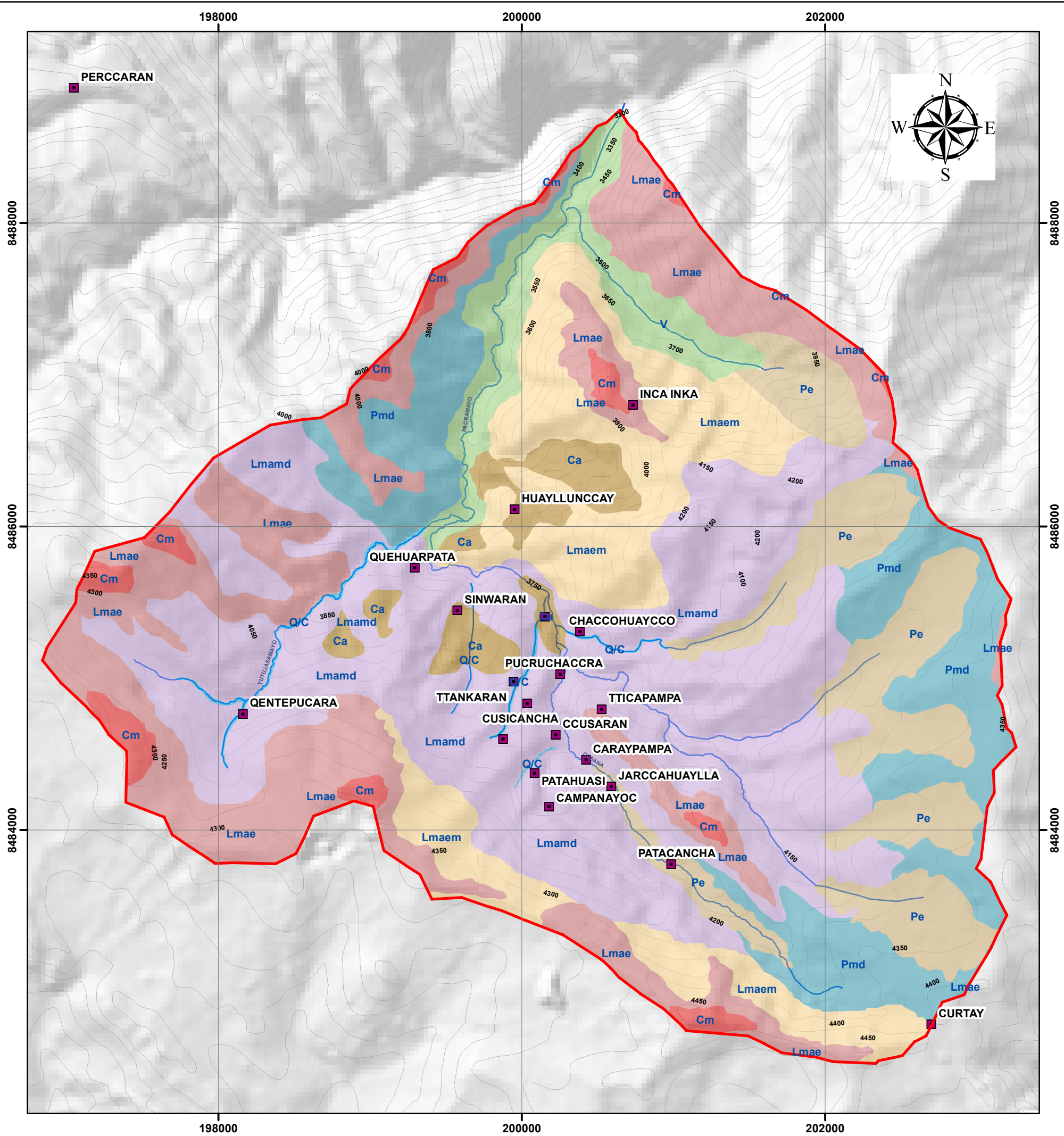
Figura 13 Muestra la presencia de la planicie eluvial



Tabla 5 Porcentaje de Unidades Geomorfológicas

| Ítem | UNIDADES GEOMORFOLOGICAS | Área km ² | Área % |
|------|---|-------------------------|---------------|
| 1 | Cima de montaña | 0.56 | 2.39 |
| 2 | Cono aluvial | 0.77 | 3.29 |
| 3 | Ladera de Montaña Alta Empinada | 2.99 | 12.82 |
| 4 | Ladera de Montaña Alta Escarpada | 4.39 | 18.86 |
| 5 | Ladera de Montaña Alta Moderadamente Disectada | 7.97 | 34.24 |
| 6 | Planicie Eluvial | 2.66 | 11.41 |
| 7 | Planicie Moderadamente Disectada | 2.69 | 11.57 |
| 8 | Quebrada/Cárcava | 0.11 | 0.49 |
| 9 | Valle | 1.15 | 4.93 |
| | TOTAL | 23.28 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia



LEYENDA

SIMBOLOGIA

- Centros Poblados
- Microcuenca Pacramayo
- Rios
- Curvas

Geomorfologia

- Cima de Montaña
- Cono Aluvial
- Ladera de Montaña Alta Empinada
- Ladera de Montaña Alta Escarpada
- Ladera de Montaña Alta Moderadamente Disectada
- Planicie Eluvial
- Planicie Moderadamente Disectada
- Quebrada/Carcava
- Valle

| | | | |
|---------------------|---|----------|---------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | GEOMORFOLOGIA LOCAL | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma | | |
| | Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | | |
| ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | | LAM-02 |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | LAMINA |

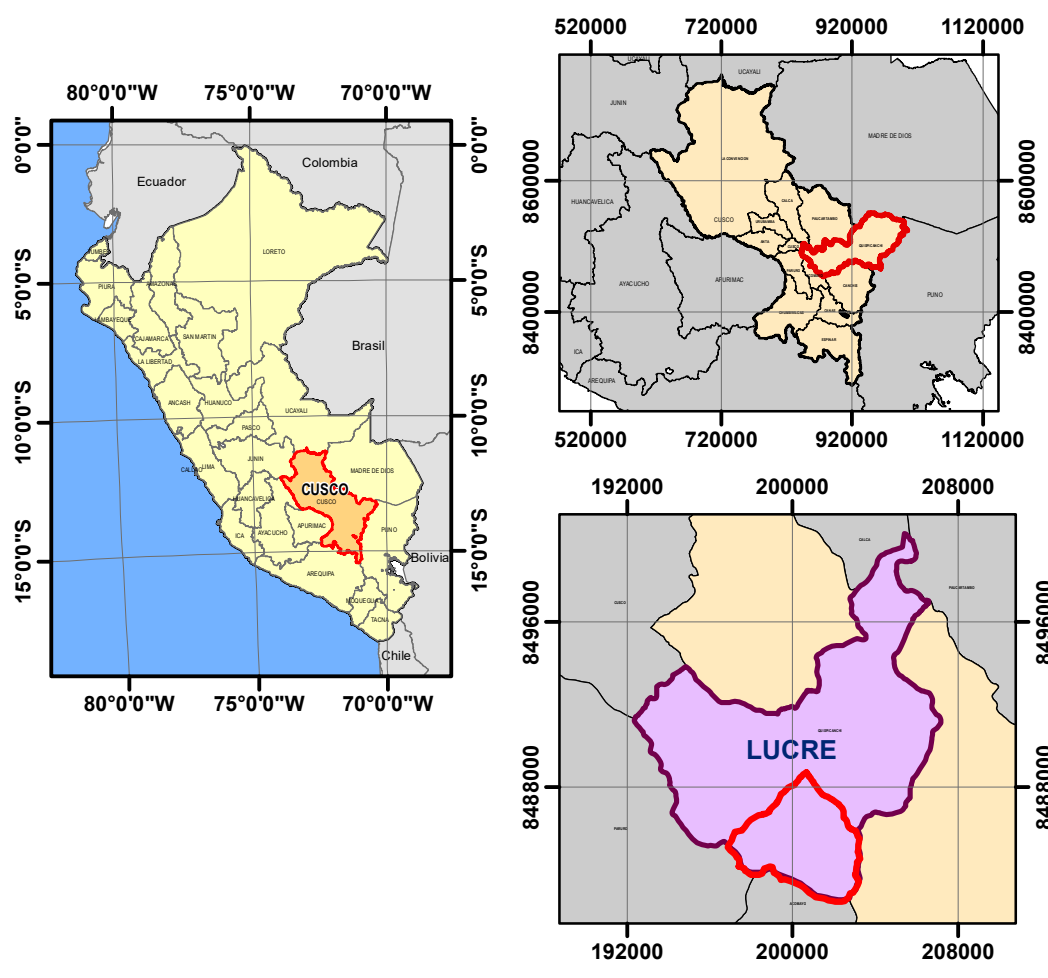
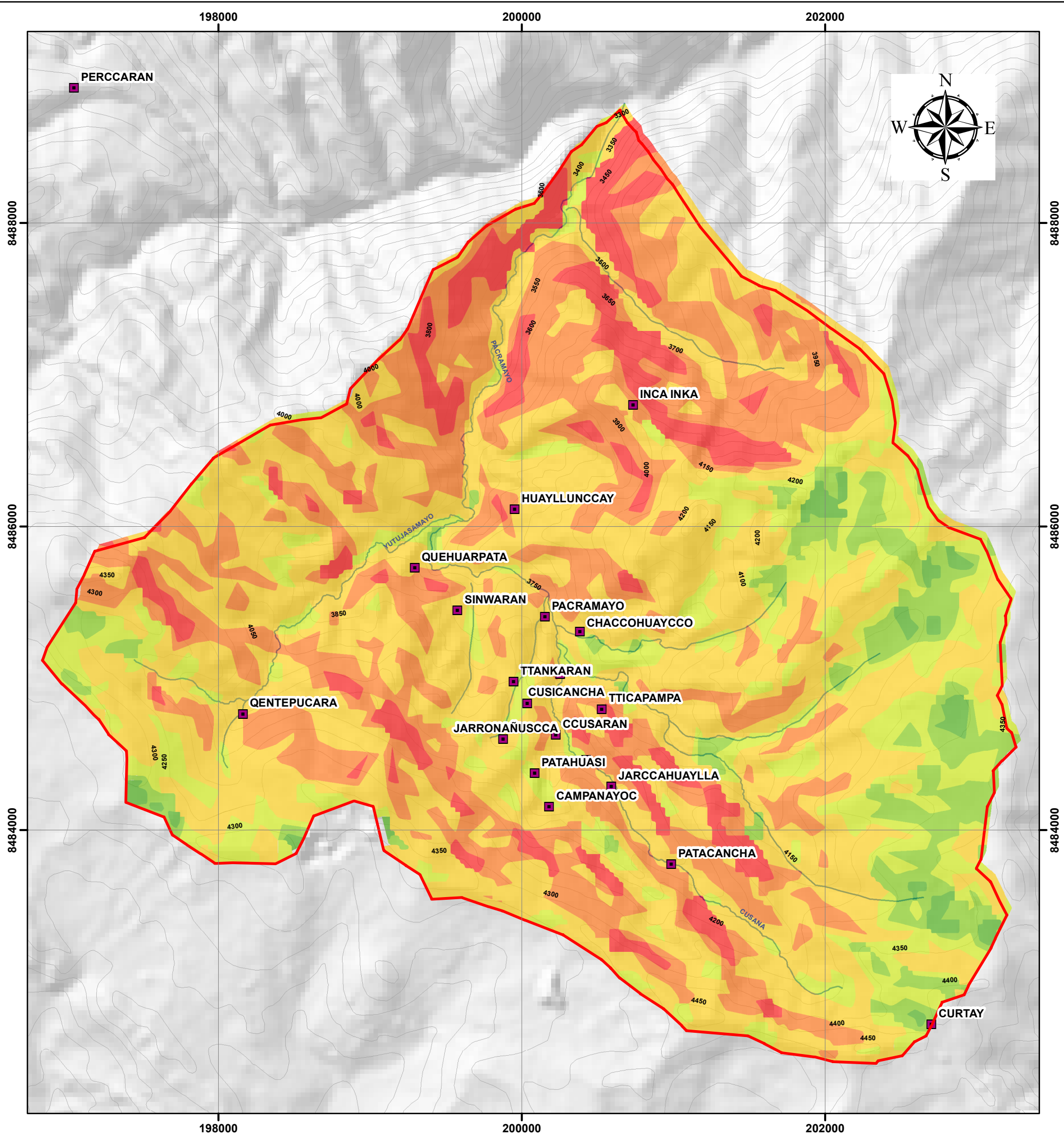
3.3. MAPA DE PENDIENTES

Se considero el “Reglamento de Clasificación de Tierras MINAG – 2002” para la creación del mapa de pendientes, el cual contempla 7 clases de pendientes, desde plana o ligeramente inclinada a extremadamente empinadas. Para los fines de este estudio se han identificado las siguientes pendientes: Moderadamente inclinada (4 – 8%), Fuertemente inclinada (8 -15%), Moderadamente empinada (15 – 25%), Empinada (25 – 50%), Muy empinada (50 -75%) y Extremadamente empinada (> 75%). (Ver M-3); los cuales se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 6 Clasificación de Pendientes

| Rango | Descripción | Área (km2) | Área (%) |
|------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| 4-8 % | Moderadamente inclinada | 0.2708 | 1.16 |
| 8-15 % | Fuertemente inclinada | 1.3962 | 6.00 |
| 15-25 % | Moderadamente empinada | 3.2467 | 13.95 |
| 25-50 % | Empinada | 10.6038 | 45.55 |
| 50-75 % | Muy Empinada | 5.806 | 24.94 |
| > 75 % | Extremadamente empinada | 1.9544 | 8.40 |

Fuente: Clasificación de Tierras MINAG – 2002





LEYENDA

SIMBOLOGIA

- Centros Poblados
- 🔴 Microcuenca Pacramayo
- 🌊 Rios
- ⤵️ Curvas

PENDIENTES

- 4 - 8%, Moderadamente inclinada
- 8 - 15%, Fuertemente inclinada
- 15 -25%, Moderadamente empinada
- 25 -50%, Empinada
- 50 - 75%, Muy Empinada
- > 75%, Extremadamente empinada

| | | | |
|---|---|-----------------|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | PENDIENTES | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma | LAM-03 | |
| | Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | | |
| ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | | |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | LAMINA |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | |

CAPITULO 4: GEOLOGIA

4.1. GEOLOGIA REGIONAL

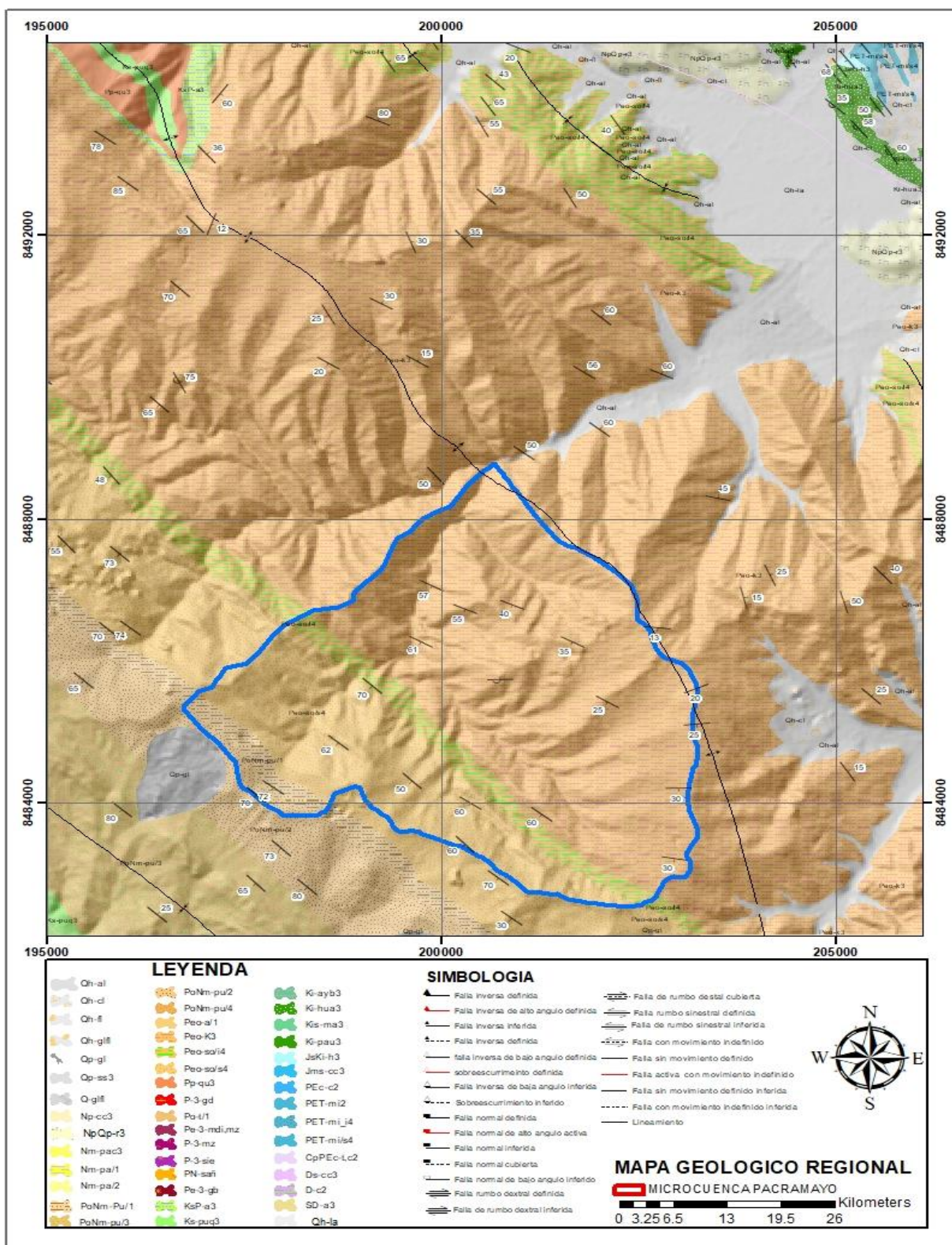
Regionalmente la zona de estudio acoge las siguientes unidades litoestratigráficas: la Formación Kayra y Soncco pertenecientes al grupo San Jerónimo y la Formación Punacancha.

El grupo San Jerónimo aflora ampliamente en la región del Cusco. Se apoya en las formaciones Kayra y Soncco y se compone principalmente de areniscas feldespáticas de origen fluvial, de edades comprendidas entre el Eoceno inferior y el Oligoceno inferior, intercaladas con limonitas y ocasionales bancos de conglomerado. (Carlotto et al, 2011a).

La Formación Punacancha del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior aflora al sureste de la ciudad de Cusco, que descansa en concordancia o pequeña discordancia angular con la Formación Soncco. Esta Formación está formada por cuatro miembros. El miembro I, ubicado en el área de estudio, está conformado por lutitas y limonitas rojas de llanura de inundación y microconglomerados fluviales.

De acuerdo con Carlotto et al. (2011^a), la Formación San Sebastián del Pleistoceno situada el sureste de la depresión de Cusco, se asienta sobre la Formación Kayra. Las dos secuencias que componen esta unidad son granos decrecientes de conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, además de areniscas fluviales y lutitas lacustres o palustres en la primera.

Figura 14 Geología Regional



Fuente: Modificado de Carlotto et al., (2011a)

4.2. GEOLOGIA LOCAL

Según el cartografiado de campo realizado en la microcuenca Pacramayo se identificaron las siguientes unidades geológicas: las Formaciones Kayra, Soncco, Punacancha y algunos depósitos cuaternarios que se detallan a continuación.

4.2.1. Grupo San Jerónimo (Peo-ky-so)

4.2.1.1. Formación Kayra (Peo-ky)

La Formación Kayra se localiza en las zonas noroeste y sureste de la microcuenca, esta formación representa el 46.92% del total de área de la microcuenca Pacramayo. Esta Formación se compone por areniscas feldespáticas intercaladas con lutitas rojas de espesores que varían entre 5 a 20 cm, son de coloración rojiza y se encuentran fracturadas.

Figura 15 Presencia de areniscas y lutitas en la zona de estudio



4.2.1.2. Formación Soncco (Peo-so)

La Formación Soncco aflora al noroeste y sureste de la microcuenca Pacramayo, los afloramientos se pueden identificar en los cortes de vía entre las comunidades de Colcayqui y Quehuarpata.

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

Este miembro presenta secuencias de lutitas rojas que se intercalan con niveles de arenisca de grano medio a grueso de coloración grisácea, se observa que en los niveles de areniscas de grano medio se encuentra altamente fracturados.

Este miembro ocupa un área de 1.17 km² siendo el 5.02% del total del área.

Figura 16 Areniscas de coloración grisácea



Figura 17 Muestra el contacto de la Formación Soncco entre los miembros I y II.



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

Este miembro está conformado por areniscas grisáceas y conglomerados de coloración gris a gris oscuro, se encuentran alteradas y fracturadas.

Está compuesto por areniscas de grano medio a grueso y areniscas con clastos blandos intercalados con areniscas de grano fino en la base; en la parte media se observan intercalaciones de conglomerados con areniscas de grano medio a grueso. La parte superior está compuesta por conglomerados de clastos volcánicos. Ocupa un área de 5.70 km² siendo el 24.49%.

Figura 18 Areniscas fracturadas y alteradas



4.2.2. Formación Punacancha I, II (Nom-pu-I, II)

La Formación Punacancha se ubica al sureste de la microcuenca y sobreyace a la Formación Soncco. En la zona de estudio se observa el miembro I compuesto por lutitas de coloración gris rojizo y areniscas grisáceas finas de un ambiente de llanura de inundación. El espesor varía de 80 a 150 metros y ocupa un área de 0.55 km² que equivale al 2.37%.

El miembro II ocupa un área de 0.30 km² correspondiente al 1.28%.

Figura 19 Afloramiento de la formación Punacancha



Figura 20 Areniscas finas de la formación Punacancha



4.2.3. Deposito Coluvioaluvial (Q-coal)

Estos depósitos están compuestos por gravas y bloques subangulosos en una matriz limo arcillosa con escasa presencia de arena, ubicados al pie de las laderas que delimitan las quebradas y en algunos cortes de talud de las carreteras. Estos depósitos están poco consolidados, el área que ocupan es de 0.46 km² y constituyen el 1.98 % del área total de la microcuenca y su espesor puede oscilar entre 2 a 8 metros.

Figura 21 Presencia de clastos angulosos en matriz limo arcillosa



4.2.4. Deposito Aluvial (Q-al)

Estos depósitos están compuestos por gravas y bloques redondeados de arenisca envueltos en una matriz limo arenosa, se ubican en cauces antiguos y en la zona baja de la microcuenca formando conos aluviales donde se asentaron los centros poblados ocupando un área de 0.51 km² que representa 2.18% del área total de la microcuenca Pacramayo. El espesor de estos depósitos varía entre 4 a 10 metros.

Figura 22 Presencia del material aluvial



4.2.5. Deposito Deluvial (Q-dl)

Estos depósitos se encuentran principalmente en las laderas de baja pendiente utilizadas para la agricultura, están formadas por limoarcillas con clastos pequeños dispersos y pueden llegar a tener espesores de 2.5 metros. Estos depósitos ocupan un área de 0.62 km² que equivale el 2.66 % del área total de la zona de estudio.

Figura 23 zonas de cultivo del centro poblado de Quehuarpata



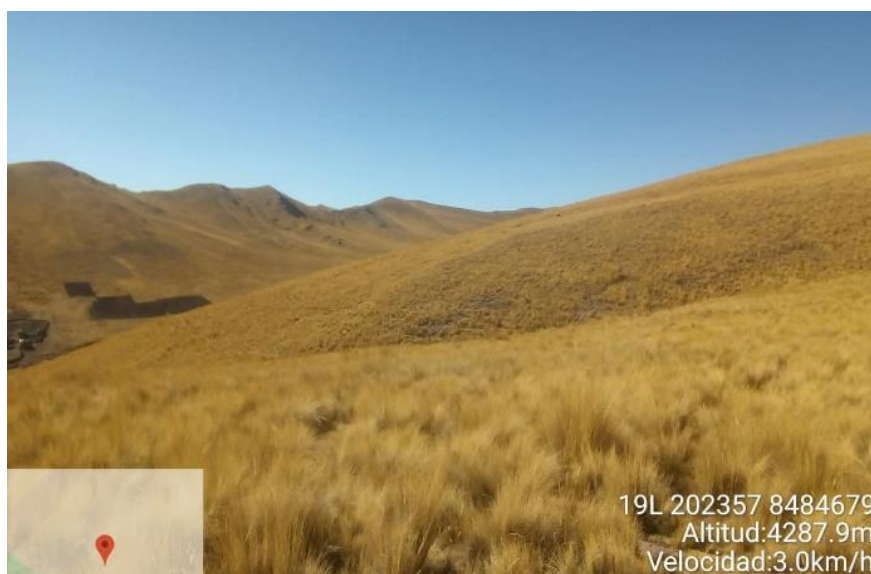
Figura 24 zonas de cultivo del sector de Colcaiqui



4.2.6. Deposito Eluvial (Q-el)

Estos depósitos están localizados en la parte alta de la microcuenca, situadas al sureste de la microcuenca y está formado por arcillas, limos y arenas de tonalidad oscura, con pendientes inclinadas a llanas. El espesor de estos depósitos es aproximadamente 2 metros y ocupan un área de 2.91 km² constituyendo el 12.50% del área total de la microcuenca.

Figura 25 presencia de los depósitos eluviales



4.2.7. Deposito fluvial (Q-fl)

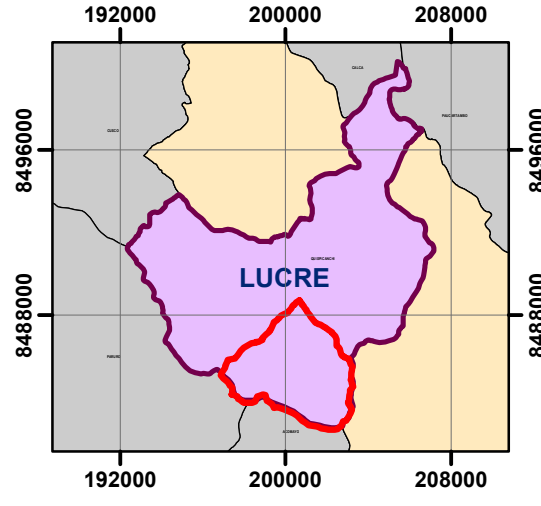
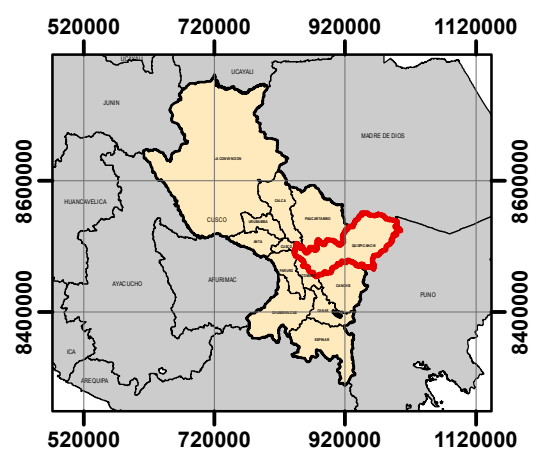
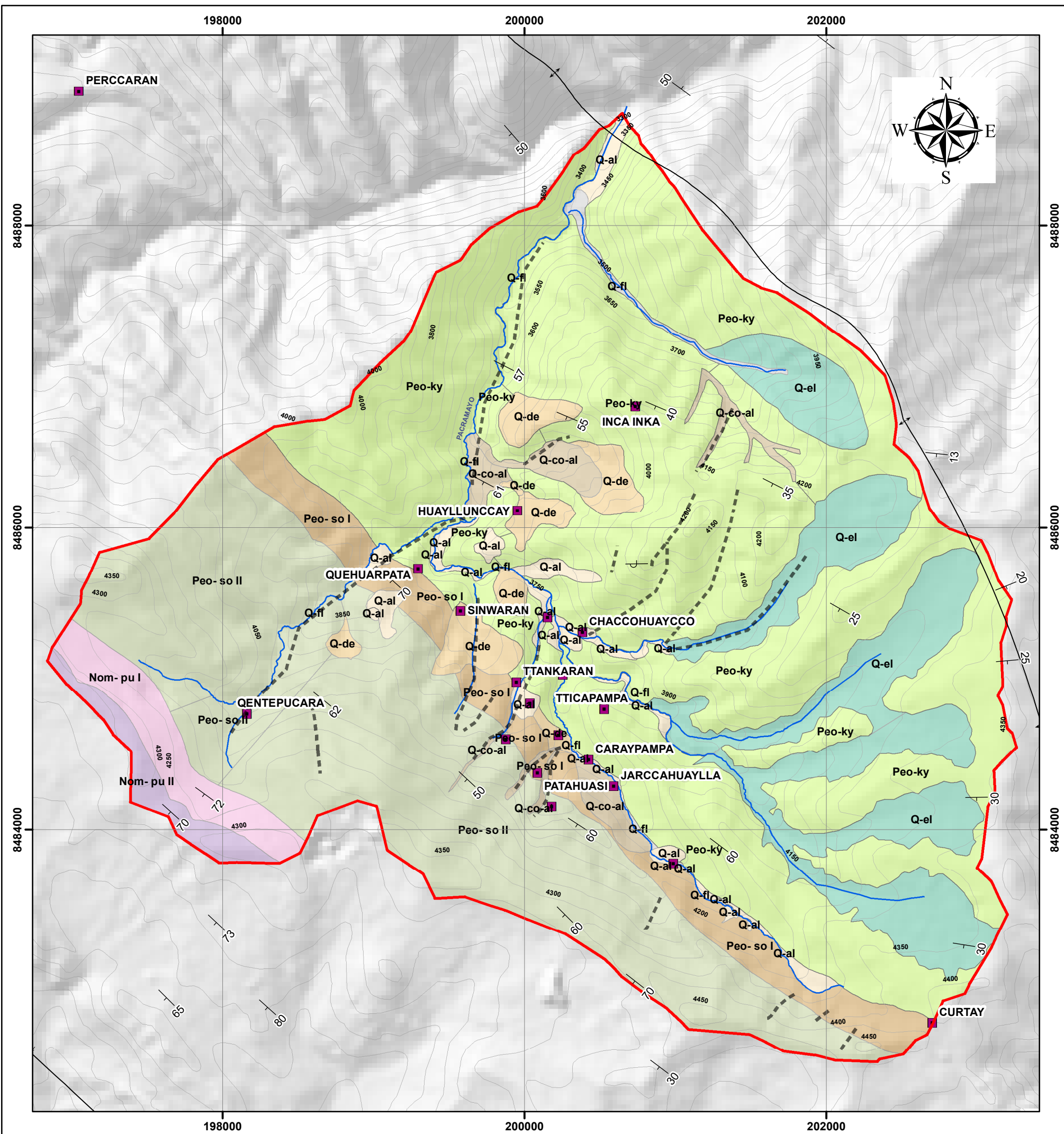
Está compuesto por fragmentos de rocas subredondeadas, gravas, arenas y limos ubicadas en el cauce del río Pacramayo y las corrientes aportantes al río en la parte baja de la quebrada. Este material ocupa un área de 0.14 km² y constituye el 0.61 % del área total de estudio.

Figura 26 se observa las gravas arenosas del rio Pacramayo



Tabla 7 Porcentaje de Unidades Litológicas

| ITEM | DESCRIPCION | AREA (km ²) | % AREA |
|------|-----------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | Deposito Fluvial | 0.14 | 0.61 |
| 2 | Deposito Aluvial | 0.51 | 2.18 |
| 3 | Deposito Coluvioaluvial | 0.46 | 1.98 |
| 4 | Deposito Deluvial | 0.62 | 2.66 |
| 5 | Deposito Eluvial | 2.91 | 12.50 |
| 6 | Fm. Kayra | 10.92 | 46.92 |
| 7 | Fm. Punacancha - Miembro I | 0.55 | 2.37 |
| 8 | Fm. Punacancha - Miembro II | 0.30 | 1.28 |
| 9 | Fm. Soncco - Miembro I | 1.17 | 5.02 |
| 10 | Fm. Soncco - Miembro II | 5.70 | 24.49 |
| | TOTAL | 23.28 | 100.00 |



LEYENDA

GEOLOGIA LOCAL

- Deposito Fluvial
- Deposito Aluvial
- Deposito Coluvioaluvial
- Deposito Deluvial
- Deposito Eluvial
- Fm. Punacancha - Miembro II
- Fm. Punacancha - Miembro I
- Fm. Soncco - Miembro II
- Fm. Soncco - Miembro I
- Fm. Kayra

SIMBOLOGIA

- FALLAS
- Centros Poblados
- Microcuenca Pacramayo
- Rios
- Curvas



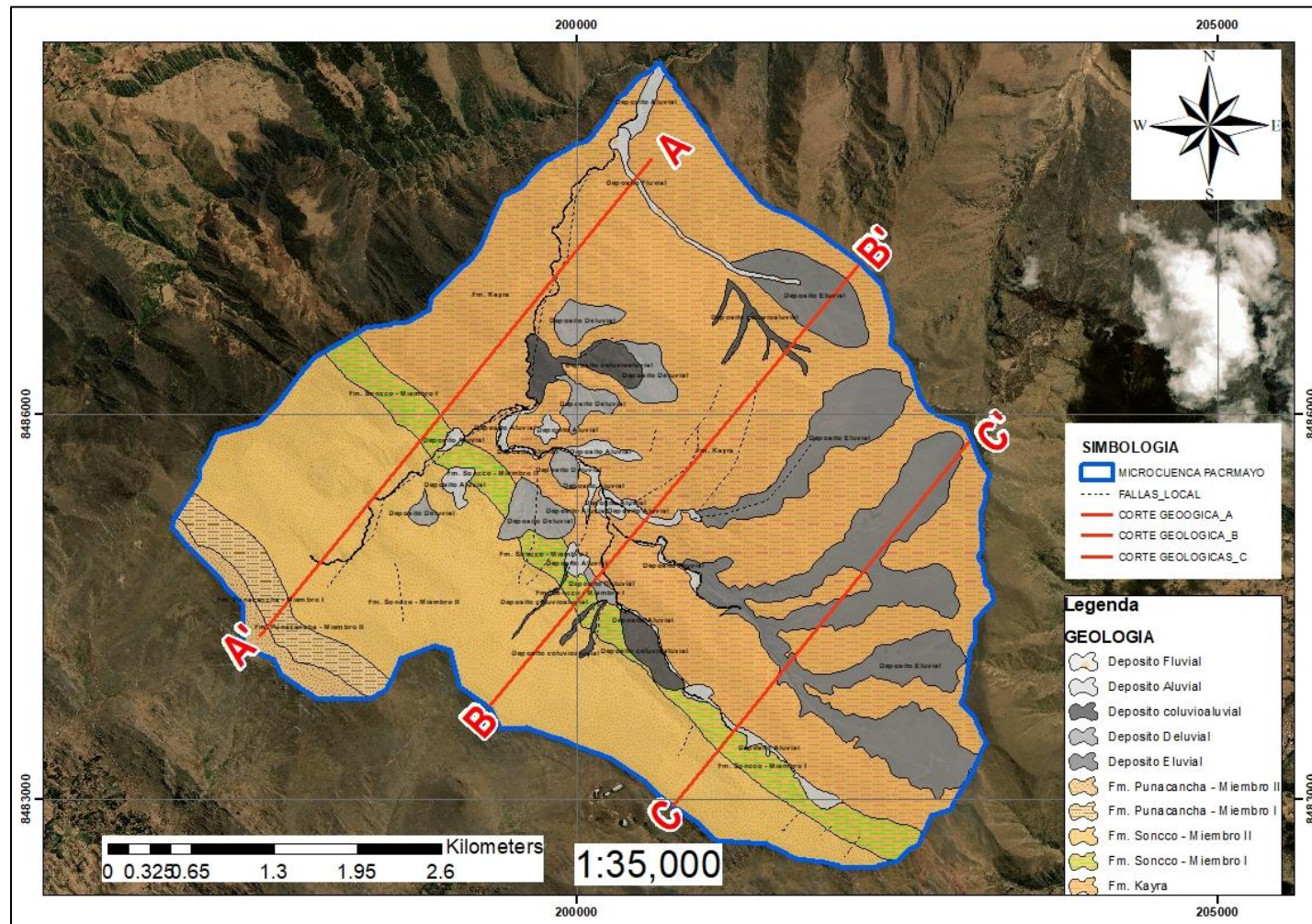
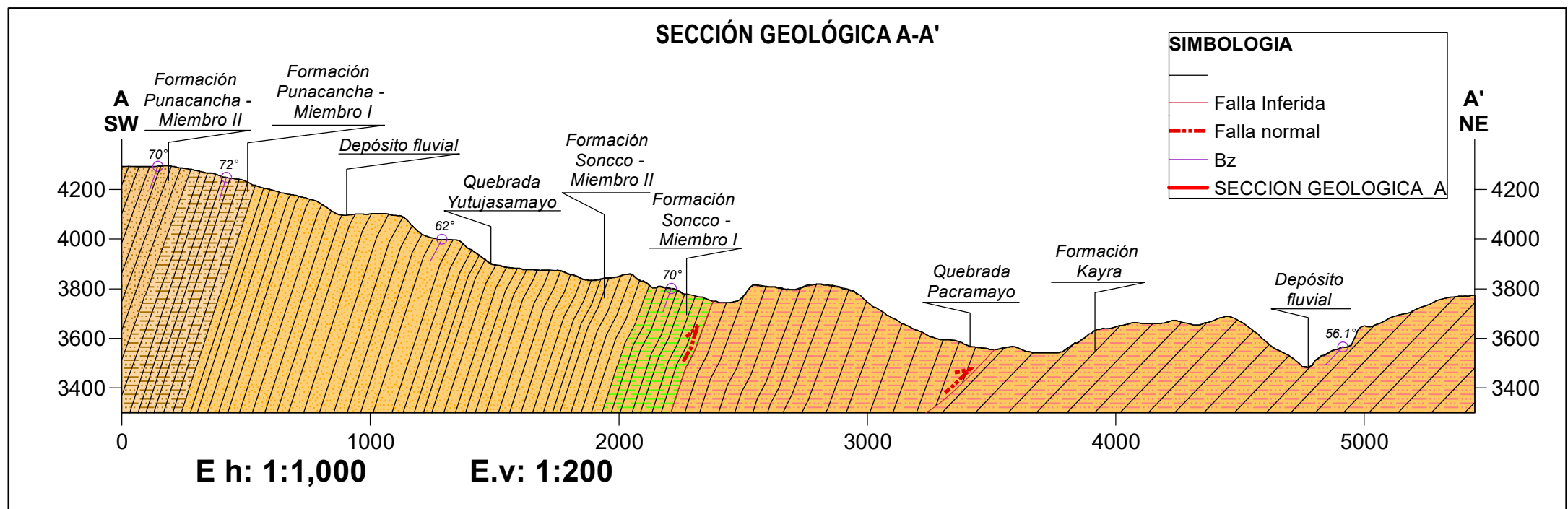
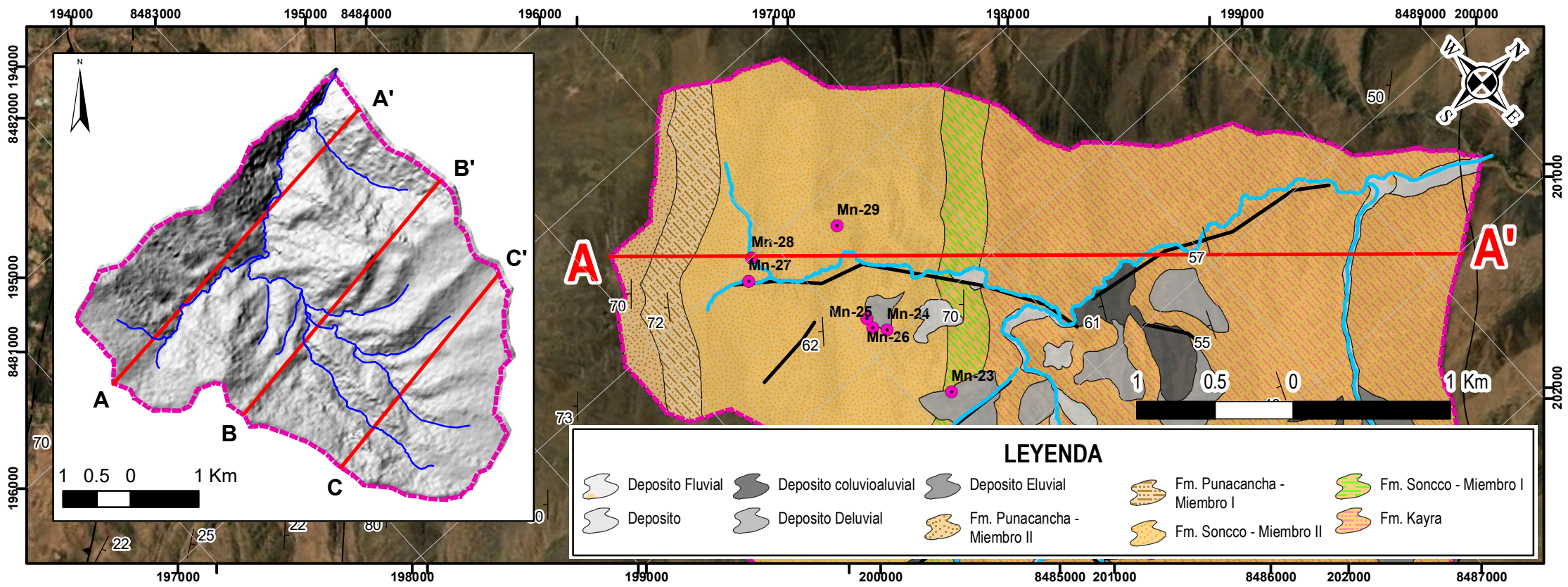
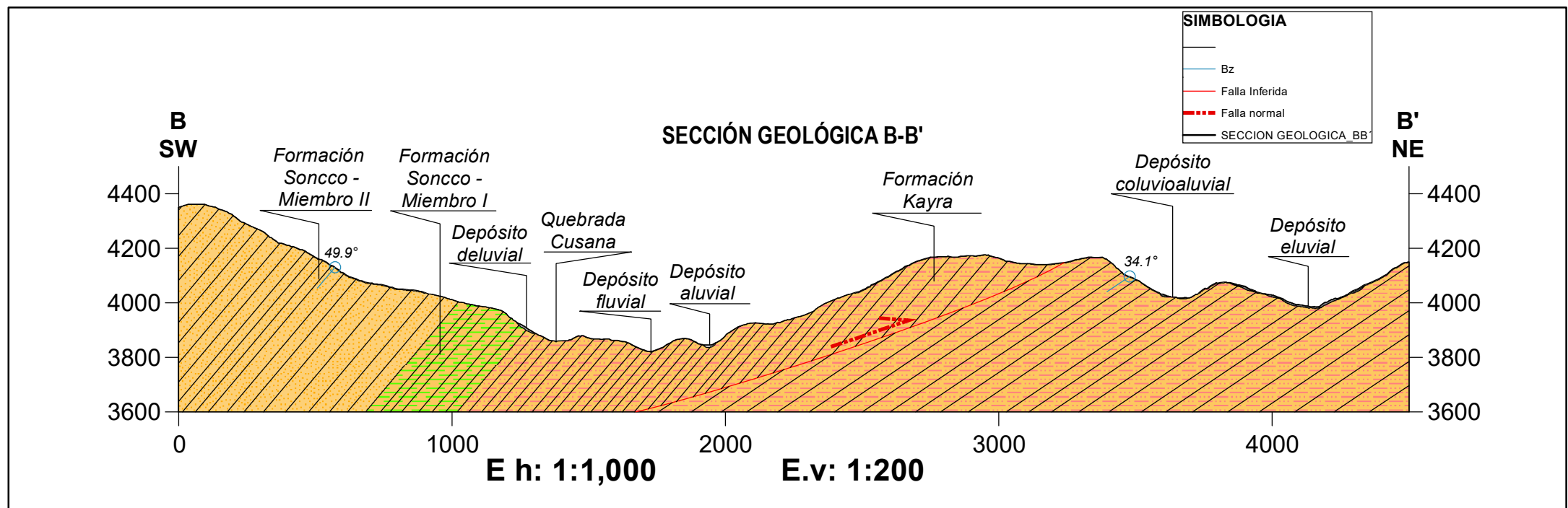
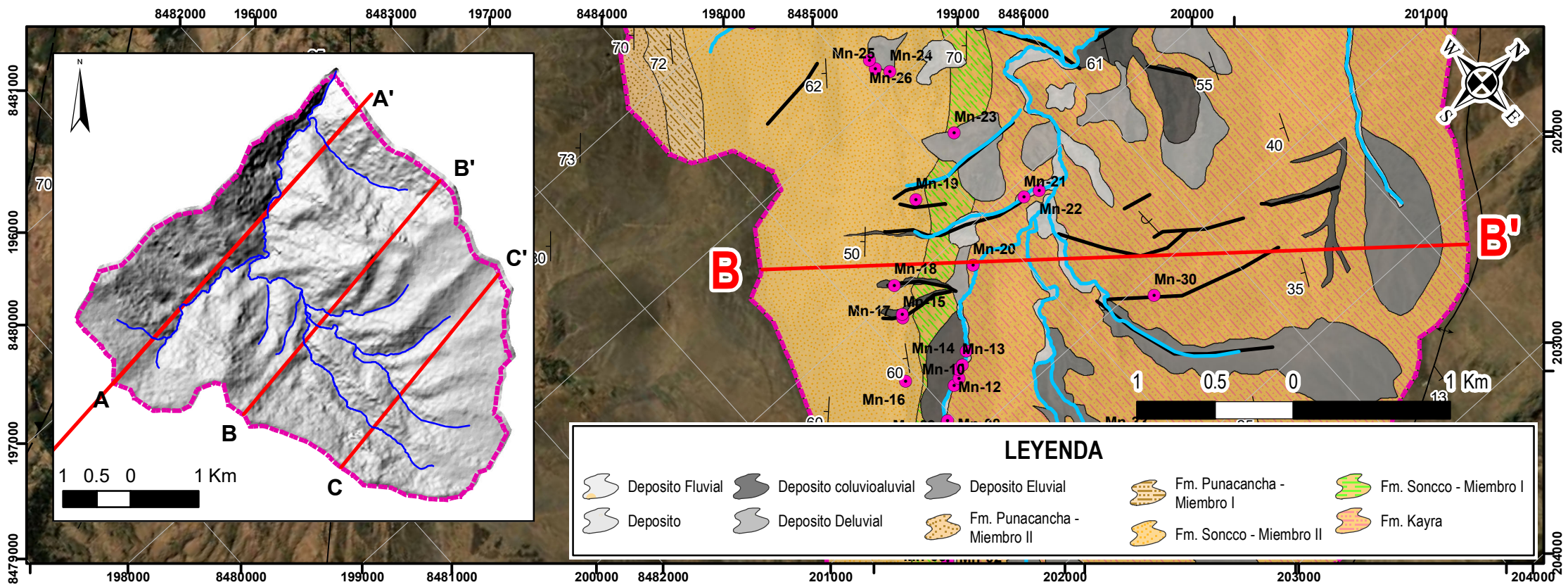
| | | |
|---|--|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA |  |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | |
| PLANO: | GEOLOGIA LOCAL | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | LAM-04 |
| ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 |
| | | LAMINA |

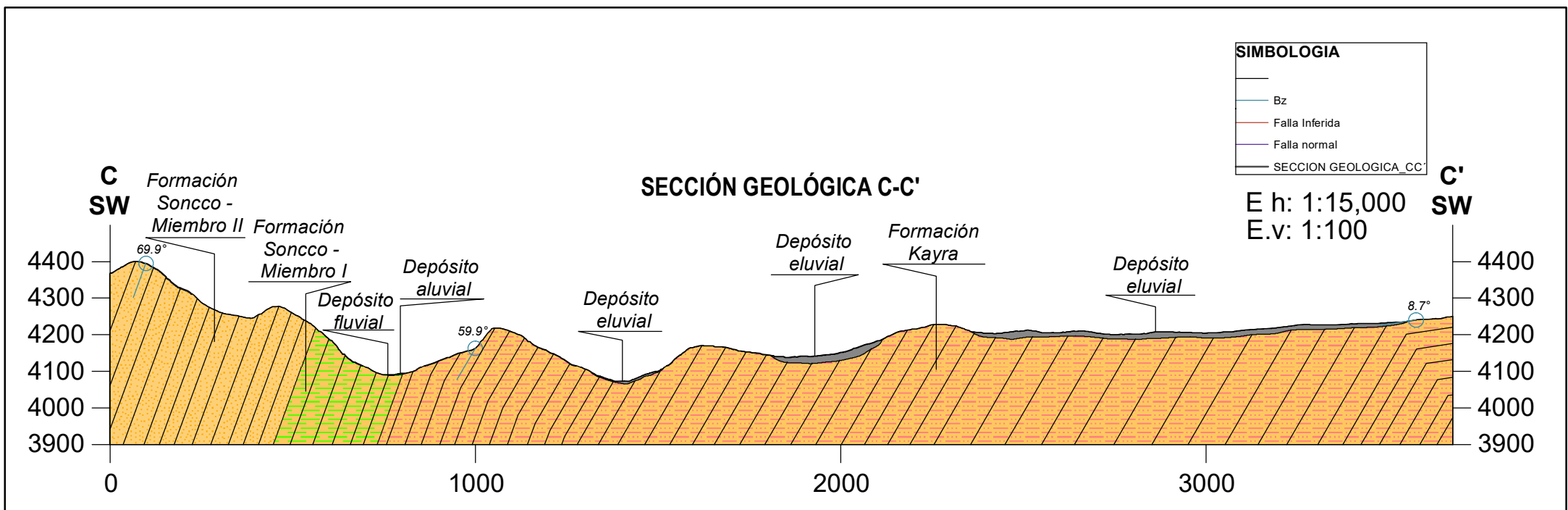
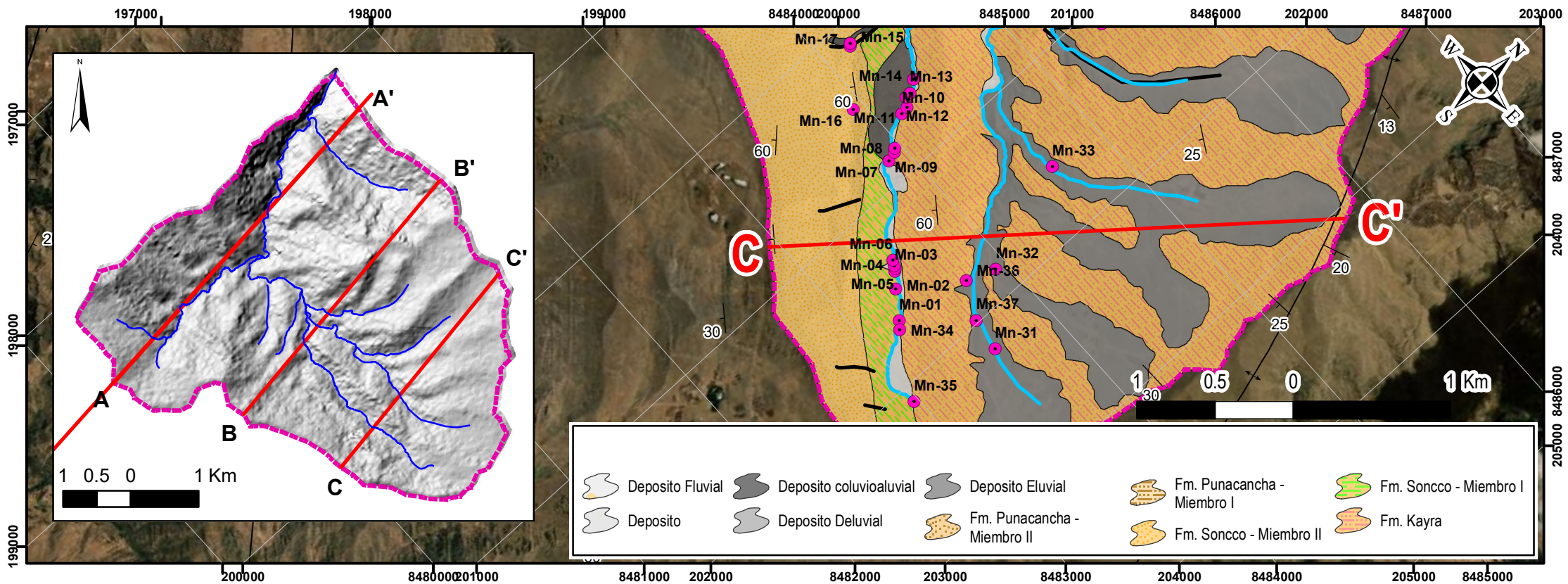
Figura 27 Se observan las líneas de secciones en la microcuenca

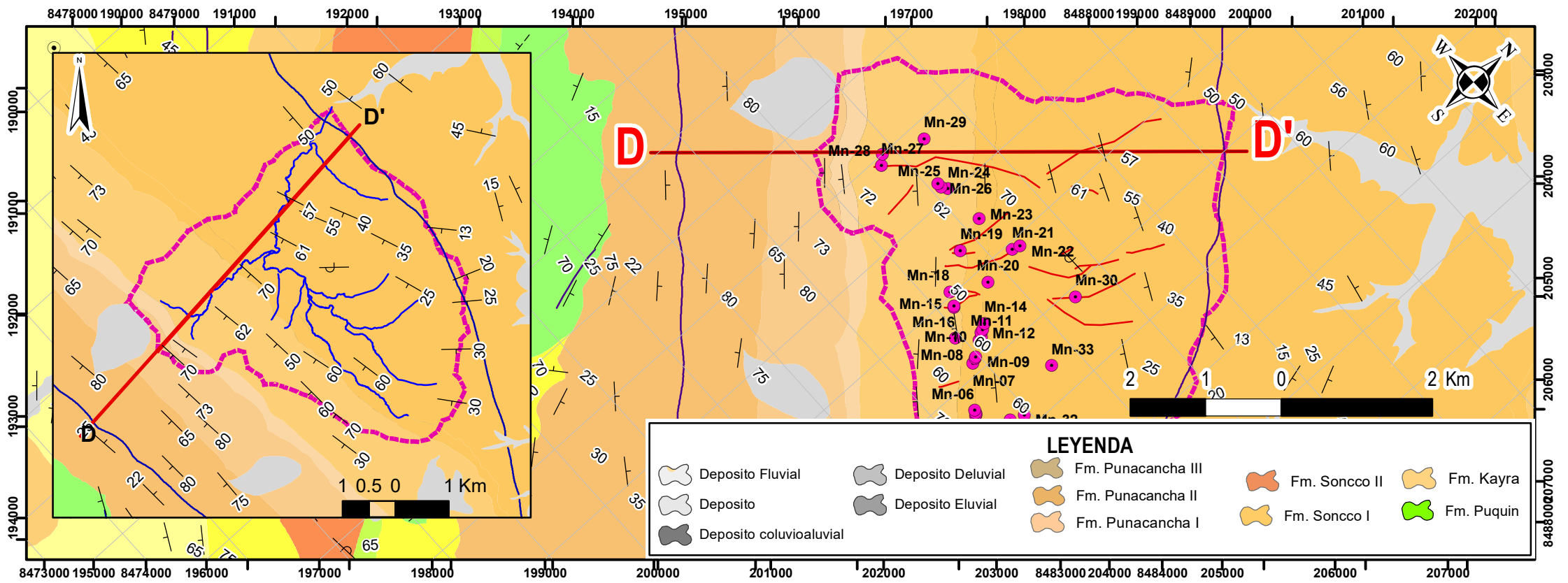


Fuente: Elaboración propia

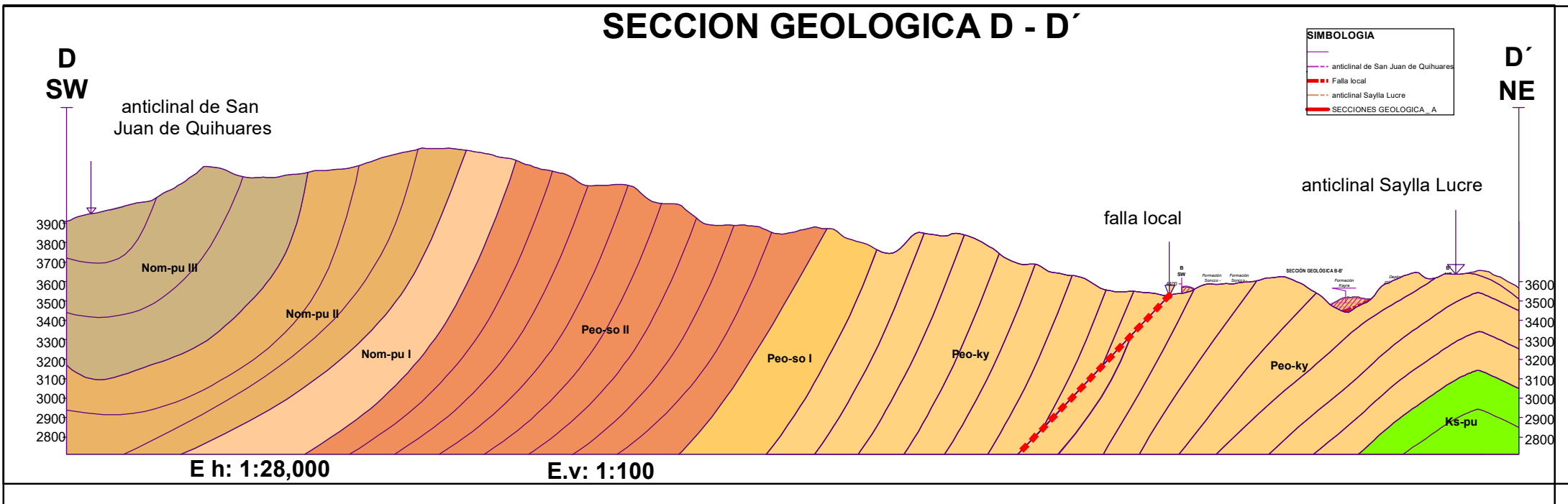








SECCION GEOLOGICA D - D'



4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio se encuentra cercana a las fallas las cuales tienen influencia sobre las formaciones geológicas presentes y estas se ven reflejadas en el grado y modo de su fracturamiento como menciona Carlotto et al. (2011a).

4.3.1. Falla Tambomachay

Se situ al norte de la ciudad del Cusco, separa la Meseta de Saqsaywaman de las Montañas del Cusco, lo que significa que pone en contacto las formaciones del Grupo Yuncaypata (Cretácico) con las del Grupo San Jerónimo (Eoceno-Oligoceno). Esta falla NO-SE a ONO-ESE es un suceso antiguo que ha tenido muchos juegos, al menos desde el Mesozoico, y que en el Cenozoico ha mostrado comportamientos con movimientos de rumbo e inverso (Carlotto, 1988). En efecto, la disposición actual de las rocas indica que existe una falla inversa. Sin embargo, esta falla tiene evidencias de un juego cuaternario antiguo de 400 m de desplazamiento caracterizado por las facetas triangulares.

El plano de falla tiene un buzamiento entre 60 y 70° al sur, y está cubierto parcialmente por detritos de pendiente de los conos de deyección (Cabrera, 1988). Reactivaciones recientes de la falla Tambomachay han creado escarpas menores orientadas hacia el sur en el pie de la escarpa principal (Sébrier et al. 1982, 1985; Cabrera, 1988). Estas escarpas menores se muestran a lo largo de 18 km, exhibiendo ligeramente un patrón arqueado discontinuo entre N80°E y N125°E. Poseen un desplazamiento promedio de 2m y un desplazamiento máximo de 4 m en su extremo más occidental, es decir a una altura de 4,100 m, en el cuadrángulo vecino de Urubamba (27-r). Las recientes reactivaciones han generado formas facetadas al pie de la escarpa, formando patrones en V que demuestran un claro movimiento normal reciente hacia el sur de la falla Tambomachay. Hacia el este, la falla activa desaparece bajo los conos aluviales de San Jerónimo, a una altura de 3400 msnm.

4.3.2. Falla Cusco

Las fotografías aéreas y las imágenes satélite evidencian 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 divide parcialmente el Altiplano de la zona intermedia con la Cordillera Oriental. Actualmente esta estructura no presenta indicios 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. De acuerdo a lo que muestra la foto de Ericksen et al. (1954), las estructuras serían una consecuencia de la reactivación de la falla Cusco (Carlotto et al., 1996). NO-SE entre San Jerónimo y San Sebastián a lo largo de 5 km de distancia, donde un nivel fue levantado en el sector sur del valle del Cusco. El mapa de isosistas de este sismo indica el epicentro en el valle, y las curvas isosistas alargadas coinciden con la estructura NO-SE de la falla Cusco. Por otro lado, las observaciones de campo del doctor Carlos Kalafatovich (inédito), luego del sismo, indican fracturas discontinuas en el suelo; ellas fueron cartografiadas a lo largo de varios kilómetros entre San Sebastián y San Jerónimo. Esta observación es similar a lo manifestado líneas arriba, y se puede interpretar que correspondería a la reactivación de la falla Cusco.

4.3.3. Falla Urcos

La falla Urcos se encuentra entre Huambutío al NO y Urcos al SE, entre 3200 y más de 3600 msnm. Ella corresponde a la prolongación hacia el este de la falla Pachatusan. Posee una dirección NO-SE y limita bloques de rocas paleozoicas de la Formación Ananea con rocas meso-cenozoicas en el límite Cordillera Oriental-Altiplano. Esta falla corta el volcánico cuaternario de Cerapata (Cabrera et al., 1987) cuyas lavas más jóvenes han sido datadas por K/Ar en <0.7 Ma (Kaneoka y Guevara, 1984). El río Vilcanota corta transversalmente la

escarpa exhibiendo un antecedente de proceso del río. Así la geomorfología fluvial muestra un cañón escarpado donde el río Vilcanota corta un bloque emergente y muestra la unión de abanicos y terrazas aluviales con una amplia llanura del río Vilcanota donde se han desarrollado canales entrelazados (Cabrera et al., 1987). Por lo tanto, la tectónica extensional del Cuaternario parece ser responsable de la sedimentación fluvio aluvial dentro de las depresiones de Lucre y Andahuaylillas. Precisamente, la depresión de Lucre es una consecuencia de la neotectónica y de las actividades volcánicas. Así, el volcán Rumicolca bloqueó la salida del río Huatanay al Vilcanota, causando la formación de la laguna de Huacarpay y luego la migración de drenaje hacia el NE por Huambutío. Entonces la reactivación tectónica del sistema de fallas Urcos incrementó las malas condiciones de drenaje. En el borde oriental, la terminación de la falla parece ser un sagpond (laguna de falla) donde se ha situado la laguna de Urcos (Cabrera et al., 1987).

4.3.4. Falla Paruro

La falla Paruro se extiende con dirección N150°E y buzamiento de 65°-70° hacia el oeste a lo largo de 11 kilómetros, entre los poblados de Yaurisque y Paruro. La deformación de esta falla se distribuye mediante un escarpe principal que generó un desplazamiento máximo vertical de 25 metros. Sólo en la sección norte, la falla se divide en 4 escarpes, generando según su distribución una estructura en echelón o cola de caballo. En la parte central tiene una dirección noroeste-sureste, donde se presenta un escarpe principal con dirección N150°.

4.4. ASPECTOS ESTRUCTURALES EN PACRAMAYO

4.4.1. Estructuras primarias

Estratificación

La estratificación presente en las formaciones geológicas es por sus procesos tectónicos de su formación, los cuales presentan discordancias angulares los cuales varían en su orientación. Los planos de estratificación son las discontinuidades naturales que tienen control sobre la dinámica de flujo de agua subterránea.

Figura 31 Estratificación flanco izquierdo de la microcuenca Pacramayo



Nota: Se observa la estratificación predominante en el flanco izquierdo de la microcuenca en la formación Soncco en la dirección suroeste a noreste y se encuentra fracturada por pequeñas fallas inversas locales.

Figura 32 Estratificación flanco derecho de la microcuenca Pacramayo



Tabla 8 Coordenadas UTM de las ventanas estructurales

| VENTANA | Coordenada X | Coordenada Y |
|------------------|---------------------|---------------------|
| VENTANA 1 | 201118.708 | 8483653.412 |
| VENTANA 2 | 200135.478 | 8485391.463 |
| VENTANA 3 | 198631.326 | 8486346.397 |

Fuente: Elaboración propia

Formación Soncco I

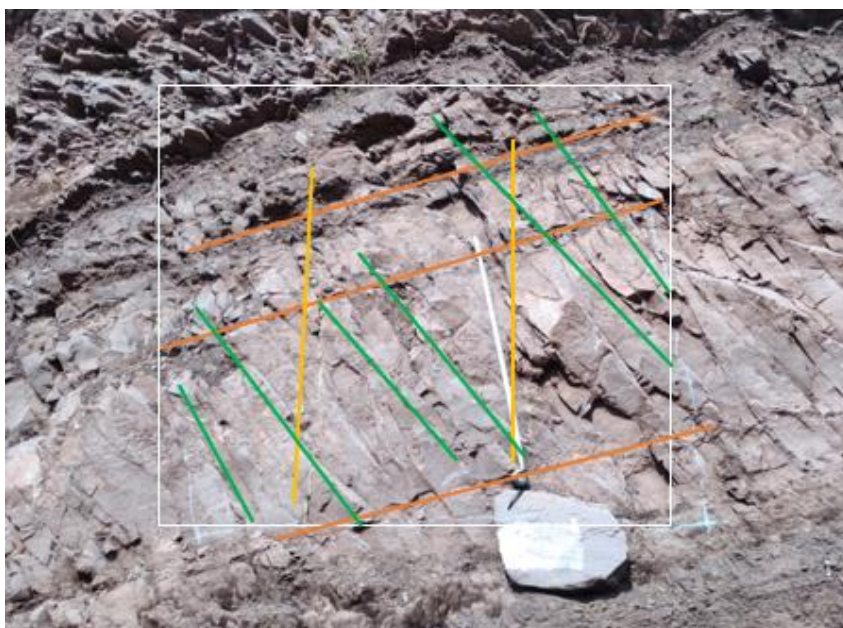
La Formación Soncco I muestra una litología de lutitas y areniscas intercaladas en la zona de estudio, presenta tres familias principales de discontinuidades. La familia 1 perteneciente a la estratificación con azimut de N110° y buzamiento 38°SE, la familia 2 tiene un azimut N312° y buzamiento 47°NE, y la familia 3 tiene un azimut N334° y buzamiento 81°NW. En esta zona las fracturas de F1 son las más importantes dado que sus parámetros mencionados son favorables para el movimiento del agua subterránea.

Tabla 9 Parámetros de las discontinuidades, ventana estructural Soncco I

| N° | Tipo de discontinuidad | Espaciado | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Alteración |
|-----------|-------------------------------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------------|
| F1 | Diaclasa | 92 cm | 213 cm | 1 mm | rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F2 | Diaclasa | 17 cm | 125 cm | 3mm | muy rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F3 | Diaclasa | 88 cm | 176 cm | 2 mm | rugoso | calcita | ligeramente alterado |

Fuente: Elaboración propia.

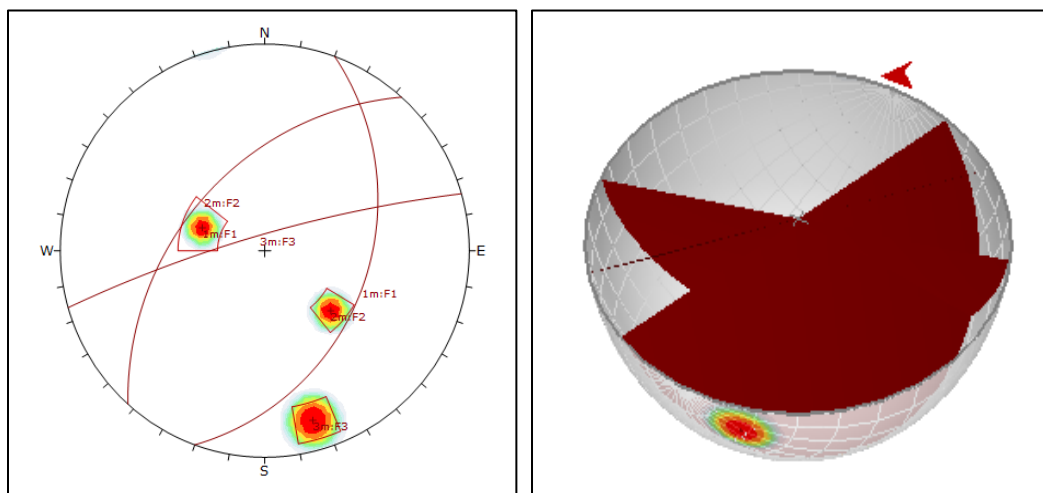
Figura 34 Ventana estructural de la Formación Soncco I



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la ventana estructural se observan las familias de fracturas (3 familias) siendo el color naranja la dirección de los estratos que es el principal.

Figura 35 Planos de fractura de la Formación Soncco I en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se uso en el programa DIPs para los estereogramas y ver los buzamientos de las diferentes familias de fracturas, siendo la familia 2 (verde) la que favorece al flujo subterráneo.

Formación Kayra margen derecha

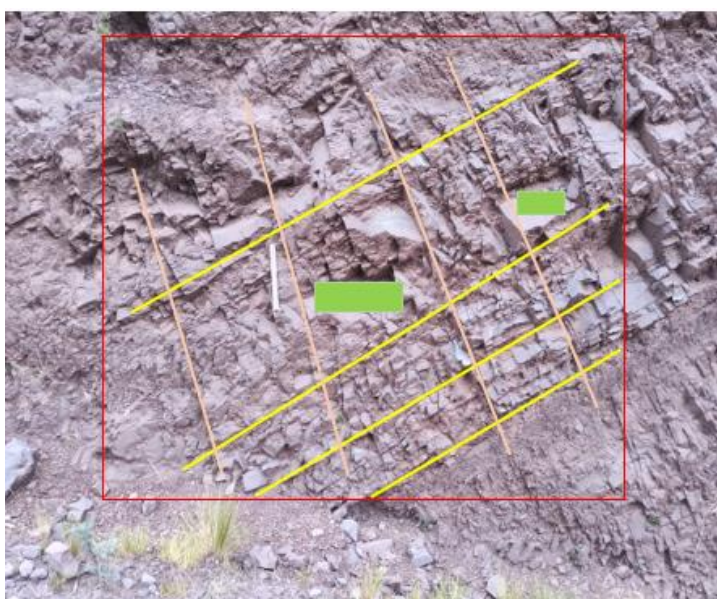
La Formación Kayra muestra una litología de areniscas y lutitas intercaladas, presenta tres familias de discontinuidades principales. La familia 1 perteneciente a la estratificación posee un azimut de $N87^\circ$ y buzamiento $87^\circ NE$, en la familia 2 tiene un azimut $N265^\circ$ y buzamiento $84^\circ NE$, y la familia 3 posee un azimut $N333^\circ$ y buzamiento $27^\circ NW$. En esta zona las fracturas de F3 son las más importantes debido a que sus parámetros mencionados son favorables para el movimiento del agua subterránea.

Tabla 10 Parámetros de las discontinuidades, ventana estructural Kayra margen derecha

| N° | Tipo de discontinuidad | Espaciado | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Alteración |
|----|------------------------|-----------|--------------|----------|------------|-------------|----------------------|
| F1 | Diaclasa | 102 cm | 213 cm | 1 mm | rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F2 | Diaclasa | 17 cm | 125 cm | 3mm | muy rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F3 | Diaclasa | 88 cm | 176 cm | 2 mm | rugoso | calcita | ligeramente alterado |

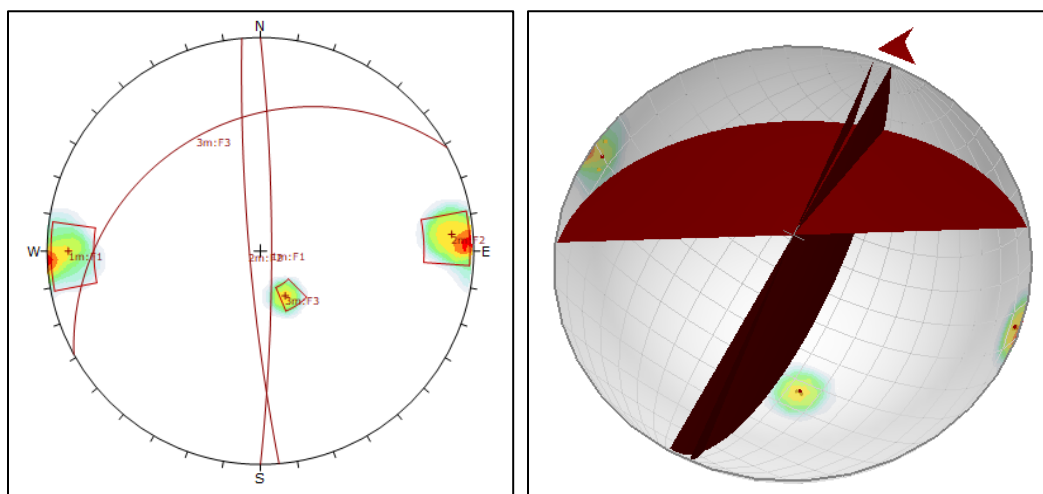
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36 Ventana estructural de la Formación Kayra margen derecha



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37 Planos de fractura de la Formación Kayra de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Formación Kayra margen izquierda

La Formación Kayra muestra una litología de areniscas y lutitas intercaladas presenta tres familias de discontinuidades principales. La familia 1 perteneciente a la estratificación tiene un azimuth de N87° y buzamiento 87°NE, la familia 2 tiene un azimuth N265° y buzamiento 84°NE, y la familia 3 tiene un azimuth N333° y buzamiento 27°NW. En esta zona, las fracturas de F2 son las más importantes dado que sus parámetros mencionados son favorables para el movimiento del agua subterránea.

Tabla 11 Parámetros de las discontinuidades ventana estructural Kayra margen izquierda

| N° | Tipo de discontinuidad | Espaciado | Persistencia | Apertura | Rugosidad | Relleno | Alteración |
|----|------------------------|-----------|--------------|----------|-----------|-------------|----------------------|
| F1 | Diaclasa | 42 cm | 115 cm | 1 mm | rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F2 | Diaclasa | 24 cm | 90 cm | 2mm | rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |
| F3 | Diaclasa | 80 cm | 78 cm | 2 mm | rugoso | sin relleno | ligeramente alterado |

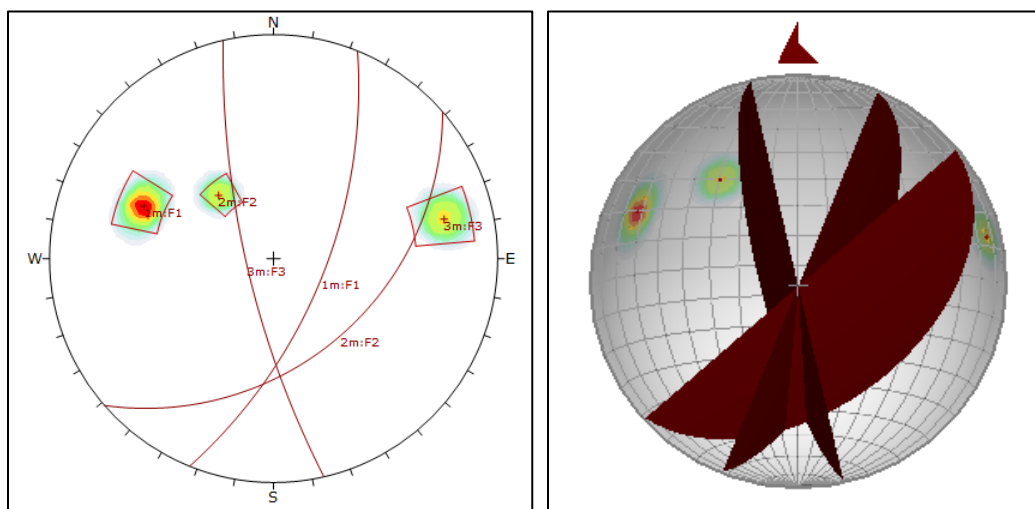
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38 Ventana estructural de la Formación Kayra margen izquierda



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39 Planos de fractura de la Formación Kayra margen izquierda de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fallas locales

En la Formación Soncco y kayra se han identificado algunas fallas locales, estas estructuras pertenecen a una familia de discontinuidades que se encuentran perpendiculares a la estratificación. A continuación, se presentan las fallas cartografiadas.

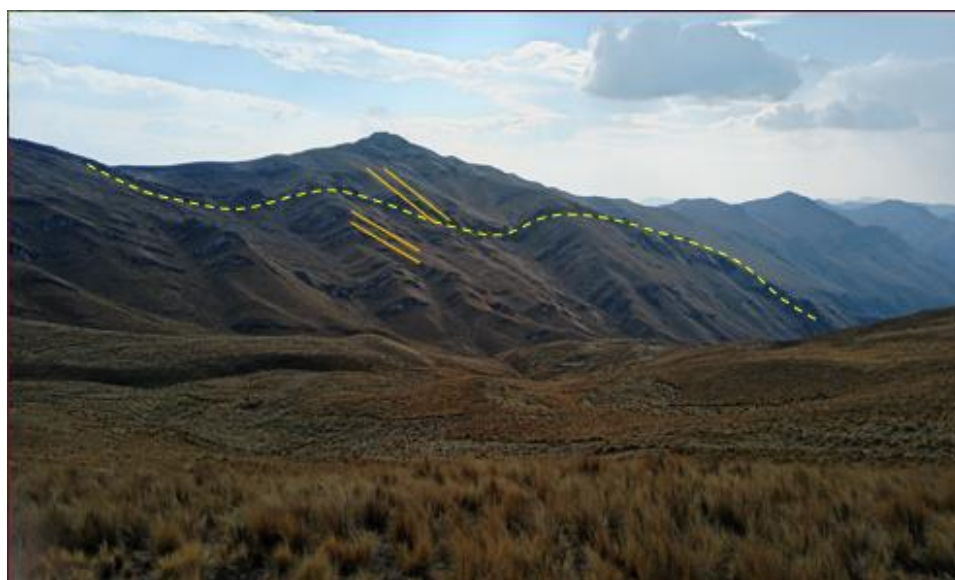
Tabla 12 Coordenadas de las fallas locales

| N° | Coordenada X | Coordenada Y | Azimut | Buzamiento |
|----------------|--------------|--------------|--------|------------|
| Falla 1 | 199581.6 | 8486032.2 | | |
| Falla 2 | 199968.9 | 8487473.5 | N305° | 60° NE |
| Falla 3 | 199988 | 8484314.6 | N292° | 62° NW |
| Falla 4 | 201467.6 | 8485327.3 | N114° | 32° NW |

Fuente: Elaboración propia.

Falla 1. Esta falla inferida se halla dividiendo la formación Soncco I y II en dirección noreste a suroeste, lo que demuestra el cambio brusco de buzamiento.

Figura 40 Falla de inferida dextral



Nota: Se observa los cambios de buzamiento en el flanco izquierdo de la microcuenca, de una moderada extensión, en la zona de recarga.

Falla 2. Esta falla inversa se halla en las intercalaciones de lutitas y areniscas de la Formación Kayra en el corte de vía de la comunidad de Pacramayo.

Figura 41 Presencia de la falla inversa en la Formación Kayra



Nota: Se observa el desplazamiento de las lutitas que se encuentran altamente fracturados y son de coloración marrón rojizo y el bloque de areniscas en el corte de carretera de la comunidad de Pacramayo.

Falla 3. Esta falla normal se halla en las intercalaciones de lutitas y areniscas de la Formación Soncco I en el corte de vía de la comunidad de Colcaiqui.

Figura 42 Falla normal en areniscas de la Formación Soncco I



En síntesis, en este capítulo se tiene que las fallas inversas, normales e inferidas vistas en campo tienen una relación con los manantes ya que son fuente de recarga para los manantes y debido a estas estructuras en algunos casos se encuentran alineadas y se recargan entre ellas; de las ventanas estructurales se tiene que los buzamientos que favorecen a la dirección de flujo son las que tienen un azimut de $N87^\circ$ y buzamiento $87^\circ NE$ como se observan en los planos de fractura.

Las fracturas presentes en los macizos rocosos aumentan la porosidad secundaria de los macizos rocosos permitiendo una mayor infiltración y se relaciona con la dirección de flujo que se presenta en la microcuenca.

CAPITULO 5: HIDROLOGIA

5.1. Ubicación hidrográfica de la microcuenca

Se aplica el criterio de Otto Pfafstetter para identificar la microcuenca Pacramayo, el cual establece que hay tres clases de unidades de drenaje: cuenca, intercuenca y cuencas internas. Según el sistema de codificación Pfafstetter, Perú está ubicado en tres grandes cuencas o vertientes hidrográficas de primer nivel en Sudamérica, que son: La cuenca interna del Titicaca con código 0, la Intercuenca del Pacífico con código 1 y la cuenca del Amazonas con código 4.

En el caso de la microcuenca Pacramayo se describe de la siguiente manera

| | | |
|---------------|-----------------|----------------------------------|
| 499494 | Nivel 7: | Microcuenca de Pacramayo |
| | Nivel 6: | Cuenca del río Lucre |
| | Nivel 5: | Cuenca del río Alto Urubamba |
| | Nivel 4: | Cuenca del río Urubamba |
| | Nivel 3: | Cuenca del río Ucayali |
| | Nivel 2: | Cuenca cabecera del río Amazonas |
| | Nivel 1: | Región Hidrográfica del Amazonas |

5.2. Morfometría de la cuenca

5.2.1. Parámetros generales

Estos parámetros serán la información básica necesaria para tener una primera idea de la naturaleza y comportamiento de la microcuenca Pacramayo. Los parámetros generales según Ibañez et al. (2011) son la geometría, centroides y altitudes de la cuenca.

Tabla 13 Parámetros de forma de la microcuenca Pacramayo

| PARAMETROS | | UND | NOMENCLATURA | CUENCA | | | |
|--|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|---|-----|
| Superficie total de la cuenca | | Km ² | At | 23.1 | | | |
| Perímetro | | Km. | P | 20.9 | | | |
| UBICACIÓN | Zona de Proyección UTM | | s/U | Zona | 19.0 | | |
| | X | | m | Coord. X | 200493.1 | | |
| | Y | | m | Coord. Y | 8485333.7 | | |
| RELACIONES DE FORMA | FACTOR DE CUENCA | Coeficiente de Compacidad (Gravelius) | | s/U | $Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$ | 1.2 | |
| | | FACTOR DE FORMA | Longitud de la Cuenca | | Km. | LB | 7.4 |
| | Ancho Medio de la Cuenca | | Km. | $AM = At / LB$ | 3.1 | | |
| | Factor de Forma | | s/U | $Kf = AM / LB$ | 0.4 | | |
| | RECTANGULO EQUIVALENTE | | Lado Mayor | | Km. | $Kc^{*}(pi^{*}A)^{1/2}/2^{*}(1+(1-4/pi^{*}Kc^{*}))$ | 7.4 |
| | | | Lado Menor | | Km. | $Kc^{*}(pi^{*}A)^{1/2}/2^{*}(1-(1-4/pi^{*}Kc^{*}))$ | 3.1 |
| Densidad de drenaje | | Km./Km ² . | $Dd = Lt / At$ | | 3.6 | | |
| Desnivel total de la cuenca | | Km. | Ht | | 1.2 | | |
| Altura media de la cuenca | | m.s.n.m. | Hm | | 4096.9 | | |
| Pendiente cuenca (Met. Rectángulo Equivalente) | | % | Ht / Lma | | 0.2 | | |
| Tiempo de Concentración Kirpich | | min. | $0.0195(L^{*}3/h)^{*}0.385$ | | 37.8 | | |

Hay varios parámetros fisiográficos que facilitan la descripción de una cuenca, pero los más relevantes son:

Área de la cuenca: Se empleo el programa ArcGIS 10.5 para calcular el área de la microcuenca Pacramayo, contando con un área total de 23.07 km².

De acuerdo con DSMC-DGASI/Lima, 1983 (Ver tabla 12), según su clasificación por rango de área, el área de estudio se clasifica como microcuenca, dado que tiene un área que varía entre 10 – 100 km² (23.07km²).

Área total de la cuenca: 23.07 km²

Tabla 14 Unidades Hidrográficas y rangos.

| Unidad Hidrográfica | Área (km ²) | N° de orden del Río |
|------------------------|-------------------------|---------------------|
| Quebrada (muy pequeña) | < 10 | 1°, 2° |
| Microcuenca (pequeña) | 10 -100 | 1°, 2°, 3° |
| Sub cuenca (mediano) | 100 -700 | 4° o 5° |
| Cuenca (grande) | 700 -900 | 6° a mas |

Fuente: DSMC-DGASI/Lima, 1983 – Metodología de Priorización de cuencas)

Elaboración Propia

Perímetro (P): Asimismo, se empleó el software ArcGIS 10.5 para calcular el perímetro de la microcuenca Pacramayo, con un perímetro de 20.85 km.

Índice de compacidad (Índice de Gravelious): Expresa la relación entre el perímetro de la microcuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia, que posee la misma área de la microcuenca, es decir:

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km) 20.85 km

A = Área de la cuenca (km²) 23.07 km²

Entonces:

$$\mathbf{K = 1.2}$$

El índice de compacidad para la microcuenca Pacramayo es de 1.2, lo que indica que es una microcuenca de forma redonda.

5.2.2. Parámetros de relieve

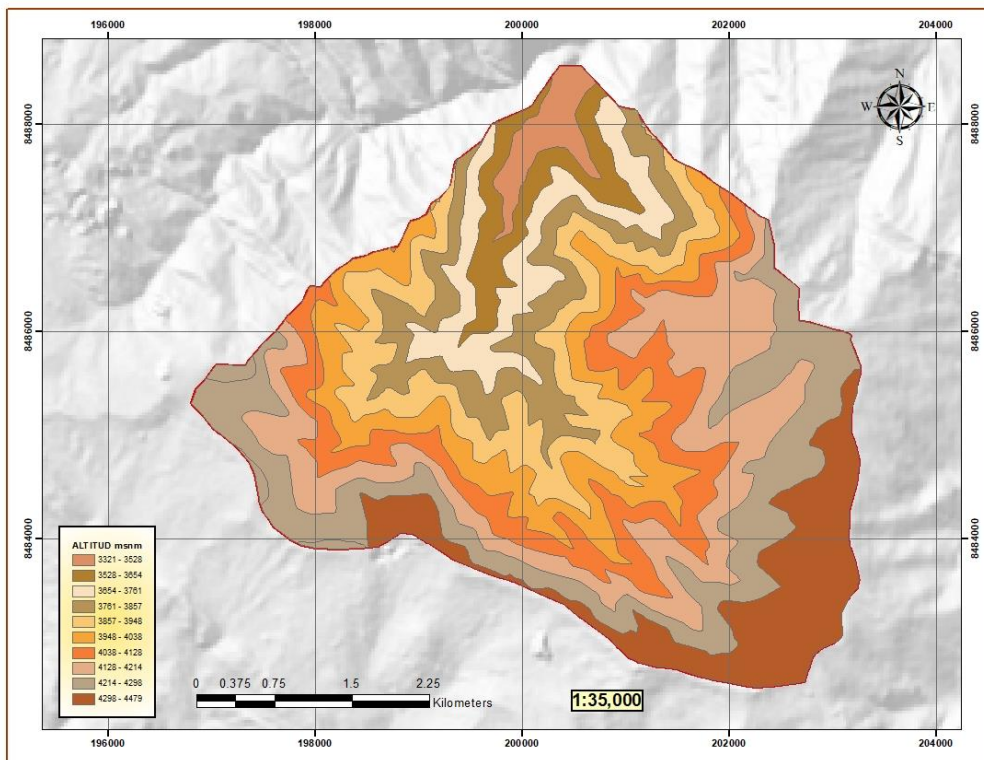
El relieve en una cuenca influye más en la respuesta hidrológica que su forma; por lo general, cuanto mayor es el relieve o la pendiente, se produce más escorrentía en un periodo de tiempo reducido. Las principales medidas del terreno son la pendiente media del cauce, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica, el histograma de frecuencias altimétricas y la altura media. (Ibañez et al., 2011).

Tabla 15 Áreas parciales de la microcuenca Pacramayo

| ALTITUD | | AREAS PARCIALES | | AREAS ACUMULADAS | | | |
|--------------|------|-----------------|-------|------------------|-------|------------|------|
| m.s.n.m. | | Km2 | (%) | POR DEBAJO | | POR ENCIMA | |
| | | | | (KM2) | (%) | KM2 | (%) |
| 3321 | 3528 | 0.57 | 2.48 | 0.6 | 2.5 | 22.5 | 97.5 |
| 3528 | 3654 | 1.04 | 4.53 | 1.6 | 7.0 | 21.5 | 93.0 |
| 3654 | 3761 | 1.57 | 6.79 | 3.2 | 13.8 | 19.9 | 86.2 |
| 3761 | 3857 | 2.03 | 8.79 | 5.2 | 22.6 | 17.9 | 77.4 |
| 3857 | 3948 | 2.49 | 10.81 | 7.7 | 33.4 | 15.4 | 66.6 |
| 3948 | 4038 | 2.67 | 11.57 | 10.4 | 45.0 | 12.7 | 55.0 |
| 4038 | 4128 | 2.67 | 11.57 | 13.0 | 56.5 | 10.0 | 43.5 |
| 4128 | 4214 | 3.52 | 15.24 | 16.6 | 71.8 | 6.5 | 28.2 |
| 4214 | 4298 | 3.61 | 15.64 | 20.2 | 87.4 | 2.9 | 12.6 |
| 4298 | 4479 | 2.90 | 12.58 | 23.1 | 100.0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | 23.0697 | 100 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Áreas parciales de la microcuenca Pacramayo

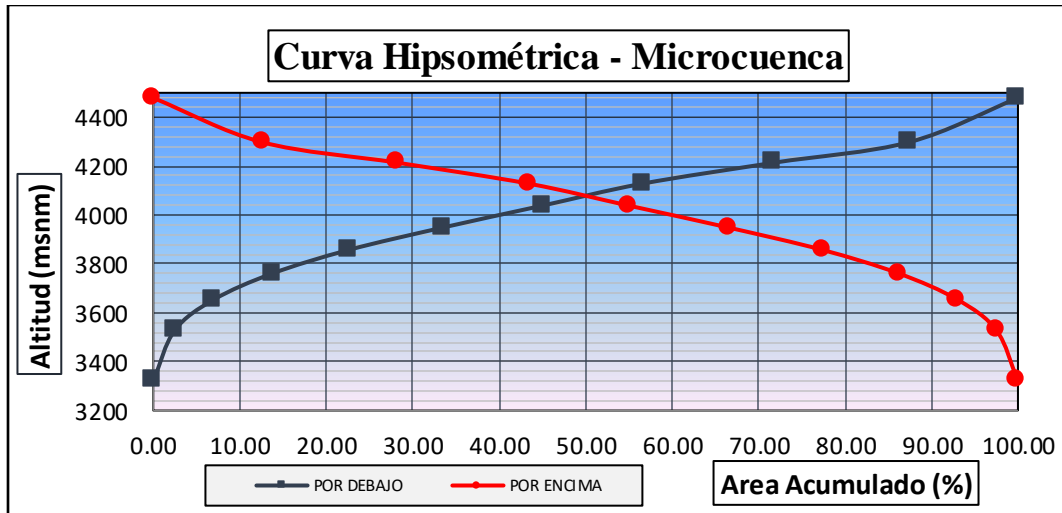


Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencias

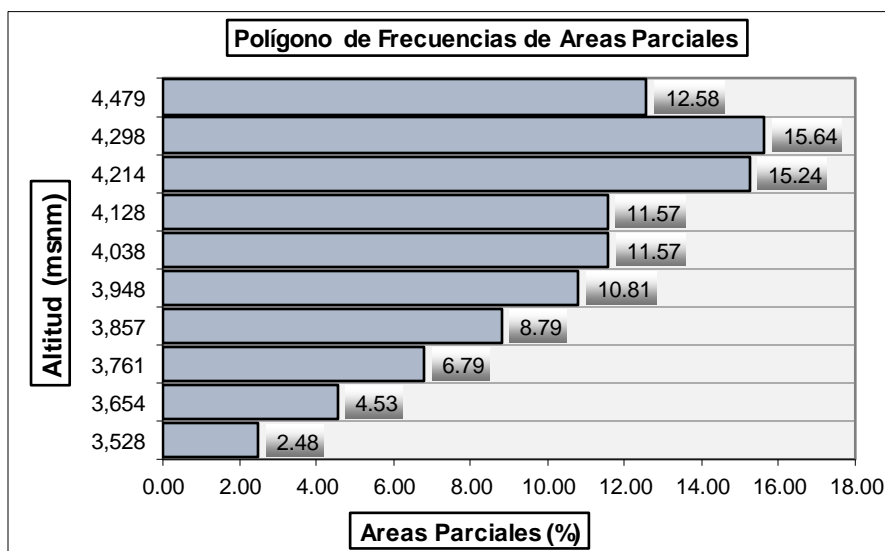
La curva hipsométrica muestra que la microcuenca Pacramayo está en una etapa de erosión (potencial erosivo), respecto al polígono de frecuencias, presenta una mayor área (15.64%) a una altura de 4298 msnm. (ver figura 41).

Figura 44 Curva hipsométrica de la microcuenca Pacramayo



Fuente: Elaboración propia

Figura 45 Polígono de frecuencias de la microcuenca Pacramayo

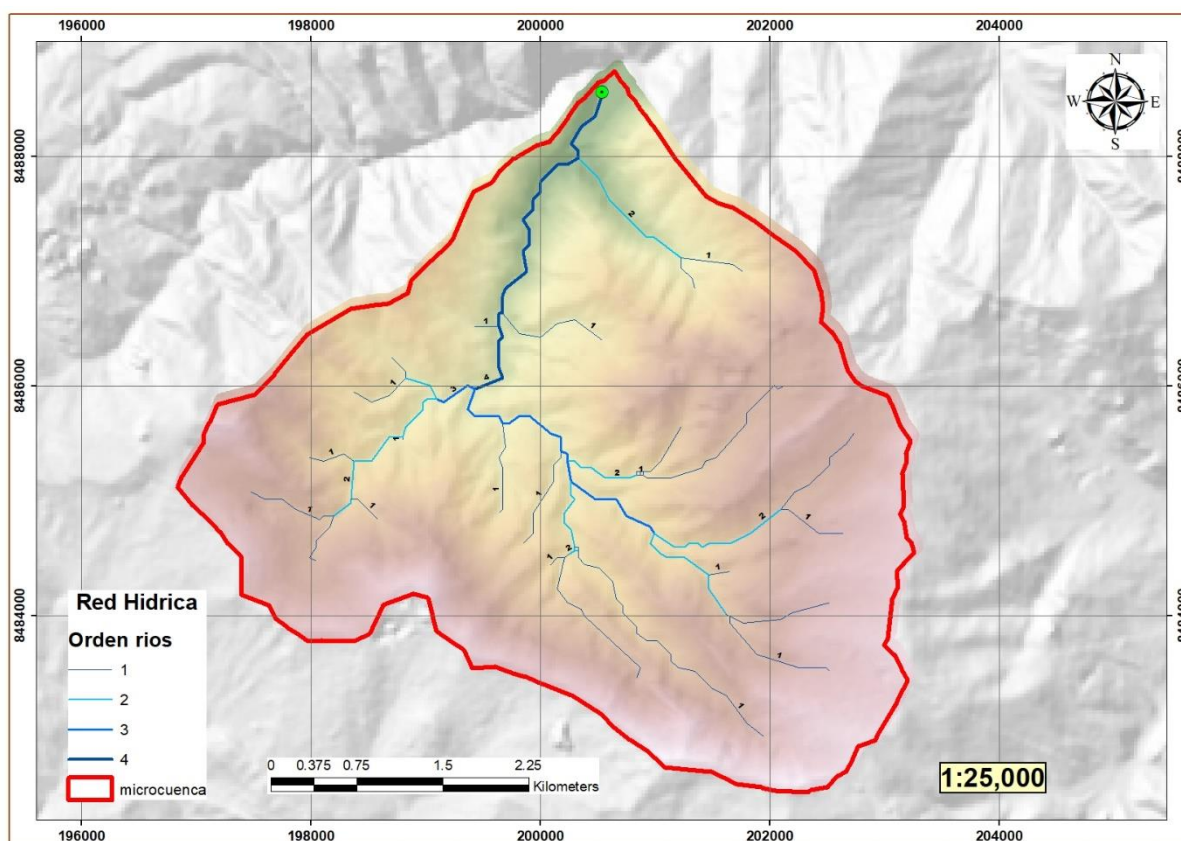


Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2. Características de la red de drenaje

La clasificación ayuda a aclarar la evolución y complejidad del sistema d drenaje de la microcuenca. El caudal relativo de un segmento de canal afecta el orden. (Ibañez et al., 2011).

Figura 46 Hidrografía de la microcuenca Pacramayo



Fuente: Elaboración propia

5.3. INFORMACION HIDROMETEREOLÓGICA

5.3.1. PRECIPITACION

5.3.1.1. EVALUACION DE LA PRECIPITACION

Se ha recopilado la información meteorológica de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Es importante destacar que la microcuenca estudiada no posee ninguna estación pluviométrica y climatológica.

Tabla 16 Datos de estaciones meteorológicas

| CODIGO | NOMBRE | TIPO | UBICACIÓN | | | LATITUD (°, ', ") | LONGITUD (°, ', ") | ALTITUD (msnm) |
|--------|---------|------|-----------|-------------|--------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| | | | Dpto. | Provincia | Distrito | | | |
| 113041 | CCATCCA | CM | CUSCO | CANCHIS | MARANGANI | 13° 36' 35.6" | 71° 33' 36.4" | 3681 |
| 113122 | CAYCAY | CM | CUSCO | PAUCARTAMBO | CAICAY | 13° 35' 59.96" | 71° 42' 1" | 3117 |
| 113037 | PARURO | CM | CUSCO | PARURO | PARURO | 13° 46' 1.1" | 71° 50' 40.9" | 3070 |
| 100101 | PISAC | CM | CUSCO | CALCA | PISAC | 13° 25' 10.2" | 71° 51' 3.1" | 2990 |
| 100044 | KAYRA | CM | CUSCO | CUSCO | SAN JERÓNIMO | 13° 33' 24.29" | 70° 52' 30.61" | 3212 |

Fuente: Elaboración Propia en base a la información SENAMHI

5.3.1.2. ANALISIS DE PRECIPITACION

Para calcular las precipitaciones en nuestra área de estudio se analizaron los datos de precipitación total mensual registrados en las estaciones de SENAMHI previamente citadas, desde 1985 hasta el año 2021. Se llevaron a cabo las pruebas de consistencia, ajuste de información y se llevó a cabo la completación de los datos faltantes.

Luego se regionalizó y extrapoló la información de los datos para la microcuenca Pacramayo. Es importante mencionar que todos los métodos para la estimación de precipitación en el área de estudio, se basaron en referencia del libro “Hidrología Estadística” de Máximo Villon Bejar.

5.3.1.2.1. ANALISIS DE CONSISTENCIA

El análisis de consistencia de la información, es el proceso que implica la identificación, descripción y eliminación de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

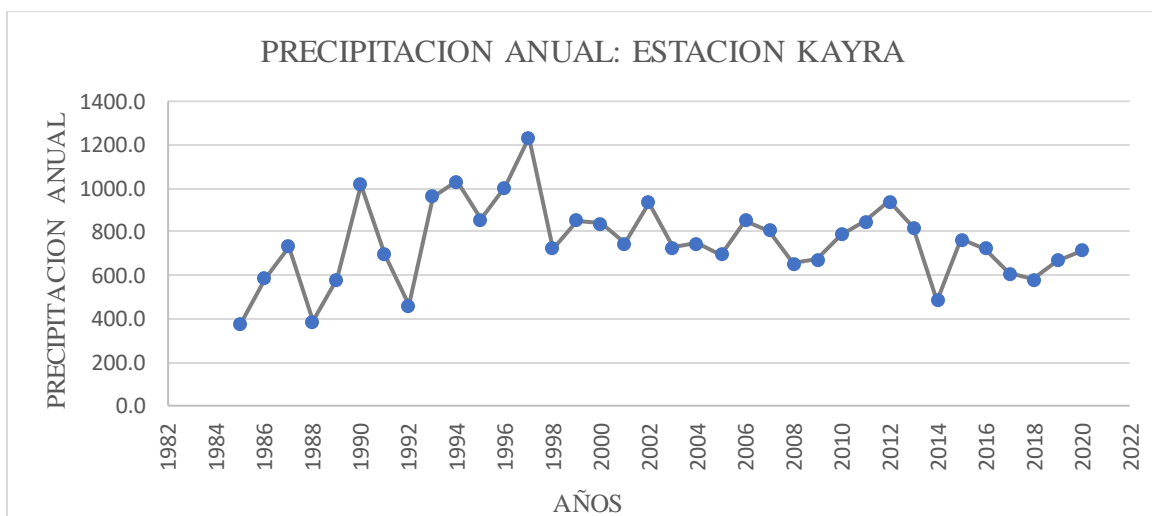
Antes de emplear la serie histórica en el modelamiento, es necesario llevar a cabo el análisis de consistencia correspondiente, con el fin de conseguir una serie fiable, o sea, uniforme y consistente.

El análisis de consistencia de la información hidrológica, se lleva a cabo a través de los siguientes procesos:

- Análisis visual grafico
- Análisis de doble masa
- Análisis estadístico

Análisis visual grafico: Se realizan hidrogramas utilizando los datos históricos. Este diagrama sirve para examinar la consistencia de los datos hidrológicos de manera visual y señalar el periodo en el que la información es dudosa. Esto puede manifestarse como “picos” muy elevados o valores muy bajos, saltos o tendencias. Estos datos deben ser verificados, si los fenómenos naturales efectivamente se han producido, o si son resultado de errores sistemáticos.

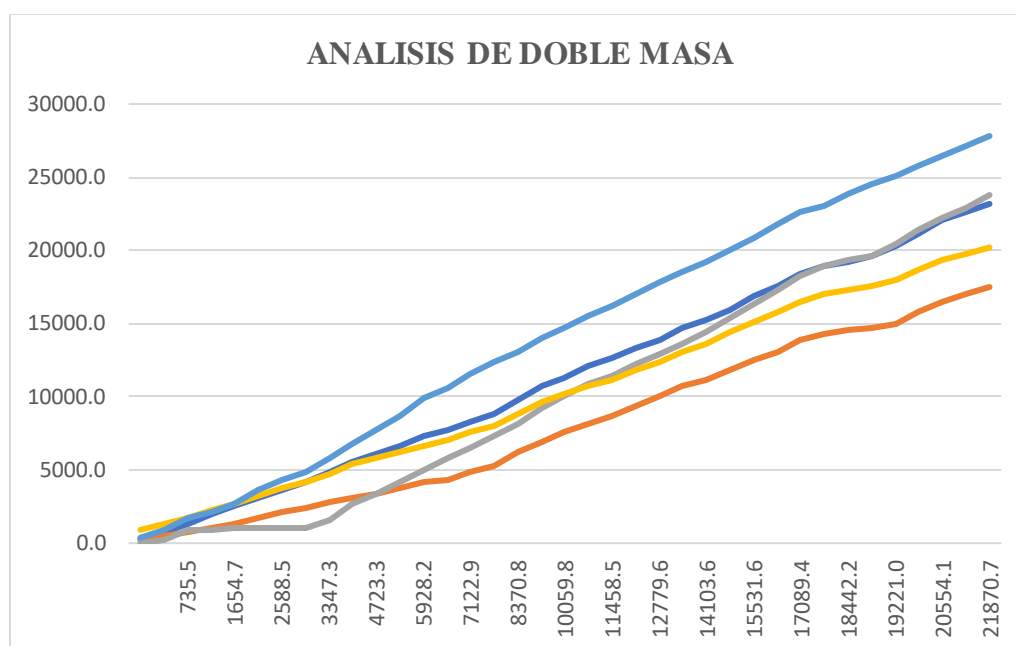
Figura 47 Serie histórica de precipitaciones



Fuente: Elaboración propia

Análisis de doble masa: Este análisis se aplica para obtener cierta fiabilidad en los datos, además de analizar la consistencia en lo concerniente a errores, que pueden surgir durante la obtención de los mismos, y no para una corrección basada en la recta de doble masa.

Figura 48 Diagrama de Doble Masa



Nota: Se nota una mayor consistencia en los datos de la estación Granja Kayra.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico

Una vez que se han obtenido los gráficos para el análisis visual y de doble masa, es posible apreciar los periodos de posible corrección, estos periodos conservan los datos originales y se procede a efectuar el análisis de saltos, tanto para la media como para la desviación estándar.

Análisis de saltos

Consistencia de la media

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba 1 (prueba de hipótesis), si los valores medios (X_1 , X_2) de las submuestras, son estadísticamente iguales o distintos con una probabilidad del 95% o un nivel de significación del 5% respectivamente.

Tabla 17 División de periodos

| PERIODO | AÑO |
|----------------|------------|
| 1 | 1985-1998 |
| 2 | 1998-2021 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Calculo de parámetros de cada periodo

| CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CADA PERIODO | | | |
|--|----------|-----------------------|----------|
| n1 | 14 | n2 | 23 |
| Promedio | 760.39 | Promedio | 746.35 |
| Varianza | 70900.23 | Varianza | 12137.63 |
| Desv. Estándar | 266.27 | Desv. Estándar | 112.39 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Evaluación de consistencia en la media

| CONSISTENCIA EN LA MEDIA | |
|---------------------------------|------|
| t_c= | 0.22 |
| t_t= | 1.96 |
| 0.225 < 1.96 | |

Nota: Como $t_c < t_t$ entonces dado que las medias son estadísticamente iguales no se efectúa la corrección. Fuente: Elaboración propia.

Consistencia de la desviación estándar

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras S1 y S2 son estadísticamente iguales o diferentes, con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación. (Villon, 2006).

Tabla 20 Evaluación de consistencia de la desviación estándar

| CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR | |
|---|------|
| f_c | 0.17 |
| GDL2 | 22 |
| GLD1 | 13 |
| f_t | 2.54 |
| 0.17 < 2.54 | |

Nota: Como $f_c < f_t$ entonces dado que las desviaciones estándar son estadísticamente iguales no se efectúa la corrección. Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2.2. COMPLETACION Y EXTENSION

La completacion de datos, es el procedimiento mediante el cual se llenan los vacíos que existen en un registro de datos.

La completacion y extensión de la información hidrometereológica ausente, se lleva a cabo con el objetivo de obtener series completas, más confiables y de un periodo uniforme.

Existe múltiples métodos para completar y ampliar la información, entre los que incluyen la regresión lineal simple, entre otros.

5.3.1.2.3. REGIONALIZACION Y EXTRAPOLACION

Para la microcuenca Pacramayo la precipitación media mensual se obtuvieron con la regionalización y extrapolación (tabla 19) de los datos la cual se detalla en la tabla 20.

Además, se presenta la precipitación mínima, media y máxima; en consecuencia, la precipitación media de la microcuenca Pacramayo es de 607.9 mm/año.

"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA
MICROCUCENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI
DEPARTAMENTO DEL CUSCO"

Tabla 21 Matriz de Regionalización

| MATRIZ DE REGIONALIZACION ANUAL | | | | | | | |
|--|----------------|-------------------------------|---|---|--------------|----------------|---------------------------------|
| Estacion | Altitud (X) | Precipitacion Total Anual (Y) | Ecuacion de Regresion $P^2 = B_0 + B_1 * H_m$ | | | | Precipitacion Total Anual Corr. |
| | | | X^2 | Y^2 | $X*Y^2$ | Y^4 | |
| CCATCCA | 3681.0 | 626.4 | 13549761.0 | 392362.2 | 1444285114.2 | 153948065300.9 | 657.3 |
| CAYCAY | 3117.0 | 473.0 | 9715689.0 | 223711.1 | 697307395.5 | 50046641450.0 | 606.2 |
| PARURO | 3070.0 | 642.8 | 9424900.0 | 413191.4 | 1268497568.9 | 170727125204.7 | 601.7 |
| PISAC | 2990.0 | 545.9 | 8940100.0 | 297984.9 | 890974970.7 | 88795024481.1 | 594.0 |
| KAYRA | 3212.0 | 751.9 | 10316944.0 | 565402.4 | 1816072466.4 | 319679859013.7 | 615.1 |
| Suma= | 16070.0 | 3040.0 | 51947394.0 | 1892651.9 | 6117137515.8 | 783196715450.4 | 3074.2 |
| n= | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Promedio= | 3214.0 | 608.0 | 10389478.8 | 378530.4 | 1223427503.2 | 156639343090.1 | 614.8 |
| Formulas de Regresion | | | Parametros de Regresion | | | | |
| A=SUMA X | 16070.0 | $G=C-(A^2/n)$ | 298414.0 | Coef. Independiente B_0 | | | 10680.7 |
| B=SUMA Y | 3040.0 | $H=E-(A*D/n)$ | 34154164.1 | Coef. Dependiente B_1 | | | 114.5 |
| C=SUMA X^2 | 51947394.0 | $I=F-(D^2/n)$ | 66770438355.8 | Coef. de Correlacion r | | | 0.3 |
| D=SUMA Y^2 | 1892651.9 | $B_1=H/G$ | 114.5 | Regionalizacion Anual de la Precipitacion | | | |
| E=SUMA $X*Y^2$ | 6117137515.8 | $B_0=(D-B_1*A)/n$ | 10680.7 | Zona de la Cuenca | Altitud | Precipitacion | |
| F=SUMA Y^4 | 783196715450.4 | | | Zona Baja | 3528.0 | 643.8 | |
| Formula de Regresion Regional de Precipitacion | | | | Zona Media | 3948.8 | 680.2 | |
| $P^2 = B_0 + B_1 * H_m$ | | | | Zona Alta | 4298.0 | 708.9 | |
| $P^2 = -214649.0761 + 273.8826 * H_m$ | | | | Altitud Media | 4003.5 | 684.8 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Cuadro de precipitación de la microcuenca Pacramayo

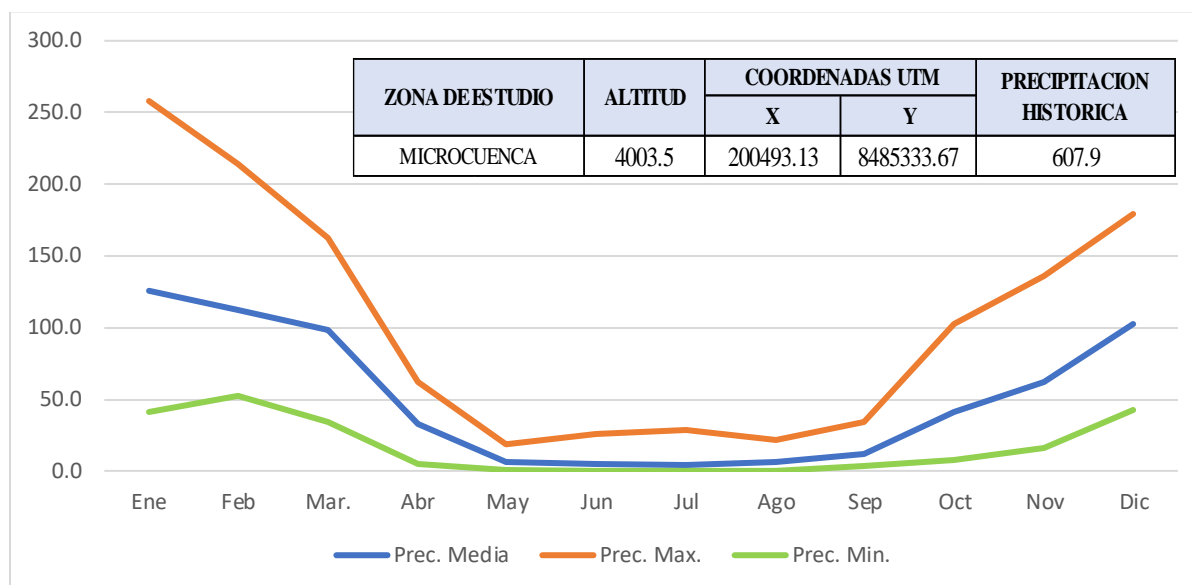
| PRECIPITACION MEDIA MENSUAL | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|----------|--------------|--------------|------|------|------|------|----------------|-------|---------------------------|
| MICROCUCENCA PACRAMAYO | | | | | Latitud | : 13° 41' S | Departamento | | | | | : Cusco | | |
| | | | | | Longitud | : 71° 46' W | Provincia | | | | | : Quispicanchi | | |
| | | | | | Altitud | : 4,003 msnm | Distrito | | | | | : Lucre | | |
| Nº REG | Año | Ene | Feb | Mar. | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | PRECIPITACION TOTAL ANUAL |
| 1 | 1985 | 48.9 | 67.4 | 55.7 | 25.7 | 9 | 4.3 | 0.1 | 1.6 | 14.5 | 30.2 | 56.2 | 42.7 | 356.3 |
| 2 | 1986 | 40.8 | 60.6 | 90.7 | 23.4 | 5 | 0 | 2 | 1.1 | 8 | 8.1 | 46.7 | 92.7 | 379.1 |
| 3 | 1987 | 229.6 | 65.7 | 63 | 23.5 | 1.6 | 3.9 | 13.3 | 3.8 | 3.7 | 27.5 | 61.9 | 45.1 | 542.6 |
| 4 | 1988 | 63.4 | 52.7 | 98.1 | 47.7 | 5.9 | 0 | 0 | 0 | 4.2 | 21.7 | 17.5 | 65.5 | 376.7 |
| 5 | 1989 | 113.7 | 67.2 | 84.3 | 24.3 | 4.8 | 1.7 | 0.7 | 12.3 | 15.5 | 22.7 | 32.2 | 43.6 | 422.9 |
| 6 | 1990 | 102 | 68 | 55.3 | 38.3 | 4.7 | 26.1 | 0.4 | 3.2 | 2.9 | 38.1 | 71.1 | 100.6 | 510.8 |
| 7 | 1991 | 63.1 | 82.6 | 57.3 | 23 | 10.3 | 14.4 | 0 | 0.4 | 5.9 | 29.4 | 45.2 | 69.4 | 401 |
| 8 | 1992 | 76.8 | 52.3 | 34.6 | 11 | 0.7 | 14.9 | 0 | 14.5 | 2.9 | 27.6 | 69.2 | 53.1 | 357.8 |
| 9 | 1993 | 121.1 | 56.6 | 60.2 | 40.5 | 3.6 | 2.8 | 4.5 | 19.9 | 12.2 | 36.2 | 88.8 | 157.7 | 604.1 |
| 10 | 1994 | 161.6 | 136.3 | 140.3 | 56.5 | 7.7 | 0.4 | 0.2 | 1.5 | 18.2 | 51.9 | 53.3 | 144.1 | 771.9 |
| 11 | 1995 | 111.7 | 75.8 | 122.1 | 18.3 | 4 | 0 | 1.4 | 0 | 22.1 | 31.9 | 64.1 | 90.6 | 542.1 |
| 12 | 1996 | 145.5 | 110.2 | 84.4 | 52.3 | 10.2 | 0 | 2.1 | 21.9 | 12.8 | 51.7 | 63.1 | 108.7 | 662.9 |
| 13 | 1997 | 91.8 | 104.5 | 147.7 | 28.6 | 6 | 0 | 0 | 11.7 | 21.7 | 36.7 | 118.5 | 95.4 | 662.6 |
| 14 | 1998 | 108.3 | 115.1 | 73.4 | 21.3 | 0.9 | 5.2 | 0 | 2.4 | 4.7 | 67.1 | 69 | 64.7 | 532 |

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA
MICROCUCENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI
DEPARTAMENTO DEL CUSCO”

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 15 | 1999 | 123.4 | 121.6 | 133.8 | 47.6 | 3.2 | 0.4 | 2.1 | 0 | 27.3 | 32.7 | 29 | 114.3 | 635.4 |
| 16 | 2000 | 165.2 | 126.2 | 94.3 | 11.5 | 4.1 | 6.6 | 5.4 | 6 | 9.9 | 76.2 | 16.7 | 90.3 | 612.5 |
| 17 | 2001 | 243.5 | 156.4 | 141.5 | 32.4 | 18.5 | 0.7 | 15.5 | 13.4 | 15.1 | 71.6 | 63.5 | 80.9 | 853 |
| 18 | 2002 | 116.1 | 189.8 | 125.9 | 49.8 | 14.3 | 6.6 | 28.2 | 6.7 | 21.3 | 61 | 85.8 | 130.6 | 836 |
| 19 | 2003 | 142.7 | 144.3 | 162.6 | 29.7 | 6.7 | 5.4 | 0.5 | 17.4 | 8.2 | 28.7 | 24 | 134.9 | 705.2 |
| 20 | 2004 | 170.1 | 131.1 | 80.1 | 27.3 | 7.2 | 18.8 | 13.7 | 10.7 | 32.2 | 36.5 | 61.9 | 103.9 | 693.5 |
| 21 | 2005 | 88.8 | 134.7 | 94.4 | 29.2 | 1.7 | 0 | 1.6 | 5.6 | 5.4 | 36.9 | 71.2 | 91.7 | 561.3 |
| 22 | 2006 | 178.4 | 102.5 | 125.9 | 61.8 | 0.3 | 11.2 | 0.9 | 10.4 | 5.9 | 57.9 | 77.3 | 127.4 | 759.8 |
| 23 | 2007 | 133.2 | 89.7 | 161.9 | 50.7 | 6.7 | 0.2 | 4.2 | 0.7 | 12.1 | 44.1 | 75 | 85.1 | 663.6 |
| 24 | 2008 | 149.3 | 108.9 | 69.2 | 15.7 | 10.9 | 6.6 | 0.1 | 6.3 | 11.3 | 53 | 71.8 | 157.3 | 660.4 |
| 25 | 2009 | 122.1 | 108.9 | 74.8 | 28.5 | 3.6 | 0 | 6 | 1.4 | 13.9 | 16.2 | 135.9 | 117 | 628.3 |
| 26 | 2010 | 258 | 126.5 | 127.2 | 18.2 | 6.8 | 0.8 | 1.9 | 6.3 | 5.4 | 52.8 | 37.4 | 158.3 | 799.7 |
| 27 | 2011 | 109.7 | 214.6 | 138.6 | 53.8 | 5.7 | 4.6 | 7.6 | 0.7 | 34.4 | 46.5 | 47.3 | 143.7 | 807.2 |
| 28 | 2012 | 112.1 | 178.3 | 85.7 | 43.2 | 2.9 | 2.4 | 1.8 | 1.3 | 22.4 | 17.8 | 103.3 | 179.2 | 750.6 |
| 29 | 2013 | 163.6 | 154.5 | 102.1 | 21.2 | 5.6 | 5.2 | 5.1 | 12.3 | 9.2 | 100.3 | 77.8 | 166.5 | 823.4 |
| 30 | 2014 | 169.4 | 120.2 | 71.7 | 45.2 | 7.1 | 0 | 1.3 | 3.8 | 5.3 | 26 | 16.1 | 63.2 | 529.3 |
| 31 | 2015 | 89.1 | 70.8 | 49.7 | 38.9 | 7 | 1.9 | 5.2 | 2.8 | 10.1 | 10.9 | 24.6 | 83.2 | 394.1 |
| 32 | 2016 | 60.2 | 68.6 | 70.3 | 15.3 | 5.4 | 2.9 | 1.9 | 2.4 | 9.9 | 41.5 | 46.6 | 59.8 | 384.8 |
| 33 | 2017 | 89.8 | 91.3 | 98.4 | 57 | 15.8 | 3.7 | 0.9 | 5.2 | 14.3 | 30.3 | 65.6 | 80.5 | 552.9 |
| 34 | 2018 | 113.7 | 164.9 | 157 | 27.7 | 2.5 | 19.7 | 16.9 | 11.3 | 8 | 101.9 | 78.1 | 78.8 | 780.2 |
| 35 | 2019 | 110.9 | 144.9 | 128 | 26.6 | 15 | 0.1 | 3.4 | 0.1 | 6.2 | 51 | 102.6 | 150.5 | 739.3 |
| 36 | 2020 | 135.9 | 160.8 | 81.1 | 5 | 2.9 | 2.1 | 0.4 | 1 | 9.5 | 28.6 | 39.4 | 110.5 | 577.3 |
| 37 | 2021 | 123.9 | 105.1 | 77.7 | 55.2 | 10.3 | 3.9 | 1.2 | 1.4 | 11.7 | 30.4 | 100 | 102.5 | 623.1 |
| N° Datos | | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| Prec. Media | | 125.6 | 111.6 | 97.8 | 33.1 | 6.5 | 4.8 | 4.1 | 6 | 12.4 | 41.4 | 62.4 | 102.3 | 607.9 |
| Desv. Estandar | | 49.8 | 41.5 | 35 | 15.2 | 4.3 | 6.4 | 6.1 | 6.1 | 7.9 | 21.7 | 28.5 | 37.5 | 151.2 |
| Coef. Variacion | | 39.7 | 37.1 | 35.8 | 45.8 | 67.2 | 132.6 | 149.2 | 101.2 | 64.1 | 52.2 | 45.6 | 36.6 | 24.9 |
| Prec. Max. | | 258 | 214.6 | 162.6 | 61.8 | 18.5 | 26.1 | 28.2 | 21.9 | 34.4 | 101.9 | 135.9 | 179.2 | 853 |
| Prec. Min. | | 40.8 | 52.3 | 34.6 | 5 | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | 8.1 | 16.1 | 42.7 | 356.3 |

Elaboración: Propia basándose en la información proporcionada por SENAMHI

Figura 49 Diagrama de la precipitación media mensual



Fuente: Elaboración propia

5.3.2. TEMPERATURA

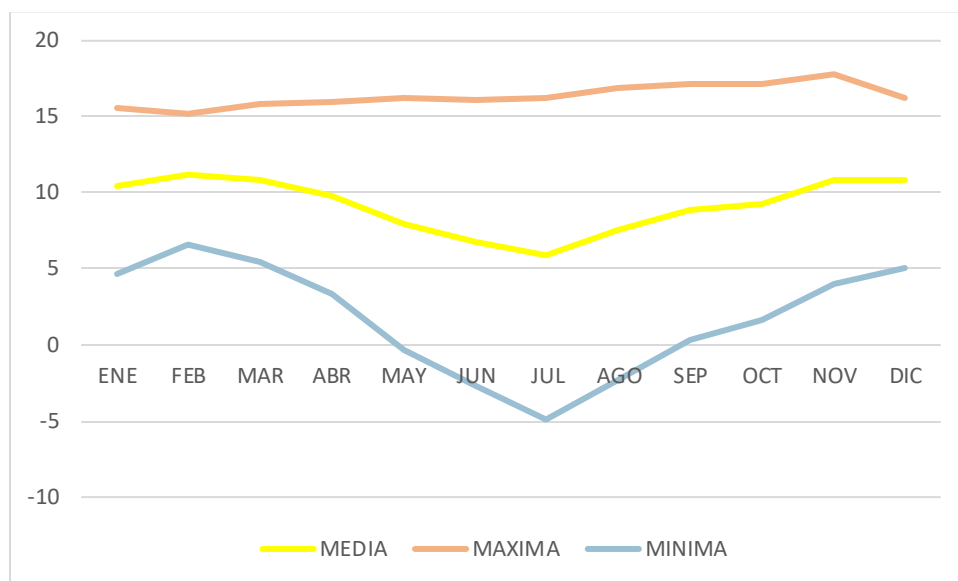
La temperatura media mensual de la microcuenca Pacramayo es de 9.2°C, mientras que la temperatura máxima es de 16.4°C y la temperatura mínima es de 1.7°C.

Tabla 23 Temperaturas de la microcuenca

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA |
|----------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| MICROCUENCA MEDIA | 10.4 | 11.2 | 10.9 | 9.8 | 8 | 6.8 | 5.9 | 7.5 | 8.9 | 9.3 | 10.8 | 10.9 | 9.2 |
| MAXIMA | 15.6 | 15.2 | 15.8 | 16 | 16.2 | 16.1 | 16.2 | 16.9 | 17.2 | 17.1 | 17.8 | 16.3 | 16.4 |
| MINIMA | 4.7 | 6.6 | 5.4 | 3.3 | -0.3 | -2.7 | -4.9 | -2.3 | 0.3 | 1.6 | 4 | 5 | 1.7 |

Elaboración: Propia en base a la información de SENAMHI

Figura 50 Diagrama de temperatura media, máxima y mínima



Fuente: Elaboración propia

5.3.3. EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración se refiere al volumen de agua que se traslada desde el estado sólido o líquido y pasa a la atmosfera en estado de vapor. Su magnitud viene determinada por la cantidad de agua realmente disponible, que incluye tanto el agua que las plantas han captado como el agua que el suelo ha podido retener para consumo de las plantas. (Ordoñez, 2011b).

La tasa de evapotranspiración se establece por un conjunto de factores que controlan la evaporación y la transpiración, que son tanto físicos como biológicos.

Thornthwaite propuso el término “evapotranspiración potencial”, que define la cantidad de agua que una superficie totalmente cubierta en el suelo tiene la humedad necesaria para su máximo aprovechamiento por plantas, en contraposición al concepto de “evapotranspiración real”, que se refiere a la cantidad de agua que efectivamente ha sido evapotranspirada.

5.3.4. EVAPOTRANSPIRACION REAL

La Evapotranspiración real (ETR) es el volumen de agua que pasa a la atmosfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de la planta en función del volumen de agua disponible.

La Er está condicionada por la cantidad de agua disponible en un momento determinado (precipitación y contenido de humedad en el suelo).

Tabla 24 Evapotranspiración de la microcuenca

| MES | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR |
|----------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| tmmensual | 8 | 6.8 | 5.9 | 7.5 | 8.9 | 9.3 | 10.8 | 10.9 | 10.4 | 11.2 | 10.9 | 9.8 |
| ij= (tm/5) | 1.4 | 1.36 | 0.9 | 1.36 | 1.66 | 1.64 | 2.12 | 2.18 | 2.08 | 2.24 | 1.82 | 1.74 |
| ij= (tm/5)al 1.514 | 1.66 | 1.59 | 0.85 | 1.59 | 2.15 | 2.11 | 3.12 | 3.25 | 3.03 | 3.39 | 2.48 | 2.31 |
| sin corregir | 2.54 | 2.47 | 1.63 | 2.47 | 3.01 | 2.98 | 3.85 | 3.96 | 3.77 | 4.06 | 3.3 | 3.16 |
| e= | 2.41 | 2.34 | 1.59 | 2.34 | 2.82 | 2.79 | 3.56 | 3.65 | 3.49 | 3.75 | 3.08 | 2.95 |
| 16*(10*tm/D)al a | 37.5 | 36.46 | 24.39 | 36.46 | 44.2 | 42.68 | 42.9 | 56.21 | 53.29 | 56.43 | 47.29 | 45.24 |
| Factor de corrección | 0.99 | 0.95 | 0.98 | 1 | 1 | 1.07 | 1.06 | 1.11 | 1.11 | 0.98 | 1.05 | 0.98 |
| e corregido | 37.12 | 34.64 | 23.9 | 36.46 | 44.2 | 45.67 | 45.47 | 62.39 | 59.15 | 55.3 | 49.65 | 44.33 |
| Li= Nd/30*N/12 (mm/mes) | 12.54 | 12.82 | 12.92 | 12.74 | 12.44 | 12 | 11.66 | 11.38 | 11.28 | 11.46 | 11.8 | 12.17 |
| e=16*(10*tm/D)a | 477.3 | 453.98 | 320.89 | 478.7 | 562.4 | 572.3 | 706 | 741.12 | 699.33 | 670.93 | 610.68 | 565.17 |
| Nd | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 28 | 31 | 30 |
| EVAPOTRANSPIRACION ANUAL | | | | | | | | | | | | 502.3 |

Elaboración: Propia en base a la información de SENAMHI

5.3.5. Escorrentía superficial (ES)

La escorrentía directa, que es el agua que llega rápidamente a los cursos de agua superficiales tras las precipitaciones, incluye la escorrentía superficial y la escorrentía subsuperficial (agua que, tras un breve escurrimiento lateral, llega a la superficie sin alcanzar la zona freática), es el término utilizado para describir el agua procedente de las precipitaciones que no se evaporan ni se infiltra. Los cursos de agua superficiales se nutren de la escorrentía basal durante la estación seca.

Para determinar la escorrentía superficial de la microcuenca Pacramayo se toma en cuenta la ecuación de Justin (1914), donde muestra la relación entre la precipitación y escorrentía en una cuenca.

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

Donde K es el coeficiente de escurrimiento adimensional, S es la pendiente de la cuenca, P es la precipitación media anual en mm y T es la temperatura media anual y ES la escorrentía en mm.

Reemplazando valores:

K toma el valor de 0.07 que está relacionado al tipo de litología general.

$$ES = \frac{0.07 * 0.6336^{0.157} * 607.9^2}{160 + 9(9.2)}$$

$$ES = 88.07 \text{ mm/año}$$

5.3.6. Infiltración (I)

La cantidad de agua procedente de precipitaciones que penetra en la superficie del suelo y llena parcial o totalmente los poros del suelo y del subsuelo se conoce como infiltración.

Para obtener la infiltración se considera la ecuación de principio de conservación de masas, es decir evaluar la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas del sistema.

$$I = P - ETR - ES$$

$$I = 607.9 - 502.28 - 88.07$$

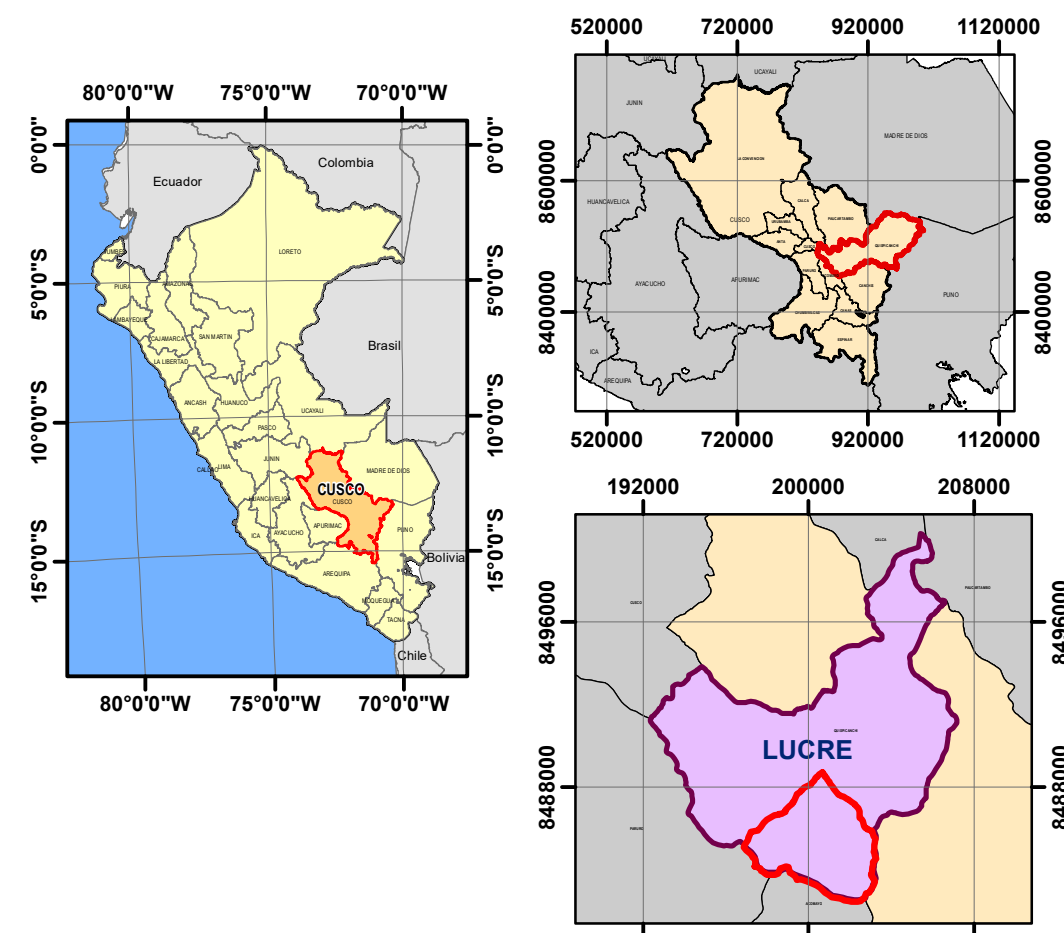
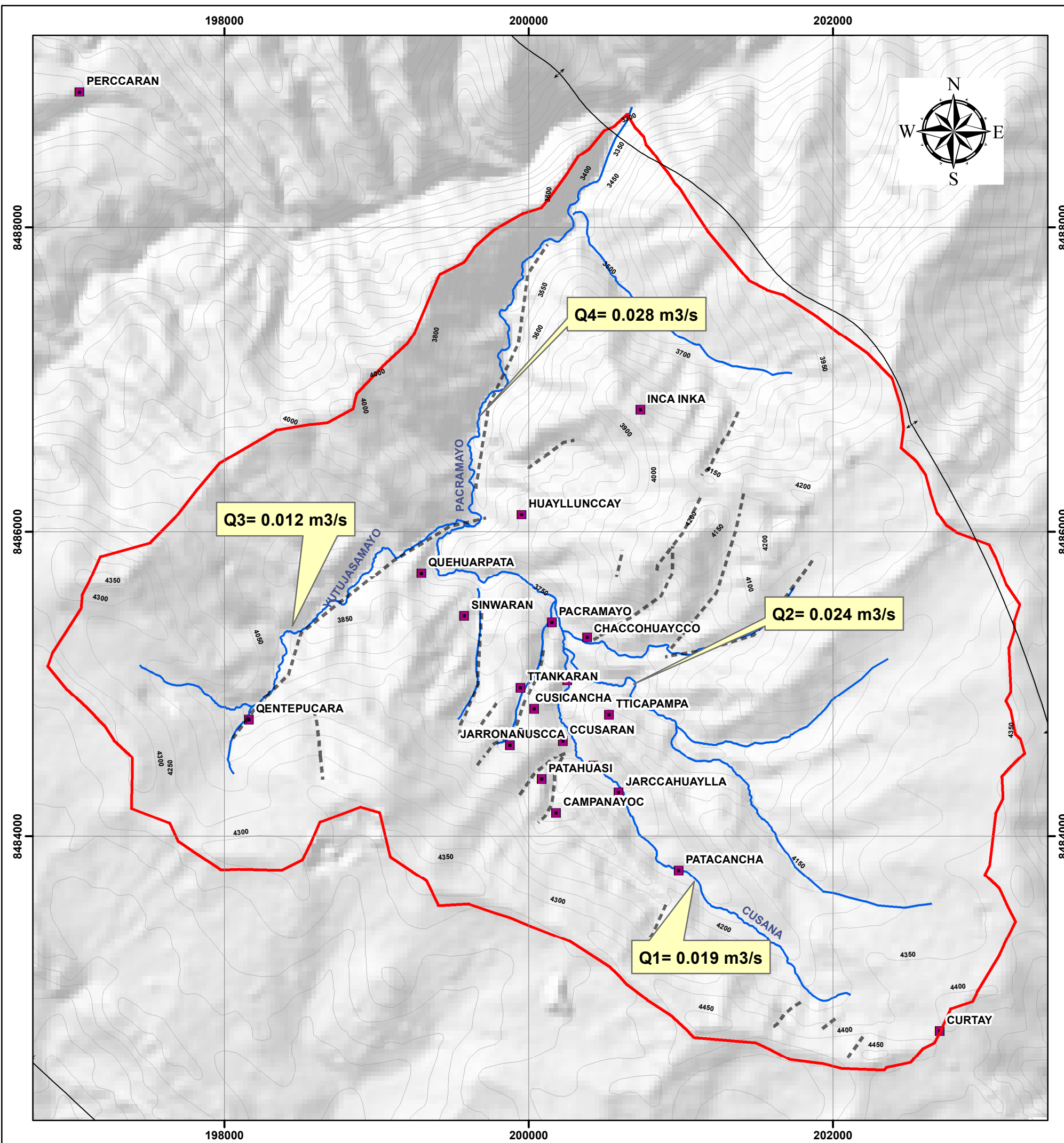
$$I = 17.55 \text{ mm/año}$$

5.3.7. Balance hidrológico

Con los datos recolectados y procesados se realizó el balance hídrico teniendo 174.17 mm de excedente hídrico en la época de lluvias y un déficit de 134.96 mm en época de estiaje.

Tabla 25 Balance hídrico de la microcuenca

| MES | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOS | SEPT | OCT | NOV | DIC | ENERO | FEB | MARZO | ABRIL | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| (°C) tm mensual | 8 | 6.8 | 5.9 | 7.5 | 8.9 | 9.3 | 10.8 | 10.9 | 10.4 | 11.2 | 10.9 | 9.8 | |
| it=(tm/5)al 1.514 | 2.04 | 1.59 | 1.28 | 1.85 | 2.39 | 2.56 | 3.21 | 3.25 | 3.03 | 3.39 | 3.25 | 2.77 | |
| Sin corregir e= 16*(10*tm/l) al a | 2.61 | 2.22 | 1.93 | 2.45 | 2.91 | 3.04 | 3.53 | 3.56 | 3.40 | 3.66 | 3.56 | 3.20 | |
| | 2.58 | 2.20 | 1.91 | 2.42 | 2.87 | 3.00 | 3.47 | 3.51 | 3.35 | 3.60 | 3.51 | 3.16 | |
| | 41.33 | 35.20 | 30.59 | 38.78 | 45.92 | 47.96 | 55.60 | 56.11 | 53.56 | 57.63 | 56.11 | 50.51 | |
| Factor de corrección | 0.99 | 0.95 | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 1.07 | 1.06 | 1.11 | 1.11 | 0.98 | 1.05 | 0.98 | |
| e corregido | 40.85 | 33.28 | 29.93 | 38.88 | 45.92 | 51.18 | 59.18 | 62.53 | 59.39 | 56.32 | 58.91 | 49.64 | |
| Precipitación (mm) | 6.45 | 4.81 | 4.08 | 5.98 | 12.38 | 41.45 | 62.37 | 102.27 | 125.61 | 111.61 | 97.81 | 33.13 | |
| Variación de las reservas de la humedad del suelo en mm | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.54 | 66.46 | 3.19 | 39.74 | 66.21 | 55.29 | -38.90 | 61.53 | |
| Reserva del agua disponible (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.54 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 138.90 | 77.37 | |
| ET efectiva (mm) | 3 | 9 | 7 | 34 | 45.92 | 51.18 | 59.18 | 62.53 | 59.39 | 56.32 | 58.91 | 94.66 | |
| Déficit o sequia | 37.85 | 24.28 | 22.93 | 4.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.02 | 134.96 |
| Excedente (mm) | | | | | | 9.73 | 3.19 | 39.74 | 66.21 | 55.29 | 0.00 | 0.00 | 174.17 |
| 1/2 excedente | | | | | | 4.87 | 1.59 | 19.87 | 33.11 | 27.65 | 0.00 | 0.00 | |
| 1/2 escorrentía (mm) del mes anterior | 6.21 | 3.10 | 1.55 | 0.78 | 0.39 | | 2.43 | 2.01 | 10.94 | 22.02 | 24.84 | 12.42 | |
| Escorrentía total (mm) | 6.21 | 3.10 | 1.55 | 0.78 | 0.39 | 4.87 | 4.03 | 21.88 | 44.05 | 49.67 | 24.84 | 12.42 | |



SIMBOLOGIA

- FALLAS
- Centros Poblados
- Microcuenca Pacramayo
- Rios
- Curvas

Q= Caudal

| | | | |
|---------------------|---|----------------------------|--------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | HIDROLOGIA | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. | Huaranca Flores, Norma | |
| | Bach. | Quispe Aguilar, Iris Danae | |
| ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | | |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | LAM-05 |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | |
| | | | LAMINA |

CAPITULO 6: GEOFISICA

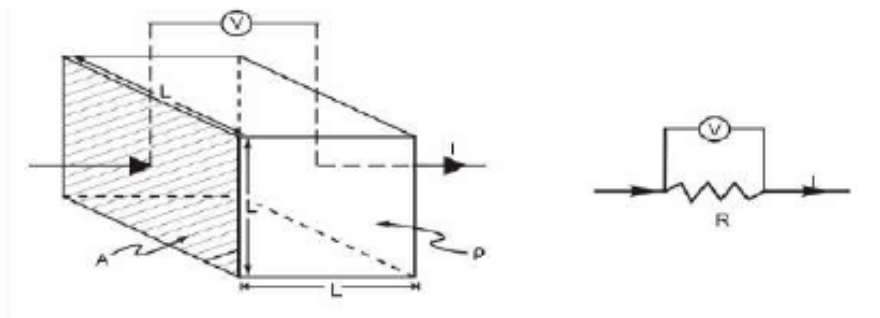
6.1. FUNDAMENTOS DE LOS ENSAYOS GEOFISICA

6.1.1. Resistividad eléctrica del subsuelo

La resistividad eléctrica R de un material se define como la dificultad que encuentra la corriente eléctrica a su paso a través de él.

El paso de la corriente eléctrica a través de las rocas y sedimentos, puede explicarse con la ley de Ohm que define que la caída de potencial V entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a esta a esta y a la resistencia R que ofrece el medio al pasaje de la corriente. (Gasulla Forner, 1999).

Figura 51 Esquema del principio de resistividad



Fuente: Gasulla Forner, 1999

Ley de ohm

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

Despejando la resistencia

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}$$

La unidad de resistividad es el sistema internacional es el ohm por metro ($\Omega \cdot m$). la conductividad se define como el inverso de la resistividad.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Como menciona (Gasulla Forner 1999), la resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión. Estrictamente hablando todos los cuerpos son eléctricamente conductores dado que permiten, en mayor o menor medida, el paso de portadores de carga eléctrica. Estos portadores pueden ser electrones o iones, hecho que permite distinguir entre dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. Los cuerpos con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores. Los cuerpos con conductividad iónica se conocen como electrolitos si no presentan forma gaseosa. El mecanismo de la conductividad de los metales puede imaginarse como debido a que los electrones de valencia de sus átomos pueden moverse libremente entre la red cristalina que estos forman, sin vinculación a ninguno determinado. La facilidad de movimiento de los electrones y su gran número redundan en una conductividad muy elevada. Su resistencia aumenta con la temperatura y con el contenido de impurezas. (pág. 2-3). (Gasulla Forner 1999),

Si la resistividad de las rocas depende únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Solo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría como conductora, es decir, solo lo serían las menas metálicas. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupadas total o parcialmente las por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar

en margen amplísimo en función del contenido en agua, de la salinidad de esta y del modo de distribución de los poros. La figura 2.1 presenta un gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales. La fisuración, impregnación en agua salada, etc., pueden extender estos límites. (Gasulla Forner. 1999).

Las representaciones graficas señalan los rangos de resistividades características para rocas, minerales y sedimentos; en los sedimentos existe una diferencia entre los de grano fino (arcilla, limos) y los de grano grueso (arenas y gravas).

Los valores de resistividad tienen un gran rango comparado a otras cantidades físicas obtenidos por otros métodos geofísicos. La resistividad de las rocas y el suelo en un área de estudio pueden variar por varios ordenes de magnitud. En comparación, la densidad usada en investigaciones gravimétricas usualmente cambia poco por debajo de un factor de 10. Eso hace que el método de la TG sea una técnica geofísica muy versátil.

Figura 52 Resistividades de diferentes rocas y minerales



Fuente: Orellana Silva, 1982

Figura 53 Resistividades de diferentes materiales geológicos

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

Fuente: Modificada de Gausulla (1999), Zuñiga Lara (2012)

Tabla 26 Valores de resistividad de rocas y suelos

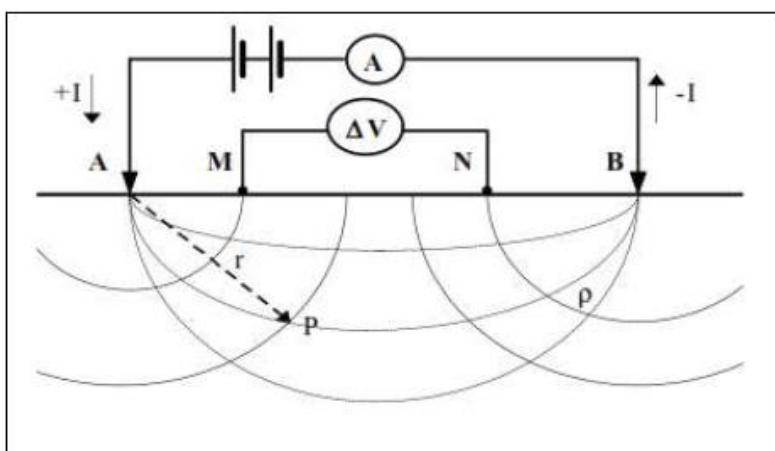
| Material | Resistividad ($\Omega.m$) | |
|---|-----------------------------|------|
| Basamento, Roca sana con diaclasas espaciadas | > 10000 | |
| Basamento, Roca fracturada | 1500 | 5000 |
| Basamento, Roca fracturada saturada con agua corriente | 100 | 2000 |
| Basamento, Roca fracturada saturada con agua salada | 1 | 100 |
| Suelo aluvial no saturado | 500 | 1000 |
| Suelo aluvial saturado | 40 | 60 |
| Roca meteorizada no saturada | 200 | 500 |
| Roca meteorizada saturada | 40 | 100 |
| Gravas no saturadas | 500 | 2000 |
| Gravas saturadas | 300 | 500 |
| Limos no saturados | 100 | 200 |
| Limos saturados | 20 | 100 |
| Limos saturados con agua salada | 5 | 15 |
| Arcillas no saturadas | 20 | 40 |
| Arcillas saturadas | 5 | 20 |

| | | |
|---|------|------|
| Arcillas saturadas con agua salada | 1 | 10 |
| Suelos volcánicos secos | 1000 | 2500 |
| Suelos volcánicos no saturados | 300 | 1000 |
| Suelos volcánicos saturados | 30 | 50 |

Fuente: Universidad Nacional Colombia (2000)

6.1.2. Medidas de la resistividad eléctrica

Figura 54 Arreglo tetraelectrodico método Schlumberger



La figura 53 muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB y midiendo la tensión entre el par de electrodos MN. Para un medio homogénea de resistividad (Orellana Silva, 1982), la diferencia de potencial es:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)$$

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad es representada por la expresión:

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

unidades de $\Omega.m$

Donde:

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

k: es un factor geométrico que depende únicamente del arreglo de los electrodos.

6.1.3. Dispositivos electrodicos lineales

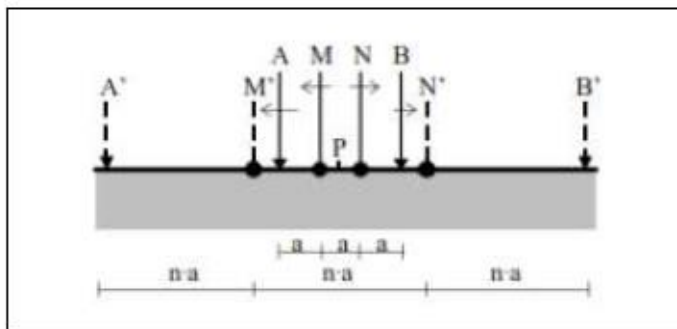
En principio los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier disposición geométrica sobre el plano que representa la superficie del terreno (Orellana Silva, 1982).

De los numerosos arreglos para la presente investigación se optó por los métodos Werner y Werner- Schlumberger, con espaciamiento electrodicos descritos en el capítulo de resultados, los cuales inciden en la profundidad de la investigación y la resolución de la imagen; a mayor espaciamiento de electrodos se tiene una mayor profundidad, pero una mayor profundidad, pero una menor resolución y viceversa.

a) Werner

Este arreglo consiste en que los electrodos AMNB son equidistantes con una separación a , el sondeo consiste en un aumento progresivo de a manteniendo el punto central P para la adquisición de datos a más profundidad. Los datos obtenidos en términos geométricos será la resistividad aparente ρ ($\Omega.m$) en las coordenadas y en las abscisas el valor de a en metros.

Figura 55 Arreglo Werner, con equidistantes de AMNB

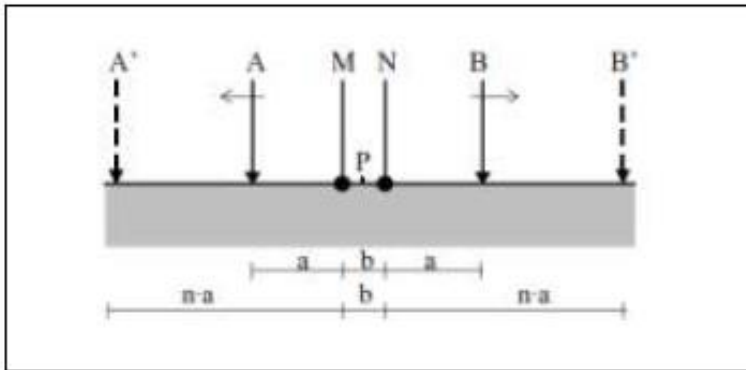


Fuente: (Gasulla Forner, 1999)

a) Werner - Schlumberger

El arreglo consiste en que los electrodos A y B se van separando progresivamente y MN quedan estáticos, $AB > MN$, en el cual en valores de profundidad se tiene la resistividad aparente ($\Omega \cdot m$) y en la abscisa la distancia $AB/2$ (m).

Figura 56 Arreglo Schulumberger. Los electrodos A, B se abren y M y N quedan fijos respecto a P.



Fuente: Gasulla Forner, 1999.

6.1.4. Ensayo de resistividad eléctrica – arreglo Schulumberger

Según el método de Schumberger se instalan 4 electrodos en el suelo situándolos en línea recta y a una misma profundidad de penetración. Dependiendo del método empleado se varían las distancias entre los electrodos y se miden los valores de resistividad a distintas profundidades. Se realizó a los 4 puntos de SEV-01, SEV-02, SEV-03, SEV-04.

Definida la ubicación de los ensayos de resistividad se procedió a ejecutar las líneas de sondeo eléctrico vertical. El espaciamiento entre los eléctricos vertical. El espaciamiento entre los electrodos fue de 3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 50 m, 60 m, hacia ambos extremos del punto a investigarse, asimismo, el ensayo de resistividad se investigó en profundidad a lo largo de un punto con valores definidos hasta 40 metros aproximadamente.

Figura 57 Equipo de geofísica utilizado

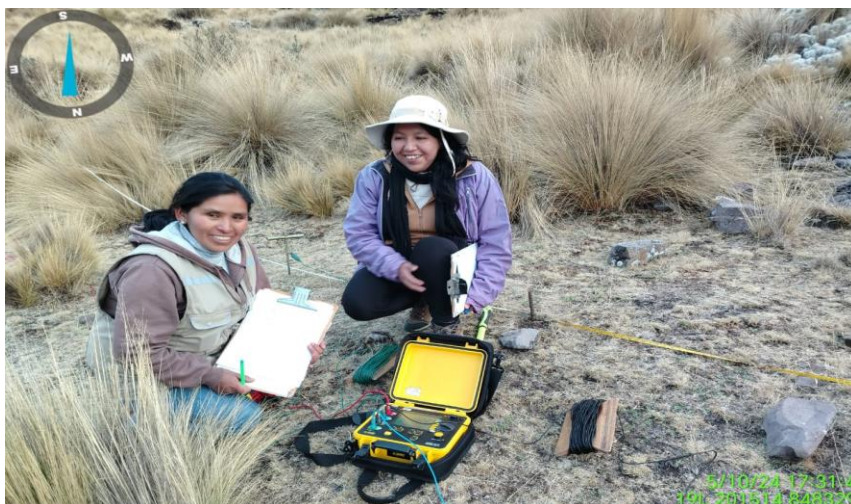


6.2. EQUIPO UTILIZADO

El equipo de prospección geofísica utilizado para el presente estudio contiene los siguientes elementos:

- Un (1) receptor SEV (ohmímetro) de la marca AEMC modelo 6471
- Un computador portátil con software para conexión y procesamiento de datos.
- Electrodo de corriente y potencial de acero inoxidable.
- Cables multidipolo.
- Cámaras fotográficas, celulares, etc.
- Accesorios tales como cinta aislante, clips, fusiles, terminales eléctricas, etc.

Figura 58 Dispositivo de equipos



6.3. Ubicación de los puntos de Sondeo Eléctrico Vertical

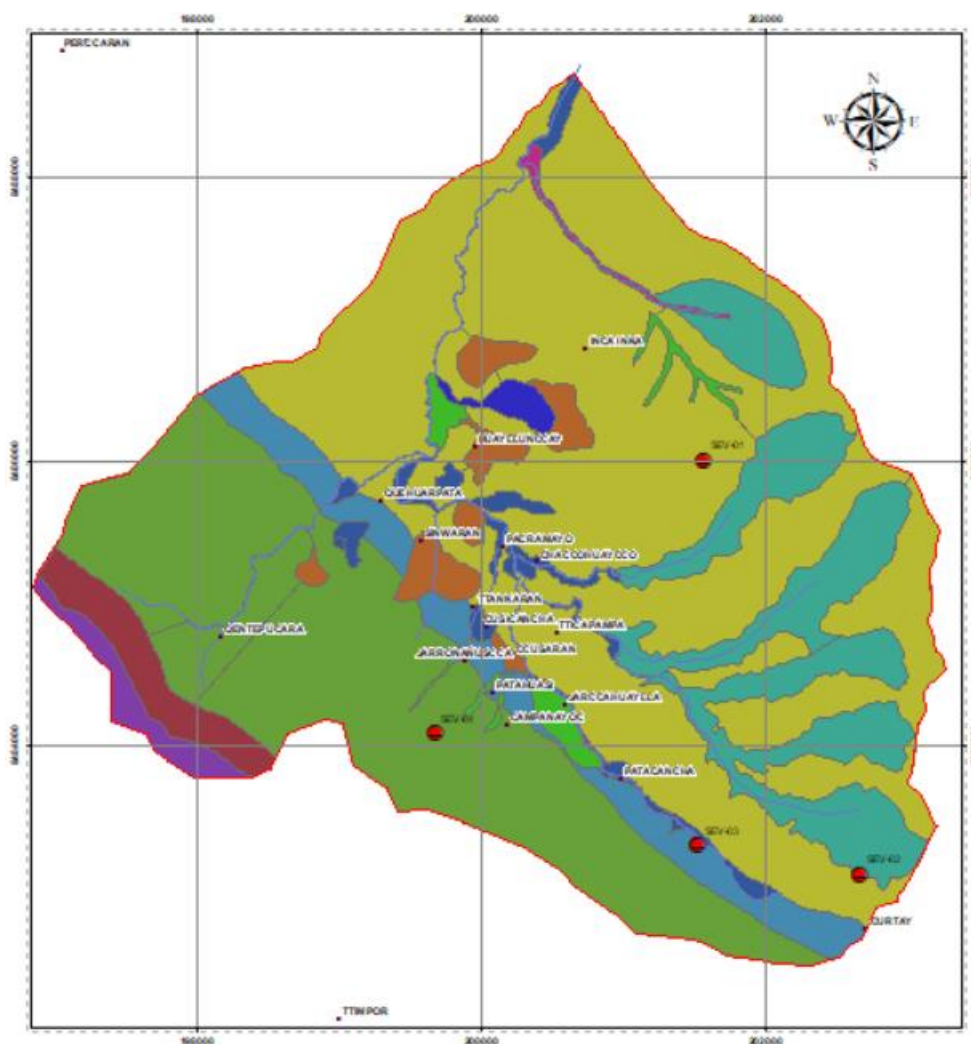
La tabla presenta las coordenadas de los ensayos de resistividad eléctrica

Tabla 27 Puntos de los ensayos de resistividad eléctrica

| Área | Línea de resistividad eléctrica | Longitud (m) | Coordenadas | | |
|-----------------|---------------------------------|--------------|-------------|---------|-----------|
| | | | Este | Norte | Elevación |
| PUNTO 01 | SEV-01 | 120 | 201563 | 8486012 | 4180 |
| PUNTO 02 | SEV-02 | 120 | 202654 | 8483101 | 4350 |
| PUNTO 03 | SEV-03 | 120 | 201515 | 8483299 | 4185 |
| PUNTO 04 | SEV-04 | 120 | 199664 | 8484087 | 4240 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 59 Ubicación espacial de los SEV en la microcuenca



6.4. Análisis e interpretación de resultados

6.4.1. Análisis

En este proceso se verifico y analizo cada registro eléctrico de campo, con la finalidad de identificar la data de mejor calidad para su procesamiento final.

El primer paso para interpretar un (Sondeo Eléctrico Vertical) es revisar la data obtenido de campo:

- Referencia geológica durante el levantamiento de SEV de acuerdo con la planificación de las líneas de campo.
- Observaciones de campo debido a las interferencias externas.

6.4.2. Procesamiento de resistividad eléctrica

Se empleo programa software ZondIP1D(software) para procesar los datos obtenidos a través del análisis de la resistividad eléctrica - SEV. Mediante un proceso adecuado de inversión se determinó las resistividades de cada material del subsuelo medido en $\Omega.m$ y finalmente obtener un perfil de resistividades que nos permita identificar la variación de resistividades correlacionales con la litología y la identificación del nivel freático.

6.4.3. Interpretación de resultados

Esta etapa del estudio geofísico consistió en la interpretación de los resultados obtenidos luego del procesamiento de los ensayos realizados, lo cual interpretación determinar el nivel freático y los diferentes tipos de estrato. En los 4 SE.

Los perfiles han sido evaluados mediante la comparación de los parámetros y propiedades del suelo y roca.

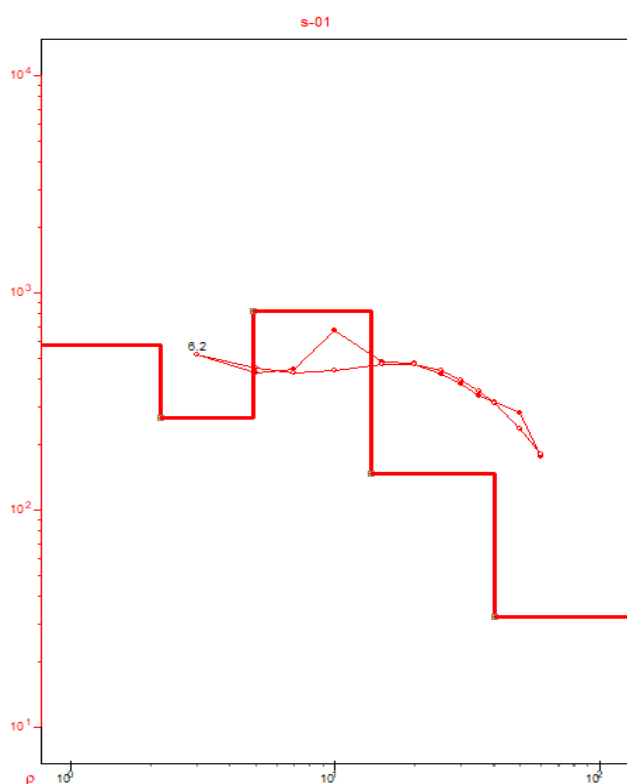
- Resistividad de la roca
- Diferencia de potencial

- Unidad: milivoltio
- Intensidad: miliamperios

Perfil geoelectrico: A partir del perfil geoelectrico obtenido, cualitativamente y mediante la comparación de los cuadros teóricos de rangos de resistividad se describió las resistividades del subsuelo considerando que la última capa es con tendencia indefinida en profundidad como se detalla en las figuras y descripciones siguientes:

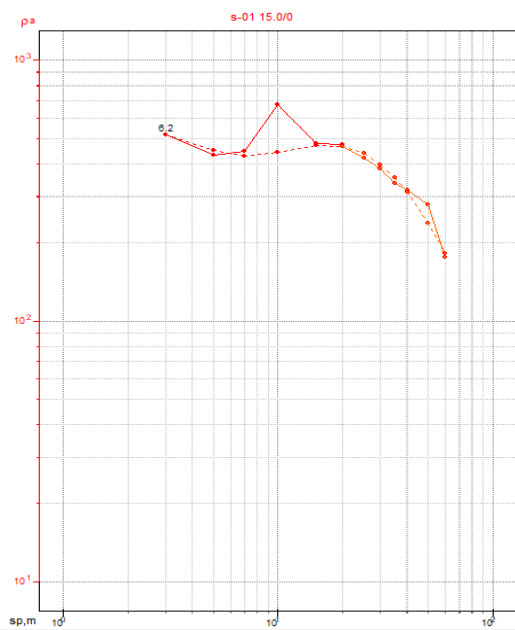
6.4.4. Sondaje eléctrico vertical SEV-01

Figura 60 Proceso de inversión de resultados



Fuente: Elaboración propia

Figura 61 Curva de resistividad

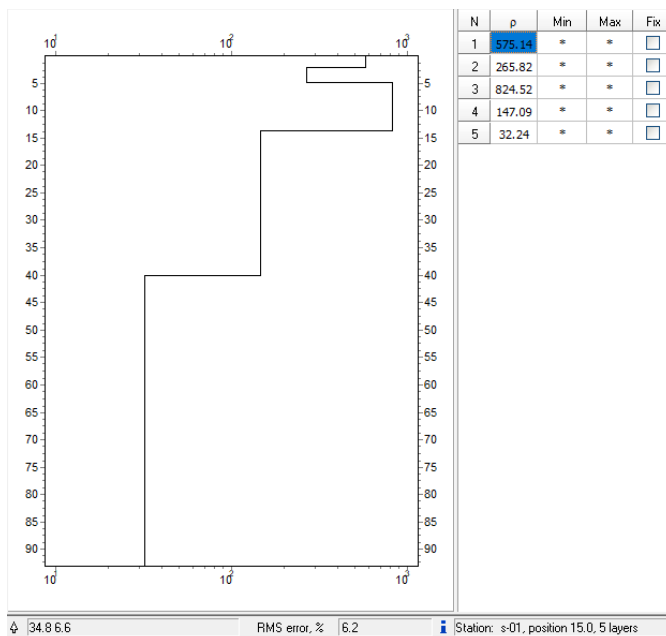


Fuente: Elaboración propia

PERFIL ELECTRICO – SEV – 01

El avance que se realiza en el presente SEV-01, fue con las coordenadas UTM ESTE: 201563, NORTE: 8486012, donde se alcanzó una profundidad de 45 m aproximadamente desde la superficie, se realizó el procesamiento de inversión mediante el software ZondIP1D.

Figura 62 Perfil geoelectrico de resistividad



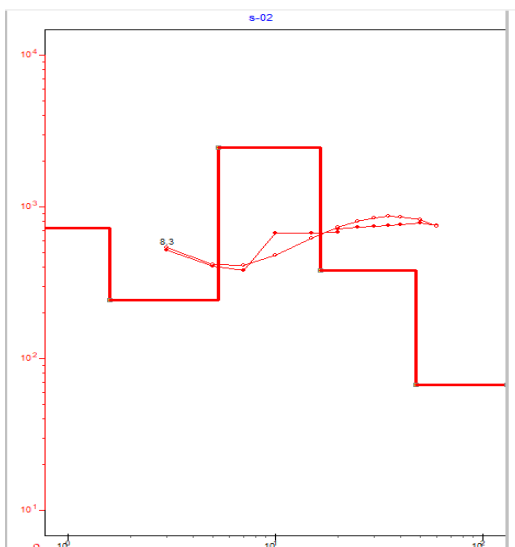
Fuente: Elaboración propia

En el presente perfil se logró apreciar 4 estratos definidos y un basamento continuo:

- La primera capa de estrato de 0.0 m – 2.02 m de potencia aproximadamente, con $\rho=575.14 \Omega\text{m}$ correspondiente a suelos de gravas no saturadas y arenas superficiales.
- En la segunda capa de estrato de 2.02 m – 4.9 m de potencia aproximadamente, con $\rho=265.82 \Omega\text{m}$ corresponde a gravas, arenas y limos con ligera presencia de humedad.
- La tercera capa de estrato de 4.9 m – a 13.6 m, con $\rho=824.52 \Omega\text{m}$ corresponde a gravas no saturadas y rocas fracturadas.
- La cuarta capa de estrato de 13.6 m – 40 m, con $\rho=147.09 \Omega\text{m}$ corresponde a rocas meteorizadas húmedas.
- La quinta capa indefinida a partir de – 40m, la resistividad disminuye a $\rho=32.24 \Omega\text{m}$, siendo indicador que aumenta la presencia de agua a partir de los 40 metros aproximadamente teniendo la existencia del nivel freático a esta profundidad.

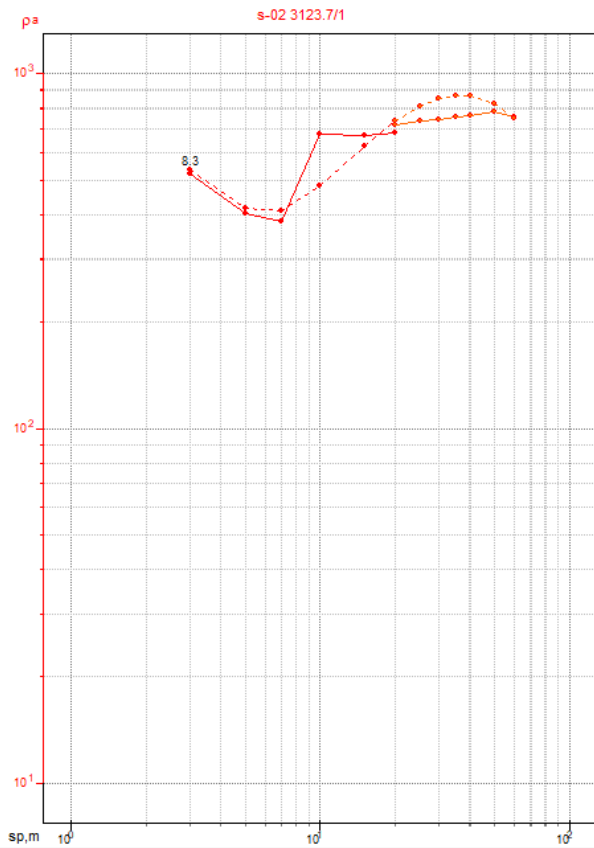
6.4.5. Sondaje eléctrico vertical SEV-02

Figura 63 Proceso de inversión de resultados



Fuente: Elaboración propia

Figura 64 Curva de resistividad

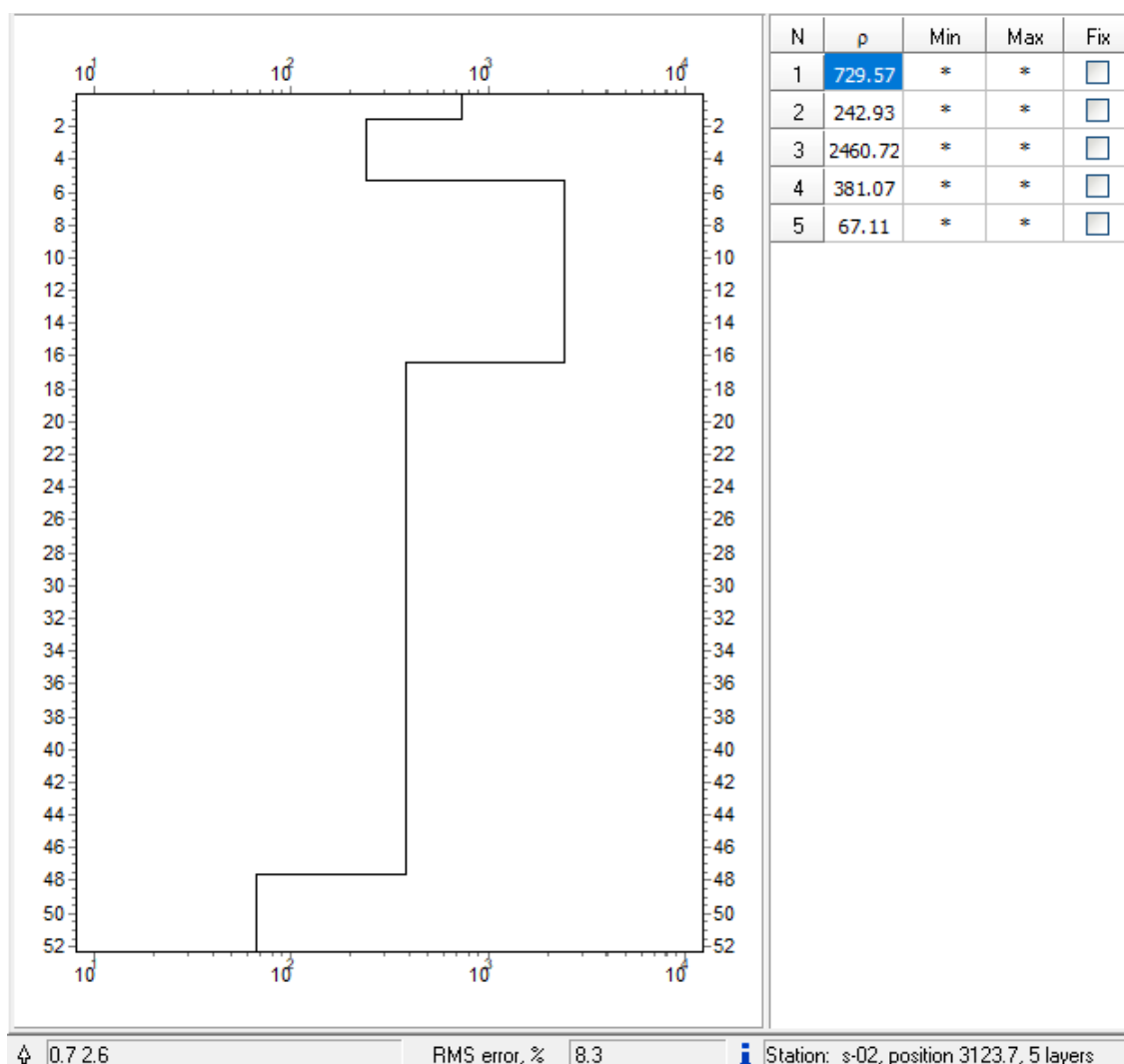


Fuente: Elaboración propia

PERFIL ELECTRICO – SEV – 02

El avance que se realiza en el presente SEV-02, fue con las coordenadas UTM ESTE: 202654, NORTE:8483101, donde se alcanzó una profundidad de 45 metros aproximadamente desde la superficie, se realizó el procesamiento de inversión mediante el software ZondIP1D.

Figura 65 Perfil geoelectrico de resistividad



Fuente: Elaboración propia

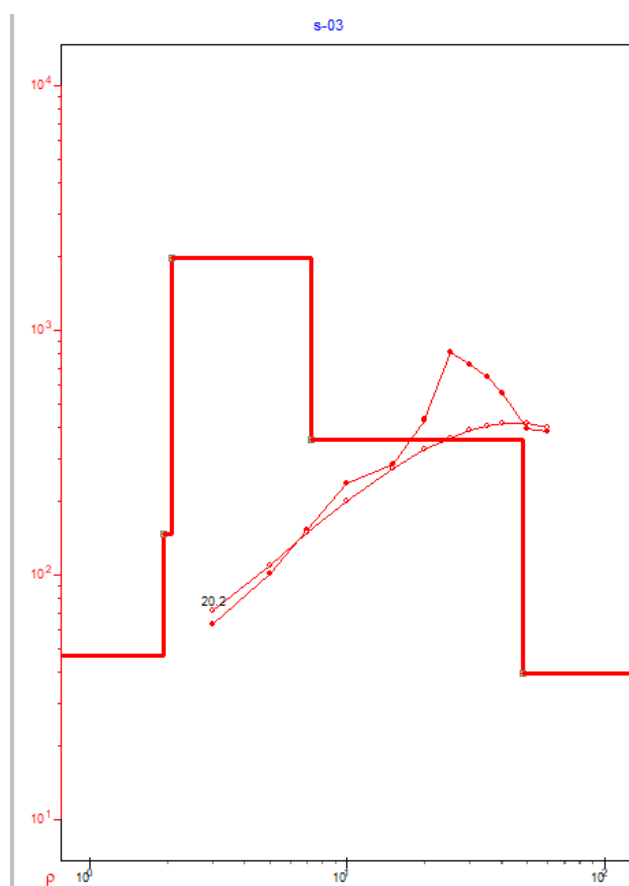
En el presente perfil se logró apreciar 4 estratos definidos y un basamento continuo:

- La primera capa de estrato de 0.0 m – 1.6 m de potencia aproximadamente, con $\rho=729.57 \Omega\text{m}$ correspondiente a suelos de gravas no saturadas y arenas superficiales.
- En la segunda capa de estrato de 1.6 m – 5.3 m de potencia aproximadamente, $\rho=242.93 \Omega\text{m}$ corresponde a gravas, arenas y limos con ligera presencia de humedad.

- La tercera capa de estrato de 5.3 m – 16.4 m, con $\rho=2460.72 \Omega\text{m}$ corresponde a areniscas y lutitas compactas.
- La cuarta capa de estrato de 16.4 m – 48 m, con $\rho=381.07 \Omega\text{m}$ corresponde a rocas meteorizadas o fracturadas no saturadas.
- La quinta capa indefinida a partir de – 48m, la resistividad disminuye a $\rho=67.11 \Omega\text{m}$, siendo indicador que aumenta la presencia de agua a partir de los 40 metros aproximadamente teniendo la existencia del nivel freático a esta profundidad .

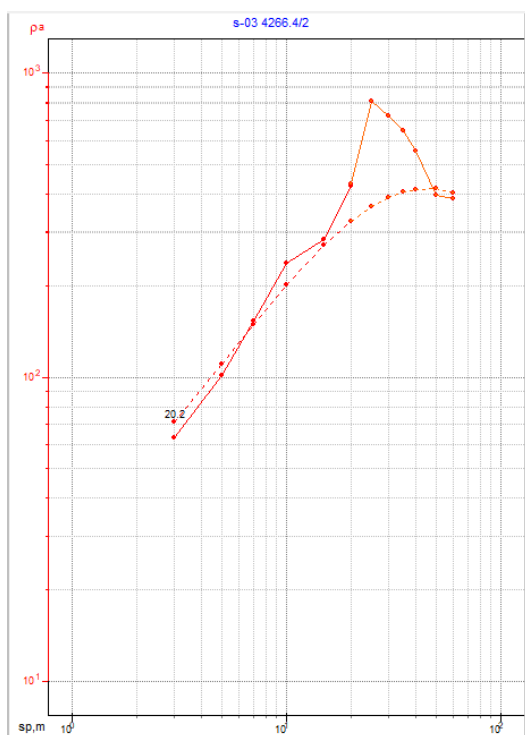
6.4.6. Sondaje eléctrico vertical SEV-03

Figura 66 Proceso de inversión de resultados



Fuente: Elaboración propia

Figura 67 Curva de resistividad

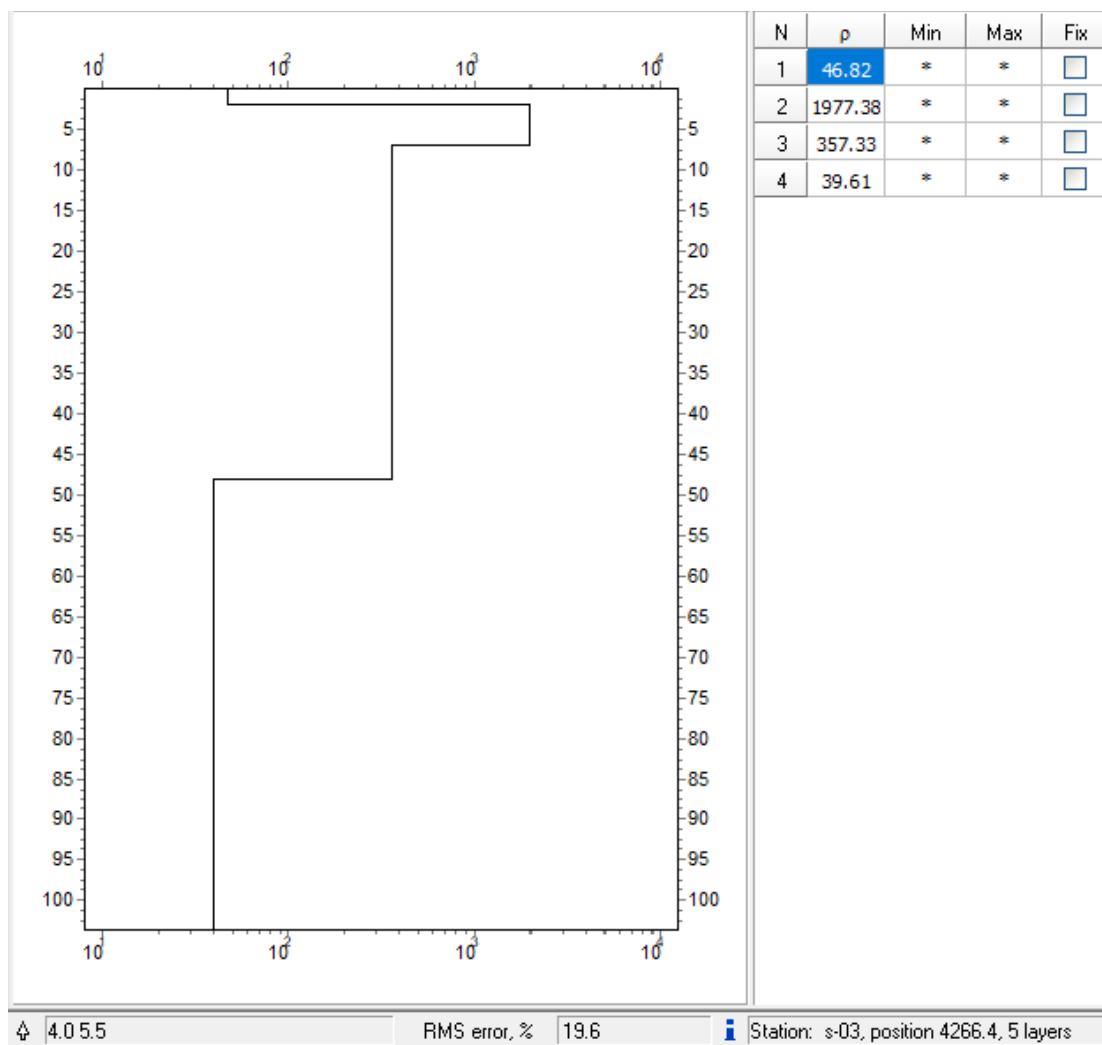


Fuente: Elaboración propia

PERFIL ELECTRICO – SEV – 03

El avance que se realiza en el presente SEV-03, fue con las coordenadas UTM ESTE: 201515, NORTE:8483299, donde se alcanzó una profundidad de 45 metros aproximadamente desde la superficie, se realizó el procesamiento de inversión mediante el software ZondIP1D.

Figura 68 Perfil estratigráfico y de resistividad



Fuente: Elaboración propia

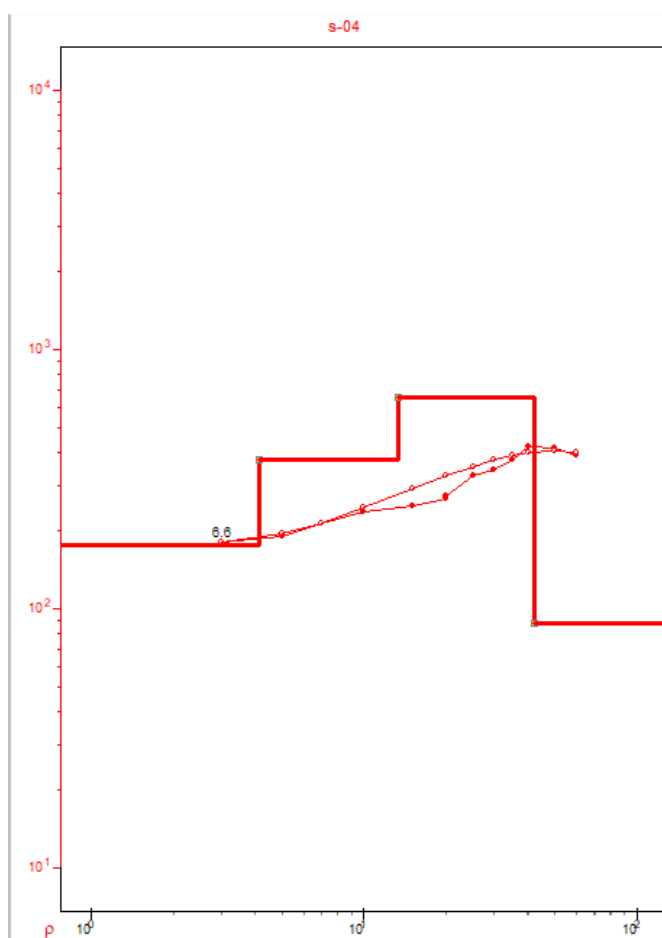
En el presente perfil se logró apreciar 3 estratos definidos y un basamento continuo:

- La primera capa de estrato de 0.0 m – 2 m de potencia aproximadamente, con $\rho=46.82 \Omega\text{m}$ correspondiente a suelos superficiales húmedos de gravas limos y arenas y material orgánico contrastada visualmente en campo.
- En la segunda capa de estrato de 2 m – 7.22 m de potencia aproximadamente, con $\rho=1977.38 \Omega\text{m}$ corresponde a rocas compactas de areniscas.

- La tercera capa de estrato de 7.22 m – a 47 m, con $\rho=357.33$ corresponde a areniscas y lutitas meteorizadas y fracturadas no saturadas.
- La cuarta capa indefinida a partir de – 47 m, la resistividad disminuye a $\rho=39.61$ Ωm , siendo indicador que aumenta la presencia de agua teniendo la existencia del nivel freático a esta profundidad.

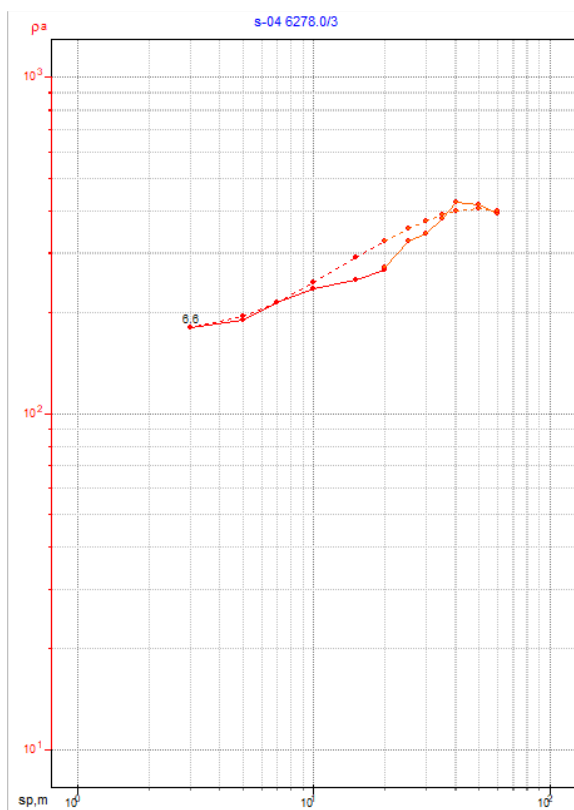
6.4.7. Sondaje eléctrico vertical SEV-04

Figura 69 Proceso de inversión de resultados



Fuente: Elaboración propia

Figura 70 Curva de resistividad

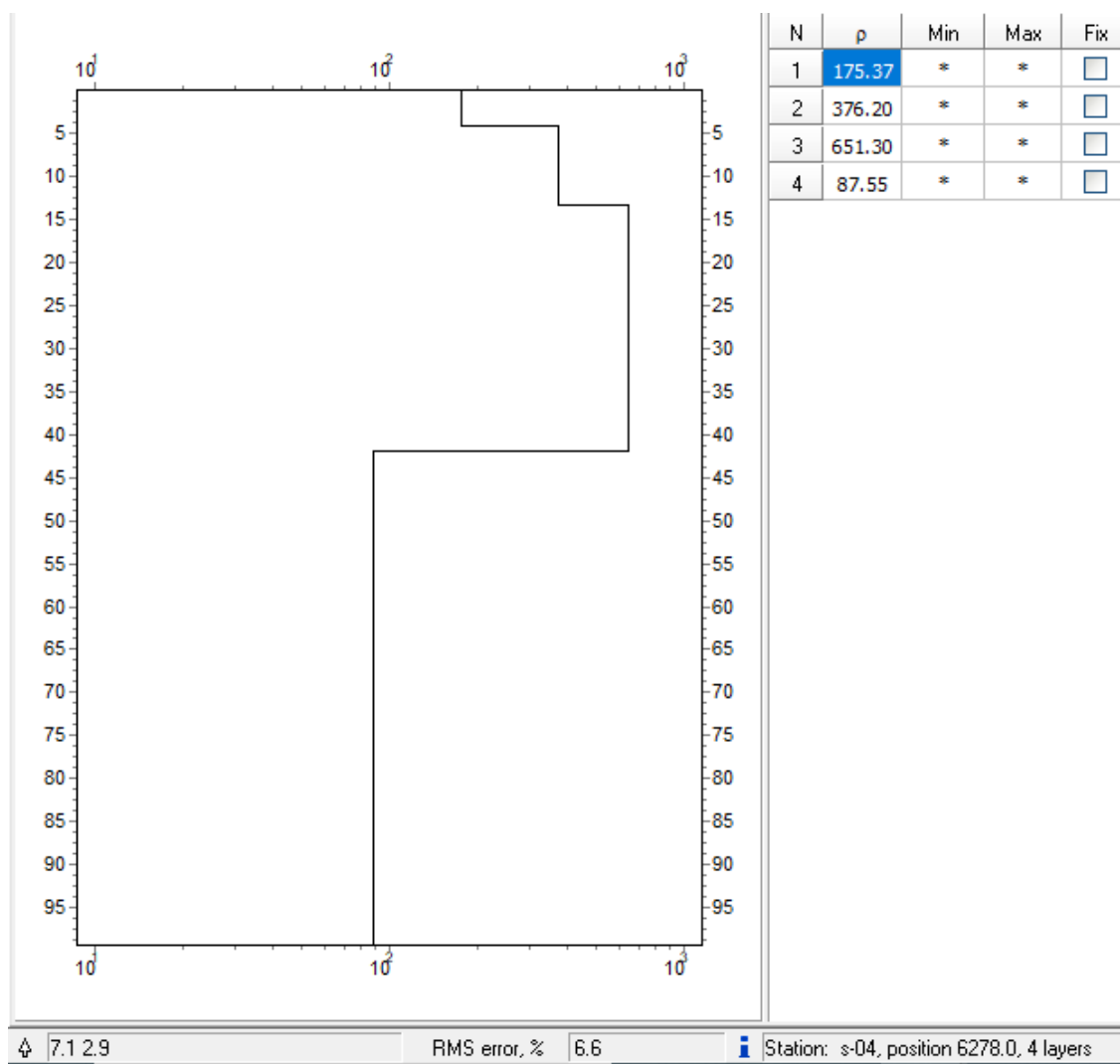


Fuente: Elaboración propia

PERFIL ELECTRICO – SEV – 04

El avance que se realiza en el presente SEV-04, fue con las coordenadas UTM ESTE: 199664, NORTE:8484087, donde se alcanzó una profundidad de 42 metros aproximadamente desde la superficie, se realizó el procesamiento de inversión mediante el software ZondIP1D.

Figura 71 Perfil estratigráfico y de resistividad



Fuente: Elaboración propia

En el presente perfil se logró apreciar 3 estratos definidos y un basamento continuo:

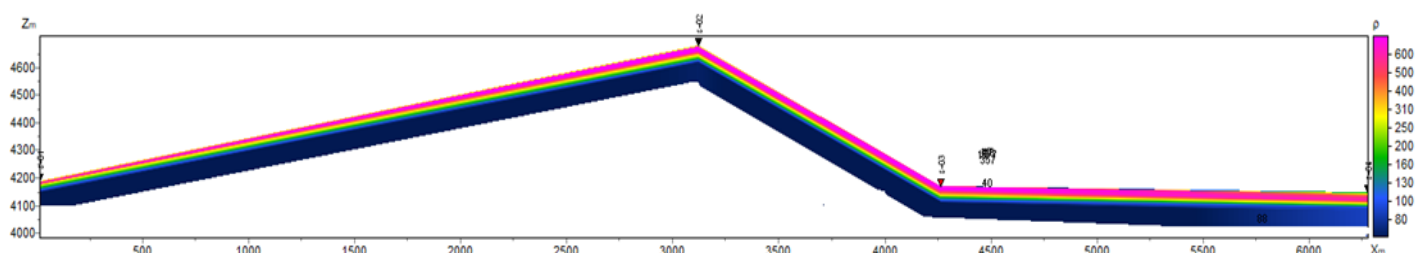
- La primera capa de estrato de 0.0 m – 4 m de potencia aproximadamente, con $\rho=175.37 \Omega\text{m}$ correspondiente a suelos superficiales de gravas limos y arenas contrastada visualmente en campo.
- En la segunda capa de estrato de 4 m – 13 m de potencia aproximadamente, con $\rho=376.20 \Omega\text{m}$ corresponde a rocas meteorizadas no saturadas.

- La tercera capa de estrato de 13 m – a 42 m, con $\rho=651.30 \Omega m$ corresponde a areniscas y lutitas fracturadas no saturadas.
- La cuarta capa indefinida a partir de – 42 m, la resistividad disminuye a $\rho=87.55 \Omega m$, siendo indicador que aumenta la presencia de agua teniendo la existencia del nivel freático a esta profundidad.

6.4.8. Secciones Geoelectricas a partir de los SEV

Para tener una visión espacial se procedió a unir cada SEV individual e integrar generando secciones en el que se pueda apreciar la variabilidad horizontal en comparación y la correlación entra cada punto prospectado.

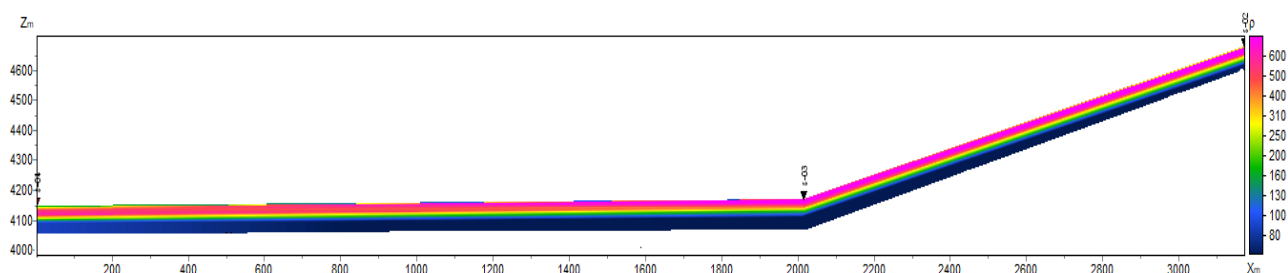
Figura 72 Sección SEV 01 – SEV 02 – SEV 03 – SEV 04



Fuente: Elaboración propia

De la figura que une los SEV 1,2 ,3 y 4 se puede apreciar la variación de resistividades y que a la profundidad aproximada de 40 metros estos valores disminuyen, esto nos indica que el nivel freático del acuífero se encuentra a esta profundidad y que a través de fracturas o superficies impermeables surgen los manantes que se encuentran a lo largo de la microcuenca.

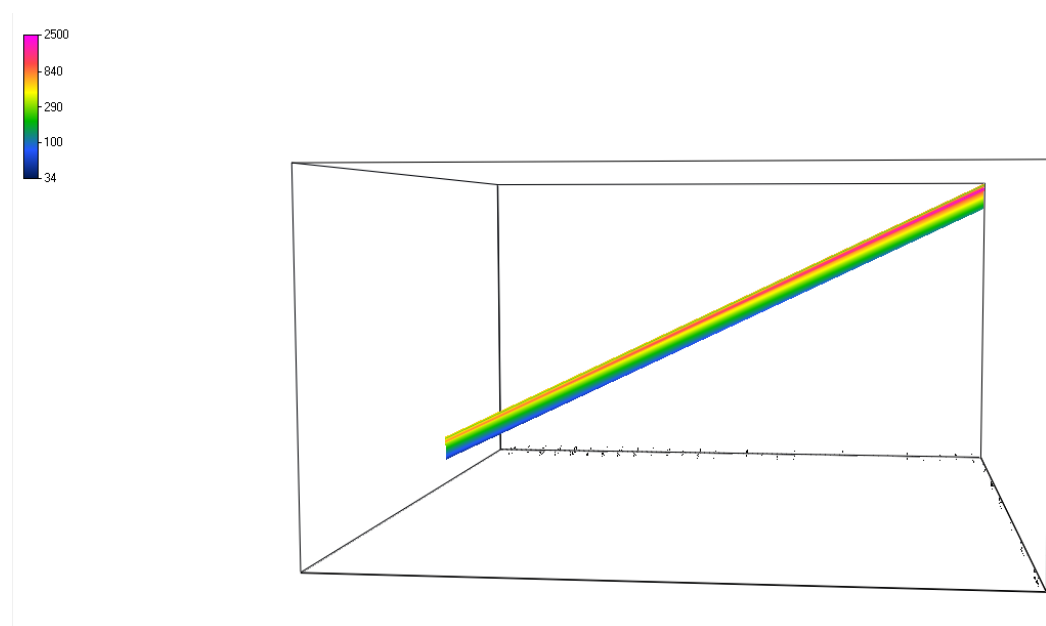
Figura 73 Sección SEV 04 – SEV 03 – SEV 02



Fuente: Elaboración propia

De la sección que une los SEV 04, 03 y 02 se observa de igual manera la zona azulada con resistividades menores indica la presencia de un nivel freático del acuífero en las zonas prospectadas correspondientes a las zonas de recarga.

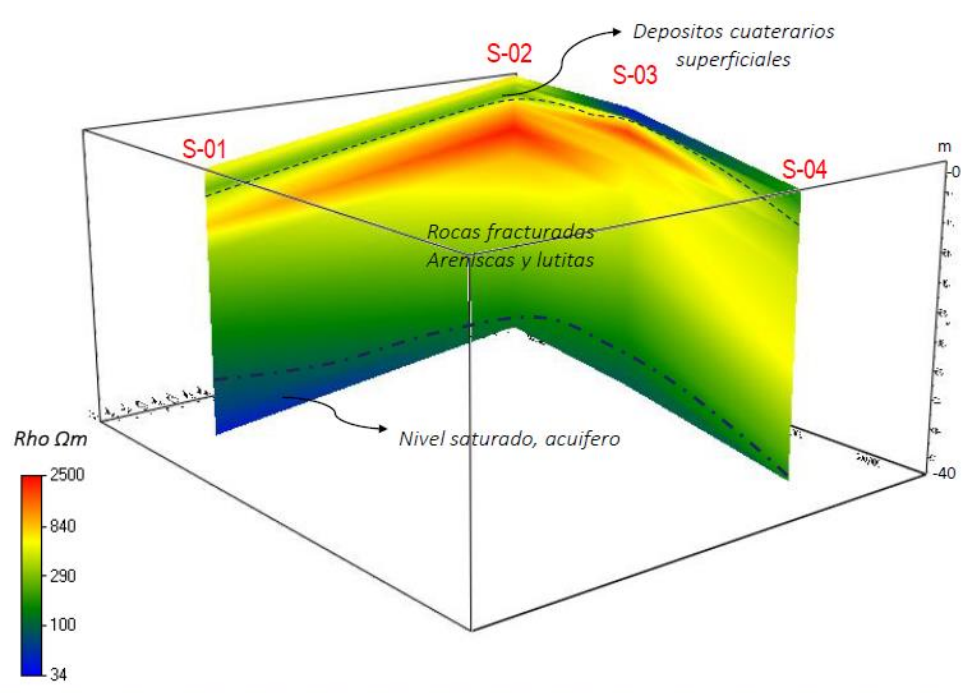
Figura 74 Sección SEV 01 – SEV 02



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se puede apreciar la variación de resistividades en los 4 SEV prospectados teniendo una disminución clara de resistividades aproximadamente a partir de los 40 metros.

Figura 75 Sección SEV 01 – SEV 02, SEV 03, SEV 04



Fuente: Elaboración propia

En síntesis de este acápite de prospección geofísica se realizó los ensayos en las partes altas de la microcuenca seleccionando la ubicación según la altitud en las zonas de recarga ya que era necesario a que profundidad se encuentra el nivel freático; teniendo los resultados se identificó aproximadamente a los 40 metros de profundidad la existencia de zonas saturadas en rocas fracturadas, esto nos da un panorama de que este acuífero se recarga mediante la infiltración y la transmisibilidad a través de las fracturas y fallas de la roca, existe también manantes permanentes que surgen a través de las fracturas hacia la superficie.

CAPITULO 7: HIDROGEOLOGIA

7.1. GENERALIDADES

La caracterización hidrogeológica con el objetivo de entender el comportamiento físico y físico químico de las aguas subterráneas, vinculados a las estructuras geológicas que influyen directamente en el comportamiento de las aguas subterráneas, se basa en la naturaleza de elementos como la litología, estructurales, composición química de los suelos y las rocas, los cuales facilitaran la definición de parámetros de evaluación. Por lo tanto, este capítulo nos facilitara la determinación de valores para el estudio de recarga y descarga del agua en la microcuenca Pacramayo.

Para reconocer y describir las unidades hidrogeológicas es necesario considerar los factores litológicos, así como ciertos parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad, la porosidad, transividad, parámetros físico químicos de las aguas como el pH, conductividad eléctrica, contenido de sales y otros.

7.2. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

7.2.1. POROSIDAD

Porosidad Primaria

La porosidad se refiere al volumen extraído (agua gravífica) al bombear una muestra de material permeable en comparación con el volumen total de la muestra.

$$Me = \frac{Ve}{Vt} * 100$$

La porosidad total se refiere a los espacios vacíos y/o intersticios entre los granos de las rocas.

$$Mt = ms + me$$

Donde:

Mt = Porosidad total

Me = Porosidad eficaz

Ms = Capacidad de retención específica

Se utilizó el Cuadro “Valores de porosidad de las rocas” elaborado por Pulido (1978) para la clasificación y caracterización hidrogeológica de las formaciones.

Además, se recurrió al Boletín del Cuadrángulo de Cusco, que hace referencia a la porosidad de las formaciones de interés de nuestra área de estudio.

Porosidad de las fracturas

Es el principal factor que facilita la conservación de las aguas subterráneas. La dirección del flujo de aguas es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas o fallas. (Fluquer et al, 2009).

Tabla 28 Datos de porosidad de las rocas

| 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 |
| Rocas sedimentarias incoherentes | Aluviones | entre 20 y 40 | entre 5 y 35 |
| | Gravas | entre 25 y 40 | entre 15 y 35 |
| | Arena | entre 20 y 45 | entre 10 y 35 |
| | Depósitos | entre 15 y 35 | entre 5 y 30 |
| | Glaciares | | |
| | Limo | entre 35 y 50 | entre 2 y 20 |
| | Arcillas | entre 40 y 60 | entre 0 y 10 |

Fuente: J. Pulido (1978)

7.2.2. PERMEABILIDAD

Para determinar los parámetros de cada formación geológica se han llevado a cabo ensayos de permeabilidad in situ, empleando el método de carga variable y constante; ya que las rocas que conforman la microcuenca Pacramayo son sedimentarias.

Se llevaron a cabo 11 ensayos de infiltración usando el método de Lefranc a carga constante para este cálculo. Los resultados al compararlos con la tabla convencional de permeabilidades (Benítez 1963 y Custodio 1996, (Tabla 26), obtienen una correspondencia hidrogeológica mediante de la conductividad hidráulica.

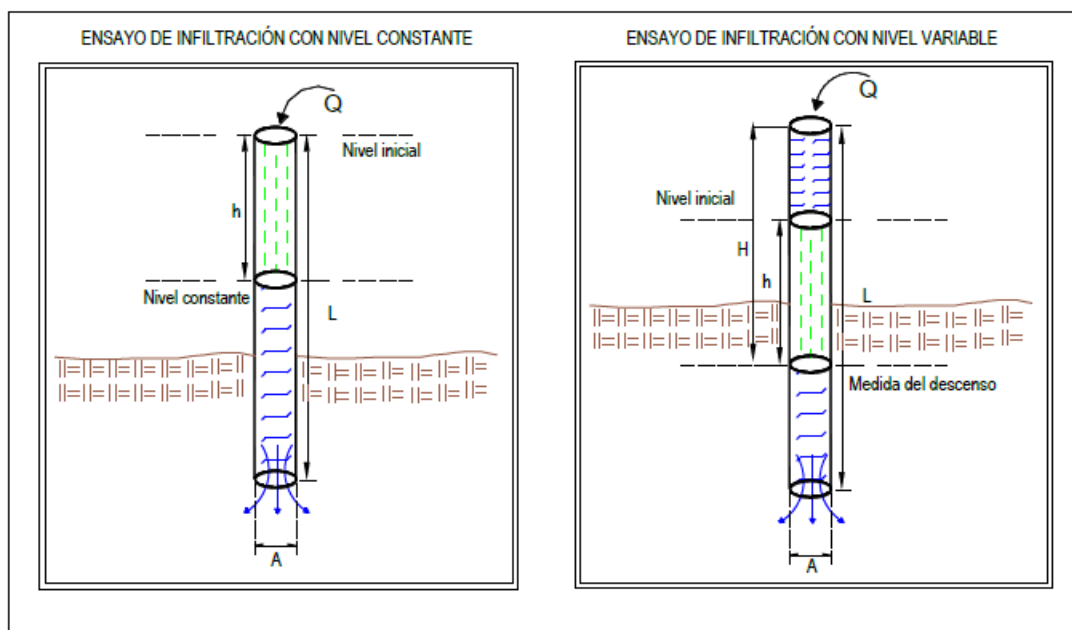
Esta prueba de campo se desarrolló sobre los materiales inconsolidados de los depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, eluviales, deluviales y en depósitos sedimentarios de las formaciones Kayra, Soncco.

Tabla 29 Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)

| Valores (m/día) | Permeabilidad | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|---|-----------|----------------------------------|----|---------------|--------|--------|
| | 10^{-6} | 10^{-5} | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-2} | 10^{-1} | 1 | 10 | 10^2 | 10^3 | 10^4 |
| Calificación | Impermeable | | Poco permeable | | Algo permeable | | Permeable | | Muy permeable | | |
| | Acuicludo | | Acuitardo | | Acuifero pobre | | Acuifero medio a bueno | | Acuifero | | |
| Tipo de Materiales | Arcilla compacta granito | | Limo arenoso, limo, arcilla limosa | | Arena fina, arena limosa, caliza fracturada | | Arena limpia, grava y arena fina | | Grava limpia | | |

Ensayos de infiltración.

Este ensayo implica inducir la infiltración del agua bajo una carga determinada, a través de un tubo de diámetro uniforme (permeámetro de 2”), insertado en el suelo para calcular el volumen de agua absorbida (descenso) en función de la carga y del tiempo.



Procedimiento de ensayos de infiltración a carga constante y carga variable respectivamente.

Los ensayos de infiltración puntual llevados a cabo en la microcuenca Pacramayo (Fotografías) se hicieron utilizando el método del permeámetro de carga variable. Este método se basa en tomar los descensos de agua en un tiempo determinado (1,3,5,7,10,15,20,25,30 minutos). Para magnitudes menores a 30 cm, los descensos se consideraron mínimos y no afectan a la carga hidráulica del permeámetro. Por ende, se empleó un permeámetro de 100 cm, que incluye una carga hidráulica mínima.

Para este trabajo se ejecutaron 11 ensayos de infiltración para estimar la permeabilidad de los materiales sedimentarios que se ubican en la microcuenca Pacramayo.

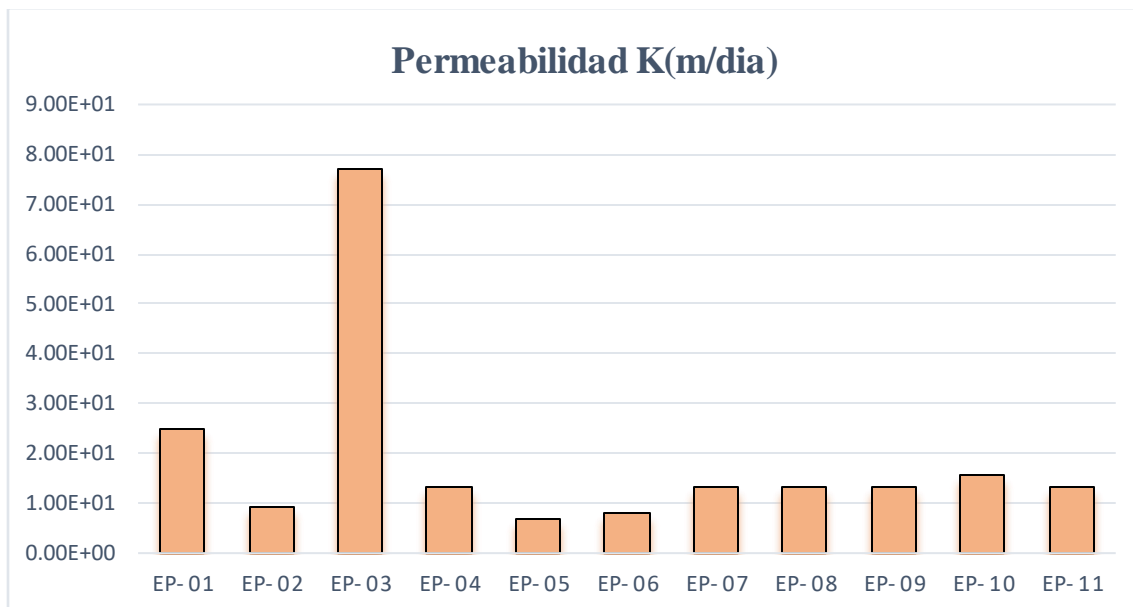
Tabla 30 Datos de permeabilidad de las diferentes unidades geológicas

| ENSAYO | UNIDAD GEOLOGICA | ESTE | NORTE | K(m/día) |
|--------|----------------------------|------------|------------|----------|
| EP- 01 | Formación Kayra | 202606.412 | 8483848.63 | 2.48E+01 |
| EP- 02 | Deposito Eluvial | 202511.242 | 8484210.92 | 9.06E+00 |
| EP- 03 | Formación Kayra | 202438.588 | 8484855.84 | 7.70E+01 |
| EP- 04 | Deposito Eluvial | 202431.973 | 8485129.2 | 1.33E+01 |
| EP- 05 | Deposito Eluvial | 202543.597 | 8485445.35 | 6.75E+00 |
| EP- 06 | Deposito Eluvial | 202853.82 | 8483531.15 | 8.12E+00 |
| EP- 07 | Deposito Coluvioaluvial | 200136.838 | 8484273.05 | 1.33E+01 |
| EP- 08 | Deposito Coluvioaluvial | 200021.406 | 8484375.78 | 1.33E+01 |
| EP- 09 | Formación Soncco-Miembro-I | 199933.29 | 8484682.18 | 1.33E+02 |
| EP- 10 | Deposito aluvial | 202009.47 | 8483017.51 | 1.55E+01 |

EP- 11 Formación Soncco-Miembro-I 202128.03 8482909.26 1.33E+01

Fuente: Elaboración propia

Figura 76 Diagrama de permeabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 77 Ensayos de permeabilidad carga variable



Nota: Ensayo de carga variable realizado en depósito aluvial sector Quehuarpatá.

7.2.3. TRANSMISIVIDAD

El cálculo de transmisividad se realizó considerando la formula experimental de Galofré que comprobó que:

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

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

Tabla 31 Valores de transmisividad de los manantes captados

| Nº manante | Q (lt/s) | Q(lt/s.m) | T(m ² /día) | Litología |
|--------------|----------|-----------|------------------------|-------------------------|
| Mn-13 | 2.2 | 0.22 | 22 | Fm. Soncco_II |
| Mn-14 | 4.6 | 0.46 | 46 | Fm. Soncco_II |
| Mn-19 | 1.35 | 0.135 | 14 | Fm. Soncco_II |
| Mn-20 | 5.6 | 0.56 | 56 | Deposito coluvioaluvial |
| Mn-27 | 1.85 | 0.185 | 19 | Fm. Kayra |
| Mn-28 | 4.3 | 0.43 | 43 | Fm. Kayra |
| Mn-29 | 3.79 | 0.379 | 38 | Deposito eluvial |
| Mn-30 | 1.5 | 0.15 | 15 | Fm. Kayra |
| Mn-34 | 1.2 | 0.12 | 12 | Deposito aluvial |
| Mn-35 | 1.46 | 0.146 | 15 | Deposito aluvial |
| Mn-36 | 1.6 | 0.16 | 16 | Deposito aluvial |
| Mn-46 | 1.6 | 0.16 | 16 | Fm. Soncco_I |
| Mn-47 | 2.4 | 0.24 | 24 | Fm. Soncco_II |
| Mn-37 | 1.1 | 0.11 | 11 | Fm. Soncco_II |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Valores de transmisividad para puntos de caudales

| T (m/d) | Calificación | Posibilidad del acuífero |
|-------------------------|---------------------|---|
| T<10 | Muy baja | Menos de 1 lt/s con 10 m de depresión |
| 10<T<100 | Baja | Entre 1 y 10 lt/s con 10 m de depresión |
| 100<T<500 | Media a alta | Entre 10 y 50 lt/s con 10 m de depresión |
| 500<T<1000 | Alta | Entre 50 y 100 lt/s con 10 m de depresión |
| T>1000 | Muy alta | Mas de 100 lt/s con 10 m de depresión |

Fuente: Iglesias (2002)

Los valores de transmisividad en los diferentes puntos de caudales, están en su mayoría de los casos en el orden de 11 m²/día hasta los 56 m²/día considerando los valores de

transmisividad según Iglesias (2002) en la zona de estudio, corresponde a una transmisividad baja, lo que significa menor de 100 m² por día.

7.3. INVENTARIO DE FUENTES HIDRICAS

En esta etapa de investigación se han identificado las fuentes de agua subterránea situadas en el área de estudio. Para ello, se realizó la prospección directa de campo.

Figura 78 Medida de caudales de los manantes



Estas fuentes se registraron con un código, coordenadas y parámetros físicos e hidrogeológicos. A lo largo del estudio, se lograron obtener aforos durante periodos de estiaje (junio – septiembre 2022).

Se registro un total de 59 manantes en la microcuenca Pacramayo controlados por fallas, fisuras y contactos geológicos situados en la zona media y alta de la microcuenca. Esta información se recogió en el mapa de inventario de manantes con la finalidad de localizar las áreas de descarga natural.

Tabla 33 Inventario de manantes en la microcuenca

| N° MANANTE | ESTE | NORTE | REGIMEN | Q (lt/s) |
|-------------|----------|-----------|------------|----------|
| Mn-1 | 201977.1 | 8483617.4 | permanente | 0.12 |
| Mn-2 | 201523.2 | 8484359.8 | permanente | 0.7 |
| Mn-3 | 202102.0 | 8482970.2 | estacional | 0.1 |
| Mn-4 | 201699.1 | 8483208.0 | estacional | 0.15 |

"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA
MICROCUEENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI
DEPARTAMENTO DEL CUSCO"

| | | | | |
|--------------|----------|-----------|--------------|------|
| Mn-5 | 201104.3 | 8484614.3 | permanente | 0.22 |
| Mn-6 | 201677.9 | 8483994.4 | permanente | 0.14 |
| Mn-7 | 202199.0 | 8483578.8 | estacional | 0.2 |
| Mn-8 | 200969.3 | 8485308.6 | estacional | 0.15 |
| Mn-9 | 198214.3 | 8485384.6 | estacional | 0.1 |
| Mn-10 | 200151.0 | 8485768.5 | estacional | 0.12 |
| Mn-11 | 198189.5 | 8484846.8 | estacional | 0.21 |
| Mn-12 | 200170.9 | 8486418.9 | permanente | 0.61 |
| Mn-13 | 198849.6 | 8485117.5 | permanente | 2.2 |
| Mn-14 | 198921.7 | 8485175.3 | permanente | 4.6 |
| Mn-15 | 199489.2 | 8485219.0 | permanente | 0.23 |
| Mn-16 | 200964.0 | 8485203.9 | permanente | 1.8 |
| Mn-17 | 200044.9 | 8485047.0 | permanente | 2.1 |
| Mn-18 | 200193.5 | 8484744.5 | permanente | 0.9 |
| Mn-19 | 199583.9 | 8484835.9 | permanente | 1.35 |
| Mn-20 | 199888.4 | 8484217.3 | permanente | 5.6 |
| Mn-21 | 200158.0 | 8484209.5 | permanente | 1.38 |
| Mn-22 | 200458.6 | 8483928.4 | estacionario | 0.41 |
| Mn-23 | 200395.2 | 8483982.5 | permanente | 0.38 |
| Mn-24 | 200574.3 | 8484343.1 | estacional | 0.62 |
| Mn-25 | 200622.9 | 8484268.0 | estacional | 0.4 |
| Mn-26 | 200930.5 | 8484566.3 | estacional | 0.22 |
| Mn-27 | 200673.5 | 8484193.0 | permanente | 1.85 |
| Mn-28 | 200687.1 | 8484140.4 | permanente | 4.3 |
| Mn-29 | 201869.3 | 8483701.0 | permanente | 3.79 |
| Mn-30 | 200835.3 | 8483941.6 | estacional | 1.5 |
| Mn-31 | 200855.1 | 8483878.1 | estacional | 0.9 |
| Mn-32 | 201343.7 | 8483473.1 | permanente | 1.2 |
| Mn-33 | 201367.1 | 8483474.5 | permanente | 0.8 |
| Mn-34 | 201384.3 | 8483461.2 | permanente | 1.2 |
| Mn-35 | 201400.8 | 8483434.9 | estacional | 1.46 |
| Mn-36 | 201489.1 | 8483362.5 | permanente | 1.6 |
| Mn-37 | 201655.1 | 8483243.8 | permanente | 1.1 |
| Mn-38 | 202647.5 | 8484137.4 | estacional | 0.2 |
| Mn-39 | 201655.3 | 8484661.3 | estacional | 0.9 |
| Mn-40 | 201171.1 | 8484843.8 | estacional | 0.8 |
| Mn-41 | 199827.1 | 8485059.9 | estacional | 0.18 |
| Mn-42 | 200237.7 | 8484521.0 | estacional | 0.3 |
| Mn-43 | 200227.3 | 8484511.8 | estacional | 0.22 |
| Mn-44 | 200214.2 | 8484476.7 | estacional | 0.15 |
| Mn-45 | 200193.5 | 8484462.2 | estacional | 0.1 |
| Mn-46 | 200185.7 | 8484441.2 | permanente | 3.5 |
| Mn-47 | 200140.1 | 8484166.1 | permanente | 2.8 |
| Mn-48 | 202895.7 | 8484295.4 | estacional | 1.6 |

"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA
MICROCUCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI
DEPARTAMENTO DEL CUSCO"

| | | | | |
|--------------|----------|-----------|------------|------|
| Mn-49 | 202842.3 | 8485810.2 | estacional | 0.8 |
| Mn-50 | 202210.9 | 8486290.1 | estacional | 0.76 |
| Mn-51 | 202016.0 | 8485982.1 | estacional | 0.34 |
| Mn-52 | 202852.6 | 8484794.8 | estacional | 0.48 |
| Mn-53 | 202621.6 | 8485386.1 | estacional | 0.34 |
| Mn-54 | 201355.6 | 8485973.5 | estacional | 0.42 |
| Mn-55 | 200764.3 | 8485481.4 | estacional | 0.28 |
| Mn-56 | 200712.7 | 8486207.7 | permanente | 3.4 |
| Mn-57 | 201839.8 | 8486965.7 | estacional | 0.36 |
| Mn-58 | 201506.4 | 8486637.6 | estacional | 0.3 |
| Mn-59 | 201263.0 | 8487082.1 | permanente | 2.4 |

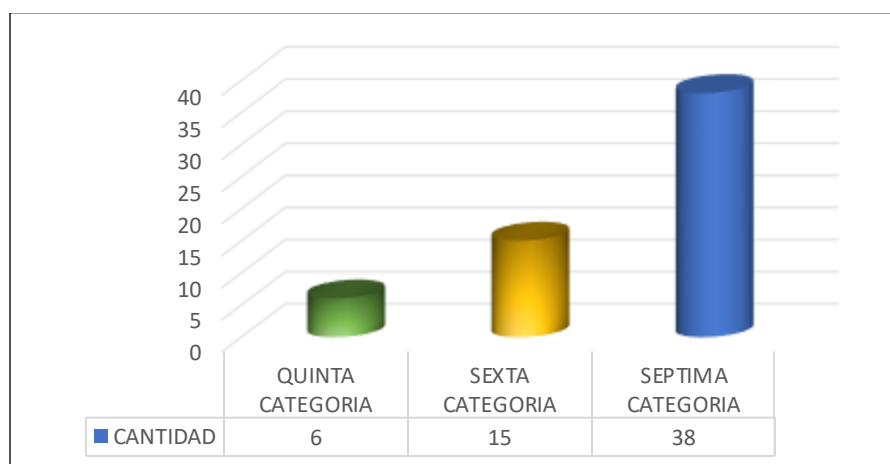
Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Clasificación por su productividad de los manantes

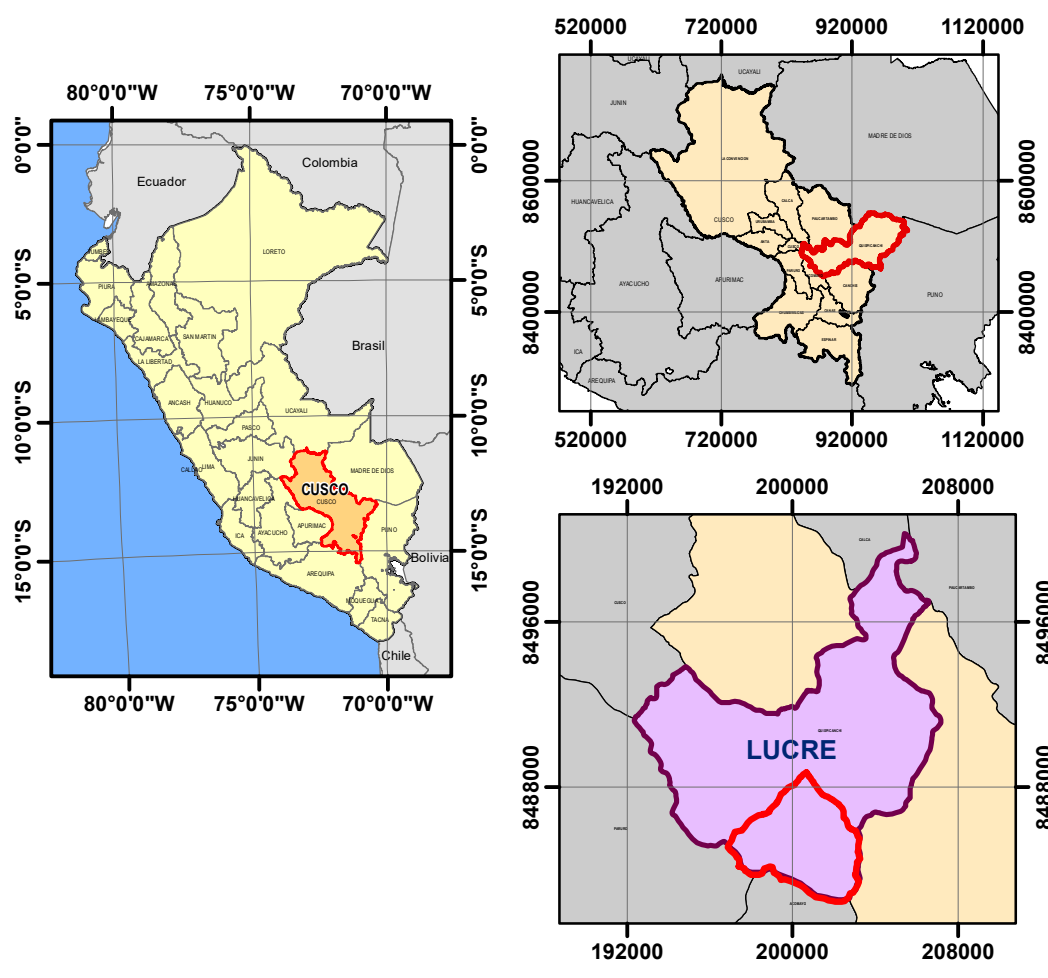
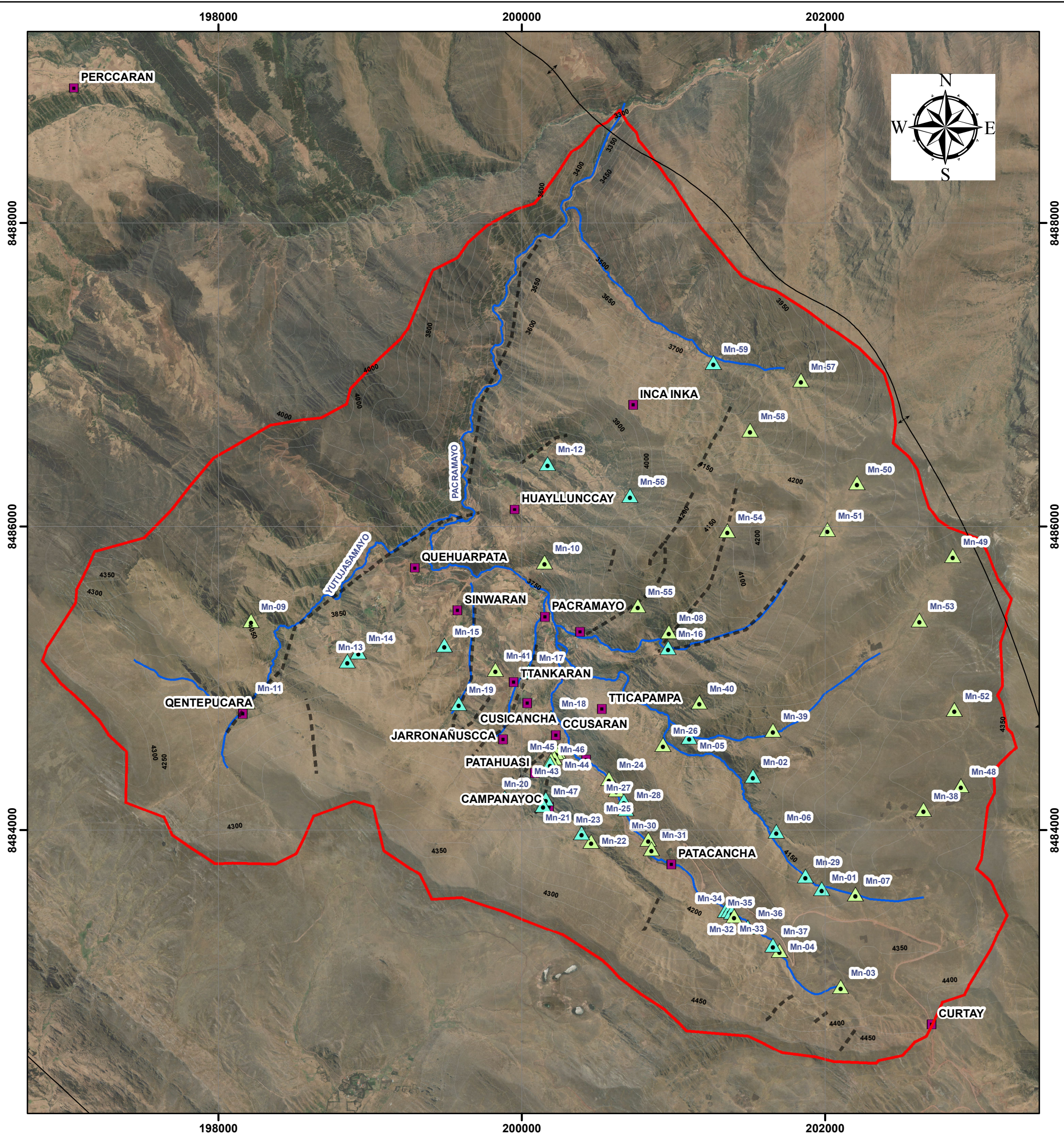
| Categoría | Unidad (lt/s) |
|------------------|----------------------|
| Primera | Superior a 2830 |
| Segunda | Entre 283 y 2830 |
| Tercera | Entre 28.3 y 2830 |
| Cuarta | Entre 10.0 y 28.3 |
| Quinta | Entre 3.0 y 10.01 |
| Sexta | Entre 1.0 y 3.01 |
| Séptima | Menores a 1.01 |

Nota: De acuerdo con la tabla 32 se ha categorizado el caudal de 59 manantiales, siendo 6 de quinta categoría, 15 de sexta y 38 de séptima categoría. Fuente: Meizer (1923).

Figura 79 Cantidad de manantes según su productividad



Fuente: Elaboración propia



SIMBOLOGIA

- FALLAS
- Centros Poblados
- Microcuenca Pacramayo
- Rios
- Curvas

LEYENDA

REGIMEN

- Estacional
- Permanente

| | | | |
|------------------------|---|----------------|-------------------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | INVENTARIO DE MANANTES | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma | ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana |
| | Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | | |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | LAM-06 |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | |
| | | | LAMINA |

7.4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

La caracterización hidrogeológica es necesaria para representar cartográficamente las características hídricas de las formaciones geológicas.

Unidades hidrogeológicas

Se ha logrado reconocer las siguientes unidades en la microcuenca Pacramayo:

Acuíferos

La microcuenca Pacramayo posee acuíferos situados en zonas de ladera de montañas, montañas y planicies.

Estos se clasifican en:

Acuíferos fisurados en rocas sedimentarias y acuíferos porosos no consolidados

7.4.1. ACUIFEROS FISURADOS EN ROCAS SEDIMENTARIAS

ACUIFERO FISURADO SEDIMENTARIO KAYRA

El acuífero Kayra muestra una porosidad primaria y secundaria a causa de la existencia de fracturas y fallas. La permeabilidad superficial medida en campo llega a los $2.48E+01$ metros por día (véase los anexos), lo que según Benitez (1963), se asemeja a acuíferos regulares a buenos, con productividad de caudales medios a altos. Estos valores señalan una alta transmisividad y capacidad de almacenamiento.

En este acuífero se encuentra una mayor cantidad de manantes, a causa de la presencia de fracturas locales y tienen caudales de producción buenas, destacando los manantes con excelentes caudales que varían entre 1.85 lt/s a 4.3 lt/s.

Figura 80 Acuífero fisurado sedimentario Kayra



ACUIFERO FISURADO SEDIMENTARIO SONCCO I

Esta unidad acuífera tiene capacidades medias de almacenamiento y transmisión media, compuesta por la Formación geológica Soncco I con una permeabilidad $k= 1.33E-01$ y una transmisividad de 16 m²/día. Los caudales de los manantes presentes en esta Formación son bajos que varían entre 0.1 lt/s a 0.3 lt/s.

Figura 81 Acuífero fisurado sedimentario pobre Soncco I



7.4.2. ACUIFERO POROSO EN DEPOSITOS CUATERNARIOS

Esta unidad acuífera posee capacidades de almacenamiento y transmisión de baja a buena y las formaciones geológicas que lo componen son los materiales cuaternarios cartografiados: los depósitos aluviales, coluvioaluvial, aluvial, deluvial y eluvial. Las propiedades hidráulicas en esta unidad oscilan entre una permeabilidad $1.33E+01$ hasta $9.06E+00$, correspondiendo a acuíferos regulares a buenos.

Figura 82 Acuífero poroso aluvial, sector Colcaiqui

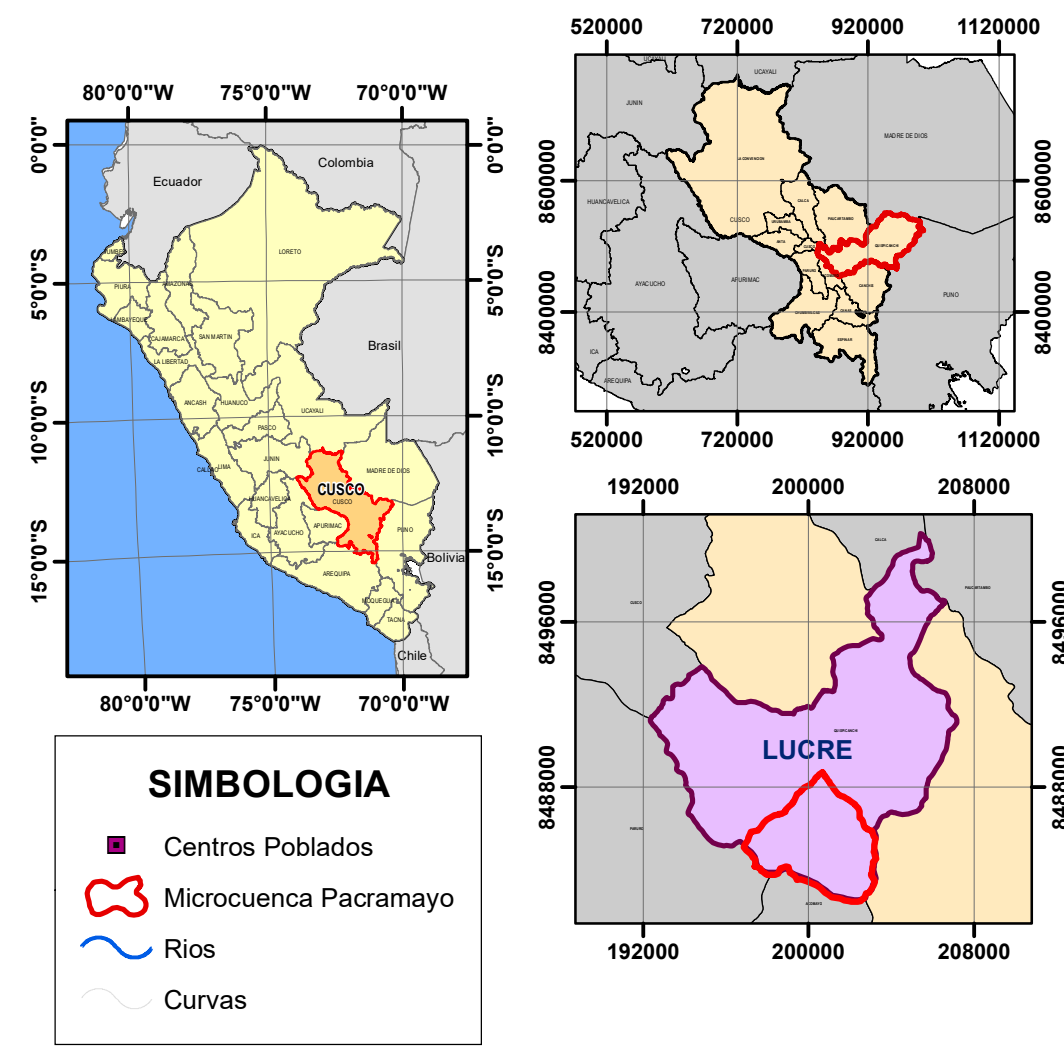
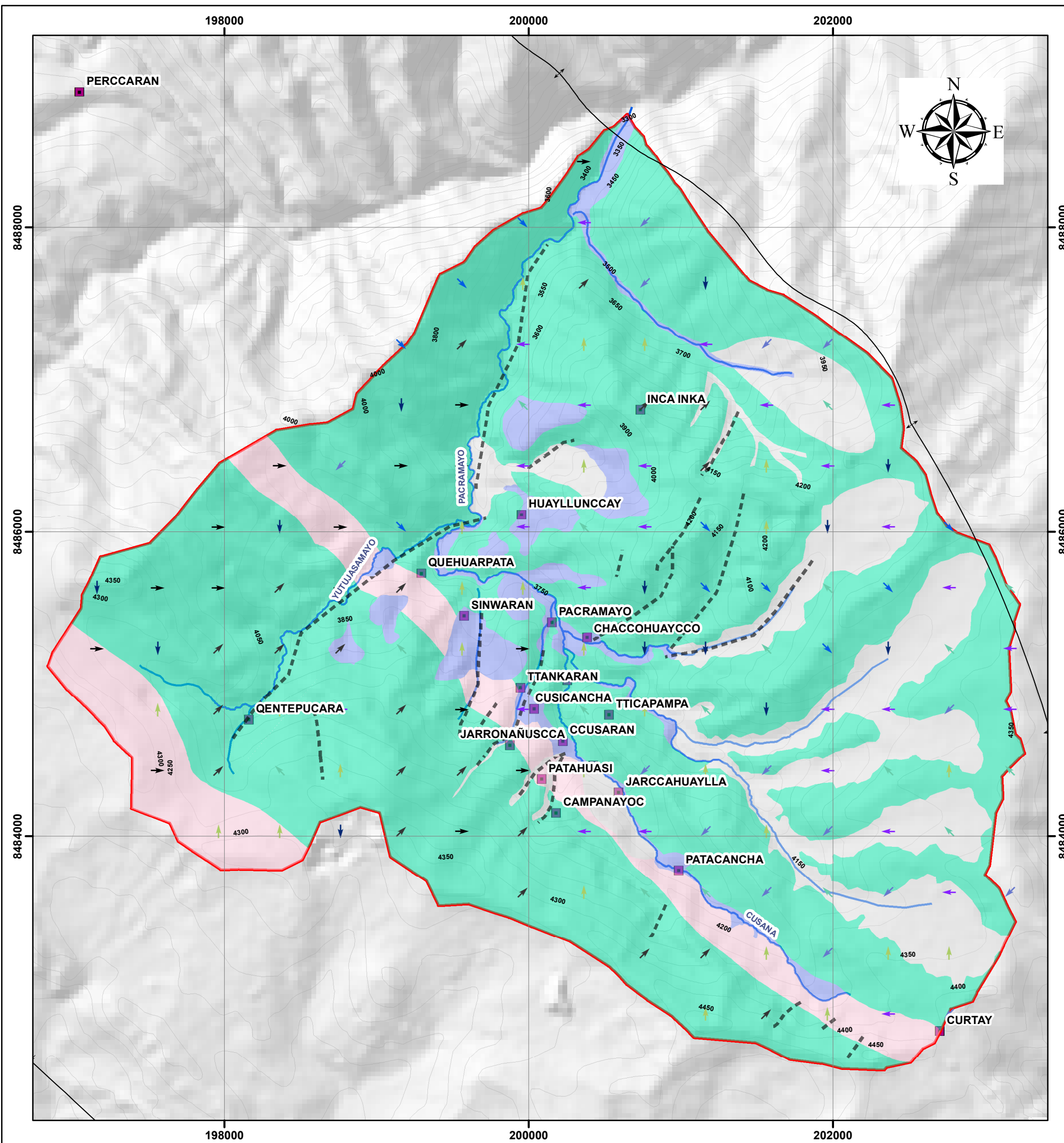


Figura 83 Acuífero poroso deluvial, sector Patacancha



Figura 84 Acuífero poroso aluvial, sector Caraypampa





SIMBOLOGIA

- Centros Poblados
- ⬮ Microcuenca Pacramayo
- ~ Rios
- Curvas

LEYENDA

Unidades hidrogeológicas

- Fisurado bajo (pobre)
- Fisurado medio a bueno
- Poroso bajo (pobre)
- Poroso medio a bueno

| | | | |
|------------------------|---|-------------------------------|---------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | | |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | HIDROGEOLOGIA | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma | | LAM-07 |
| | Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | | |
| ASESOR | | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | LAMINA |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | |

7.5. ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA

7.5.1. ÁREAS DE RECARGA

Las fuentes de alimentación del acuífero o den recarga en el área de estudio son:

- Aporte a masas de agua a través de precipitaciones torrenciales y prolongadas precipitaciones fluviales.
- Emisión de flujo subterráneo originada por la infiltración de drenes aledaños.
- Aporte de agua de infiltración proveniente de algunas superficies agrícolas.

La alimentación de los acuíferos se efectúa mediante fracturas presentes en las rocas, siendo las fallas geológicas el principal recurso de alimentación y recarga.

Existen dos áreas de recarga en la microcuenca Pacramayo. La zona 01 se encuentra en los cerros Pukaqocha, Hatun Chinchay, Huchuy Chinchay, donde el flujo subterráneo es prácticamente superficial.

La zona 02 se encuentra en los depósitos eluviales en la parte alta de la microcuenca, el cual se encuentra controlado por la estratificación y las fracturas.

Figura 85 Zonas de recarga de la microcuenca



Nota: Las planicies eluviales de la parte alta de la microcuenca son zonas de recarga.

7.5.2. ÁREAS DE DESCARGA

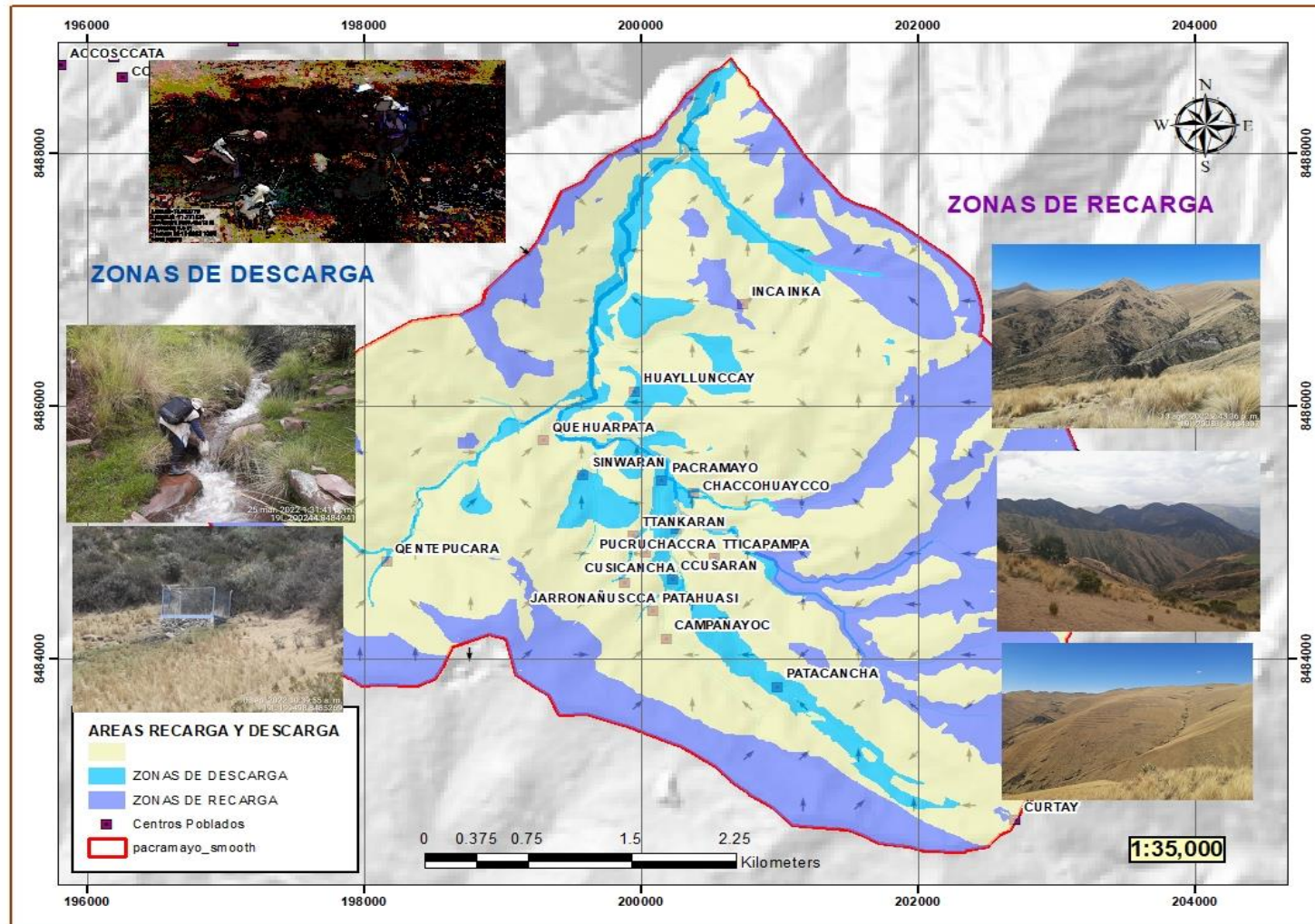
Las áreas de descarga son principalmente los acuíferos, los cuales almacenan tanto aguas superficiales como subterráneas para después liberarlas a través de manantes. Esto se debe a las fracturas y la saturación del suelo. Por otro lado, la precipitación fluvial se dirige a la parte baja por la escorrentía superficial.

Figura 86 Zonas de descarga de la microcuenca

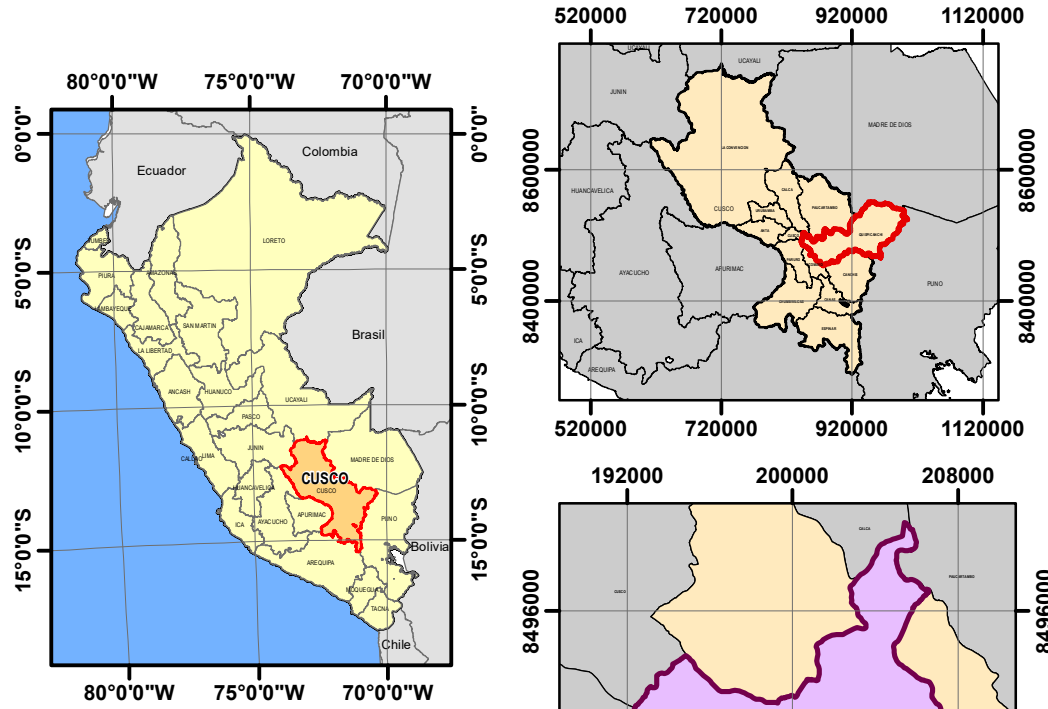
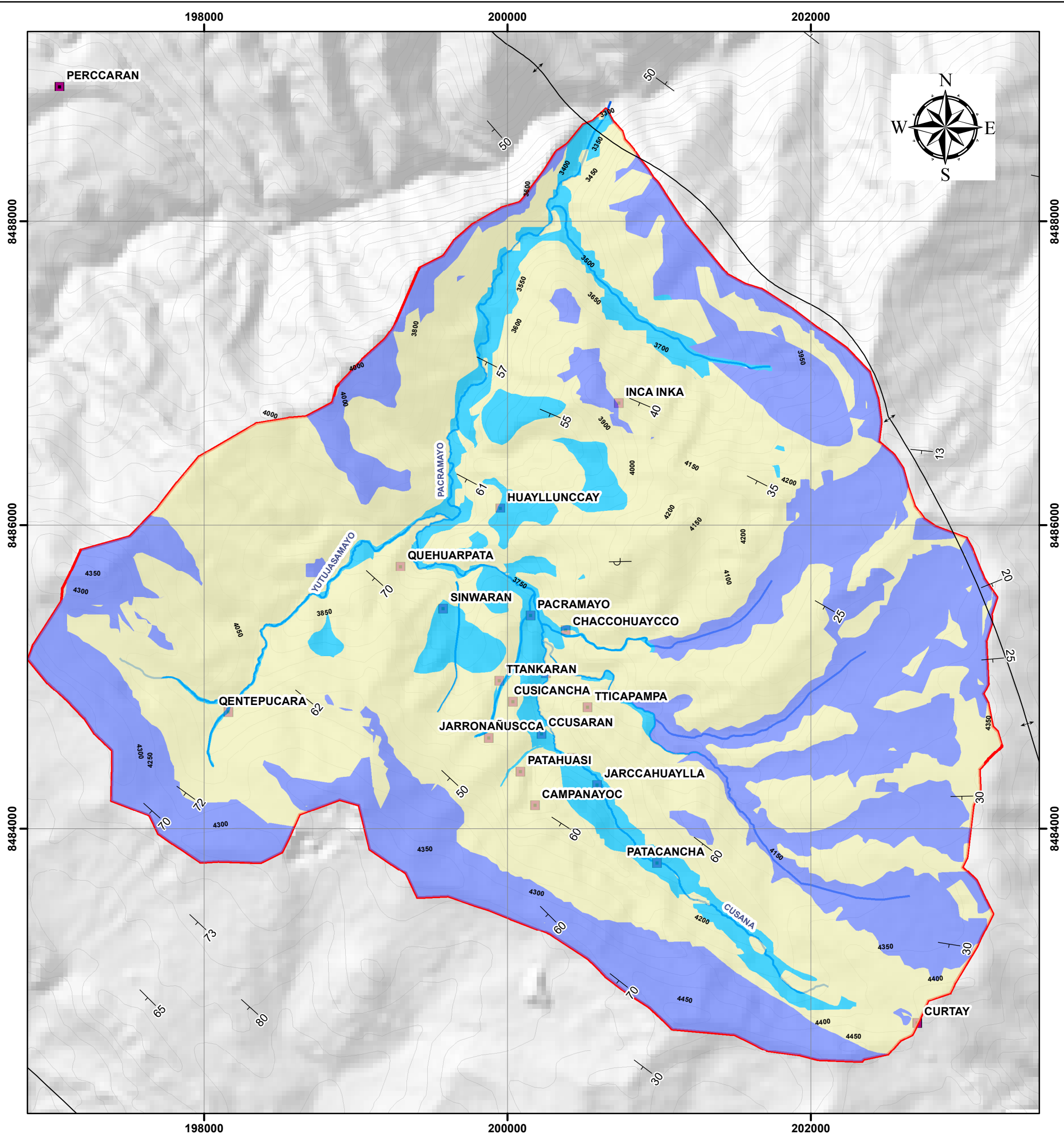


Nota: Los cauces de los ríos, los manantes son las zonas de descarga, los manantes se relacionan con fallas y fracturas, que permiten su recarga.

Figura 87 Zonas de recarga y descarga de la microcuenca



Fuente: Elaboración propia





SIMBOLOGIA

- Centros Poblados
- ⬭ Microcuenca Pacramayo
- ~ Rios
- ~ Curvas

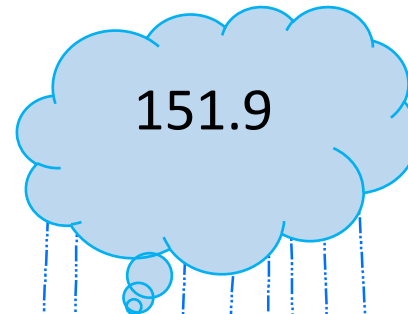
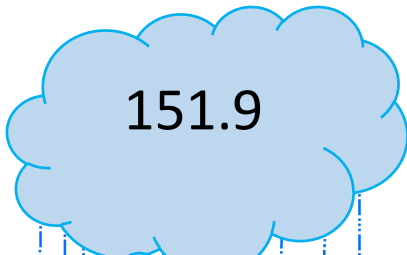
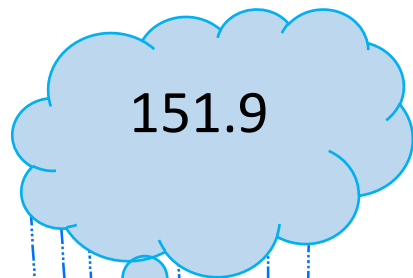
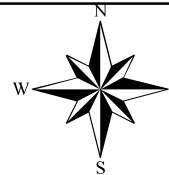
LEYENDA

AREAS DE RECARGA Y DESCARGA

- ZONAS DE RECARGA
- ZONAS DE DESCARGA
- ZONAS DE RECARGA

| | | | |
|---|---|----------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA | | |
| TEMA: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO | | |
| PLANO: | ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA | | |
| PRESENTADO POR: | Bach. Huaranca Flores, Norma | Bach. Quispe Aguilar, Iris Danae | LAM-08 |
| ASESOR | Mgt. Ronald Luis Lopez Zapana | | |
| SISTEMA | UBICACIÓN: | ESCALA: | |
| WGS 84 ZONA 19 L | Departamento Cusco Provincia de Quispicanchi Distrito de Lucre | 1:26,500 | LAMINA |

SECCION HIDROGEOLOGICO A_A'

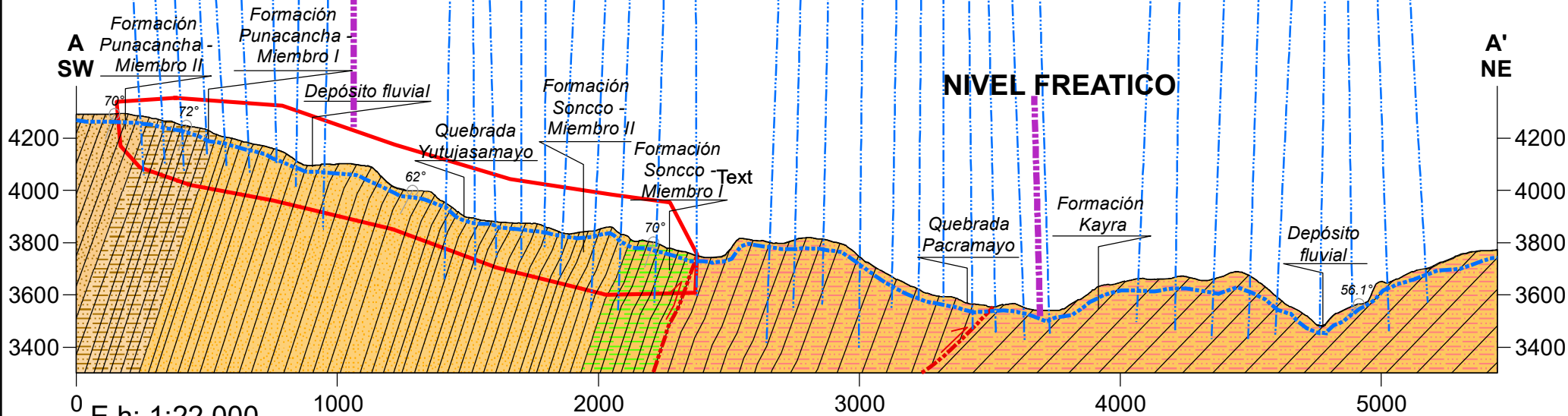


PRECIPITACION 607.9 mm/año

EVAPOTRANSPIRACION REAL 502.3 mm/año

ZONA DE RECARGA

NIVEL FREATICO



E h: 1:22,000
E.v: 1:200

LEYENDA

| SIMBOLOGIA | | Acuíferos porosos | | Acuíferos fisurados | |
|------------|------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| | Falla Normal | | Depósito aluvial | | Formación Punacancha - Miembro II |
| | direccion flecha | | Depósito coluvioaluvial | | Formación Punacancha - Miembro I |
| | Bz | | Depósito deluvial | | Formación Soncco - Miembro II |
| | NIVEL FREATICO | | Depósito eluvial | | Formación Soncco - Miembro I |
| | ZONA RECARGA | | Depósito fluvial | | Formación Kayra |
| | PRECIPITACION | | | | |

7.6. HIDROGEOQUÍMICA

7.6.1. GENERALIDADES

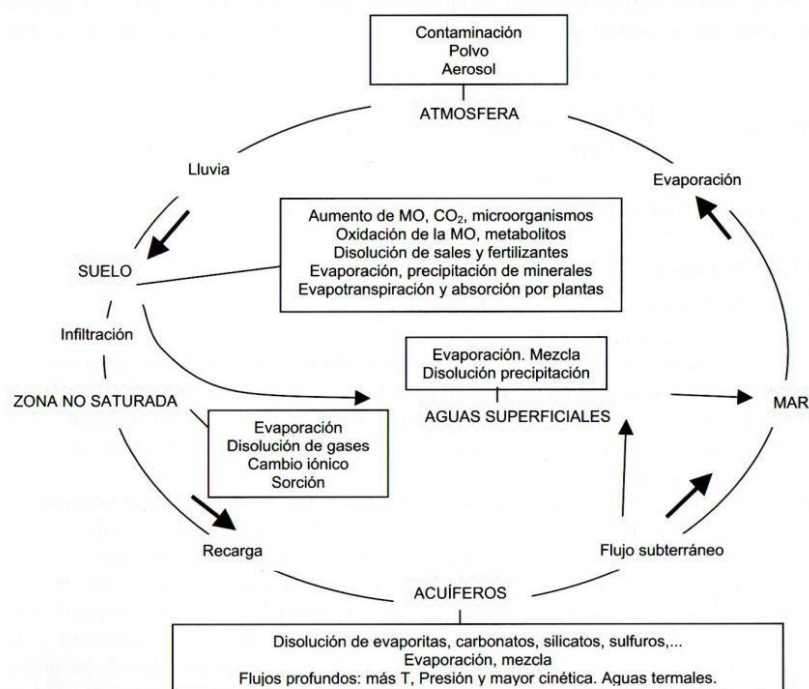
La hidrogeoquímica estudia el flujo de agua como vehículo de transporte de las características fisicoquímicas, químicas e isotópicas (Custodio, 1991), constituyéndose en una disciplina esencial para el conocimiento de los ambientes hidrogeológicos, dado que puede informar acerca los procesos naturales y/o las actividades antrópicas que influyen cualitativamente en un sistema hídrico.

Dicho alcance le otorga un rol relevante en la comprensión de los problemas de calidad y contaminación del agua, así como la definición de ciertas características hidrogeológicas (recarga, tiempos de residencia, sistemas de flujo, etc.).

El análisis hidrogeoquímico implica estudiar la composición del agua (hidroquímica). Para ello, utiliza en una amplia gama de herramientas que comprenden representaciones gráficas en diagramas y mapas. El resultado final de la interpretación hidrogeoquímica es un modelo conceptual que incluya una representación simplificada del sistema, donde las variaciones espaciales de la composición del agua se explican a través de un conjunto de procesos modificadores que actúan sobre una solución inicial (p.e: agua de lluvia).

7.6.1.1. LA HIDROQUÍMICA Y EL CICLO DEL AGUA

El agua obtiene su composición química durante su pasaje por los distintos subsistemas del ciclo del agua. Así, los cambios hidroquímicos son el producto de la interacción del agua con la atmósfera y con las distintas fases minerales presentes en la superficie y las zonas no saturadas y saturadas.



Ciclo hidro geoquímico (Escuder et al., 2009).

Una vez alcanzada la zona saturada, el movimiento del agua (hidrodinámica) difiere significativamente si tiene lugar a través de espacios intersticiales (medios porosos) o fracturas (medios fisurados). En el primer caso, las propiedades hidráulicas están controladas por la textura y estructura del material (forma y tamaño de los clastos, selección, empaquetamiento y grado y tipo de litificación). Además, los esquemas de circulación, especialmente en acuíferos libres, serán diferentes en áreas con relieve ondulado o llano. Esta influencia de la geomorfología, junto con la geología y el clima, sobre el sistema de flujo subterráneo constituye un “ambiente hidrogeológico”. (Tóth, 1963).

7.6.2. HIDROGEOQUIMICA DE LA MICROCUENCA PACRAMAYO

A menudo solo se considera la cantidad de agua disponible, pero, su calidad también es un factor muy importante ya que nos permite determinar si el agua es APTA o NO APTA para determinados usos. Las condiciones del acuífero, su litología, de la velocidad de

circulación, de la calidad del agua de infiltración, los factores hidrodinámicos y de las actividades humanas, influyen fuertemente en la calidad del agua subterránea.

7.6.2.1. MUESTREO Y TOMA DE DATOS DE CAMPO

En la microcuenca Pacramayo se tomaron 6 muestras de agua representativas de diferentes manantes, con el propósito de determinar sus parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos. Los parámetros físicos se obtuvieron in situ y las muestras obtenidas fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco para su análisis de los parámetros químicos y fisicoquímicos. En este ensayo de laboratorio se obtuvieron los resultados de dureza (CaCO₃), Sales solubles totales, carbonatos, sulfatos, bicarbonatos, cloruros, magnesio, calcio y hierro. Además, se evaluaron sus parámetros físicos como la conductividad eléctrica, pH.

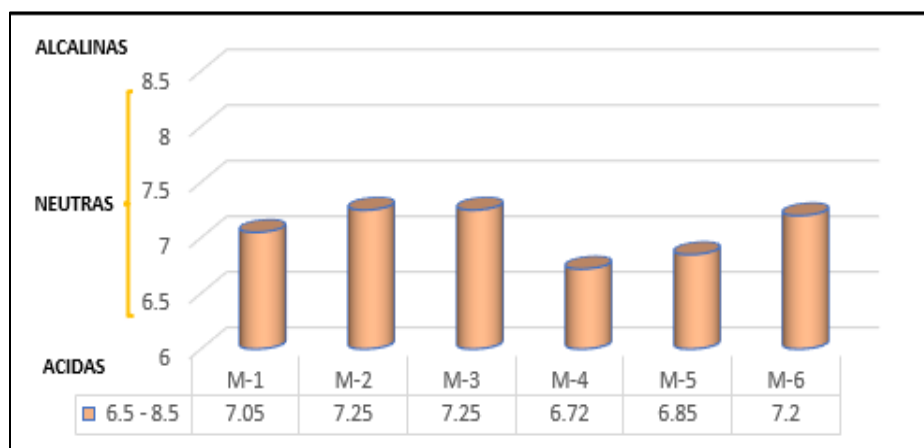
Tabla 35 Resultados de análisis químico de la muestra.

| MUESTRA | T° | PH | CE(Us/cm) | NTU mg/l | Fe(ppm) | Sales Solubles (ppm) | Cationes | | Aniones | | | Dureza CaCO ₃ |
|---------------|------|------|-----------|-------------|---------|----------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | | Ca (ppm) | Mg (ppm) | Cl- (ppm) | HCO ₃ (ppm) | SO ₄ (ppm) | |
| M - 01 | 13.5 | 7.05 | 113 | 0.6 | 0.058 | 169.2 | 1.0638 | 0.4161 | 0.223 | 1.6718 | 0.387 | 75.6 |
| M - 02 | 14.5 | 7.25 | 254 | 0.96 | 0.077 | 355.7 | 2.6595 | 0.7566 | 0.643 | 2.6748 | 1.703 | 175 |
| M - 03 | 14 | 7.15 | 203 | 1.04 | 0.064 | 330 | 2.0896 | 0.5592 | 0.525 | 2.5634 | 1.524 | 135 |
| M - 04 | 14.6 | 6.72 | 446 | 0.88 | 0.122 | 468.2 | 4.7111 | 1.2484 | 1.126 | 2.4519 | 2.426 | 308 |
| M - 05 | 15 | 6.85 | 432 | 0.72 | 0.129 | 462.6 | 2.6595 | 0.7566 | 0.643 | 2.3405 | 2.925 | 298 |
| M - 06 | 13.7 | 7.2 | 534 | 0.55 | 0.41 | 610.36 | 5.3569 | 1.7024 | 2.045 | 2.8978 | 4.088 | 363 |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 35 se puede observar el resumen de los datos obtenidos en laboratorio para las 6 muestras principales, teniendo los datos de PH, cationes, aniones, dureza que fueron comparados con los ECAs del agua y los parámetros de agua apta para el consumo humano.

Figura 88 Datos de PH de las muestras de campo



Fuente: Elaboración propia

Nota: Se observa que los datos de las 6 muestras se encuentran dentro del PH neutro cumpliendo con los estándares de calidad de agua.

7.6.3. EQUIVALENTE QUIMICO

Los resultados obtenidos del análisis químico de las muestras de agua realizadas en el laboratorio se representan en miligramo por litro. Con la finalidad de combinar en una unidad de masa determinada se convierten estos valores con el termino de equivalente litro, (meq/l).

Apaza D., 1990. (Ver tabla 34)

Tabla 36 Equivalentes químicos de cationes y aniones

| Cationes | Masa Atómica | Valencia | Equivalente |
|------------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| Ca ⁺⁺ | 40 | 2 | 20 |
| Mg ⁺⁺ | 24 | 2 | 12 |
| Aniones | Masa Atómica | Valencia | equivalente |
| Cl ⁻ | 35.5 | 1 | 35.5 |
| SO ₄ ⁻ | 96 | 2 | 48 |
| HCO ₃ | 61 | 1 | 61 |

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos y convertidos en meq/l, la suma de los cationes y aniones como se ve en tabla 34 no son iguales, en ninguna muestra. Esta diferencia señala que las muestras tengan un grado de error, que proceden en la recolección de muestras en campo o en el laboratorio.

Tabla 37 Equivalentes químicos de cationes y aniones

| Aforo | Cationes (Meq/l) | | Aniones (Meq/l) | | |
|--------|------------------|--------|-----------------|---------|--------|
| | Ca | Mg | Cl | HCO3 | SO4 |
| M - 01 | 1.0638 | 0.4194 | 0.2229 | 1.6718 | 0.3873 |
| total | | 1.4832 | | 2.282 | |
| M - 02 | 2.6595 | 1.2106 | 0.2595 | 2.6748 | 1.7031 |
| total | | 3.8701 | | 4.6374 | |
| M - 03 | 2.0896 | 0.5675 | 0.5247 | 2.5634 | 1.524 |
| total | | 2.6571 | | 4.6121 | |
| M - 04 | 4.7111 | 1.2484 | 1.1256 | 2.4519 | 2.4226 |
| total | | 5.9595 | | 6.00005 | |
| M - 05 | 4.5971 | 1.2106 | 0.5247 | 2.3405 | 2.9252 |
| total | | 5.8077 | | 5.7904 | |
| M - 06 | 5.3569 | 1.7024 | 2.0452 | 2.8978 | 4.087 |
| total | | 7.0593 | | 9.03 | |

Fuente: Elaboración Propia

7.6.4. COMPOSICION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Para la clasificación de los componentes hidroquímicos de las aguas subterráneas, se estableció los cationes y aniones dominantes, determinando el porcentaje de cada elemento en relación con la concentración en equivalentes, aplicándose a las 6 muestras, obteniendo como resultado dos grupos generales: 3 muestras bicarbonatada cálcica y 3 muestras cálcica mixta.

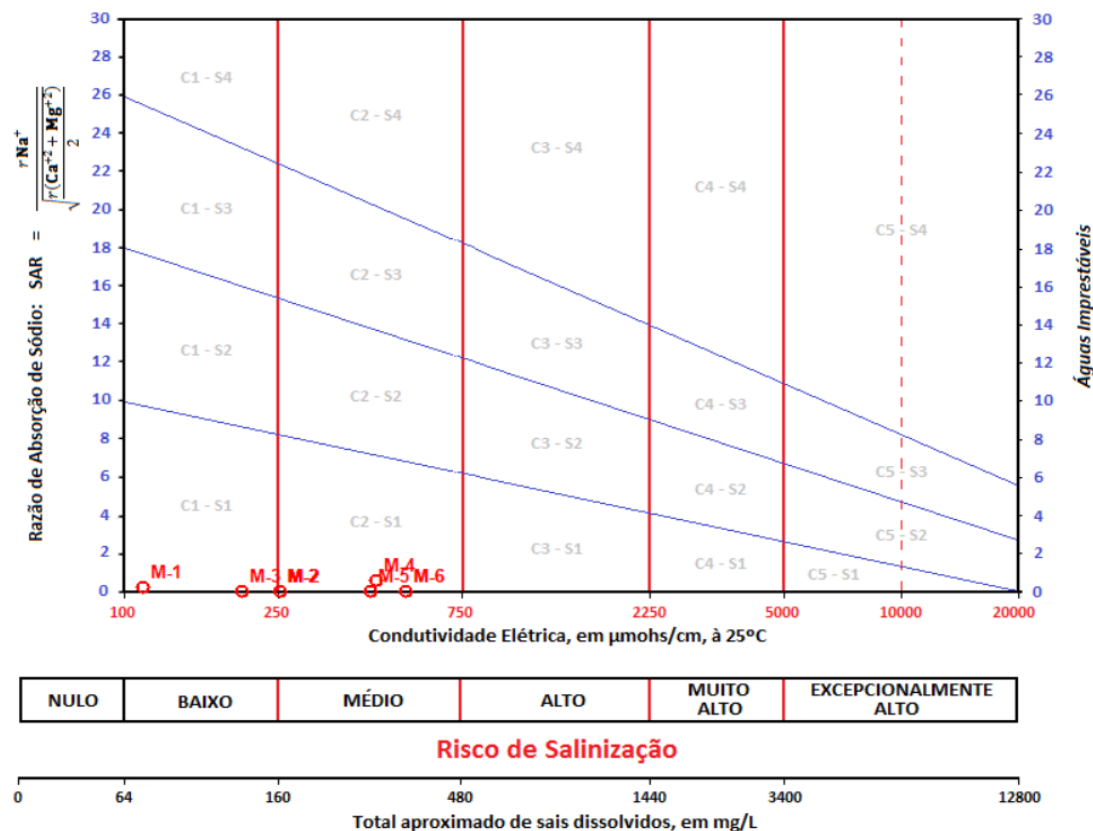
Tabla 38 Clasificación iónica de aforos y familias de aguas.

| Aforo | Cationes Dominantes | Aniones Dominantes | Familia de agua |
|--------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| M - 01 | Ca ²⁺ | SO ₄ >HCO ₃ | Bicarbonatada Cálcica |

| | | | |
|---------------|----------|----------|-----------------------|
| M - 02 | Ca2 | SO4>HCO3 | Bicarbonatada Cálcida |
| M - 03 | Ca2 | SO4>HCO3 | Bicarbonatada Cálcida |
| M - 04 | Ca>Mg>Na | SO4>Cl | Cálcida Mixta |
| M - 05 | Ca>Mg>Na | SO4>Cl | Cálcida Mixta |
| M - 06 | Ca>Mg>Na | SO4>Cl | Cálcida Mixta |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 89 Clasificación de agua ricos en sodio y salinización



Fuente: Elaboracion Propia

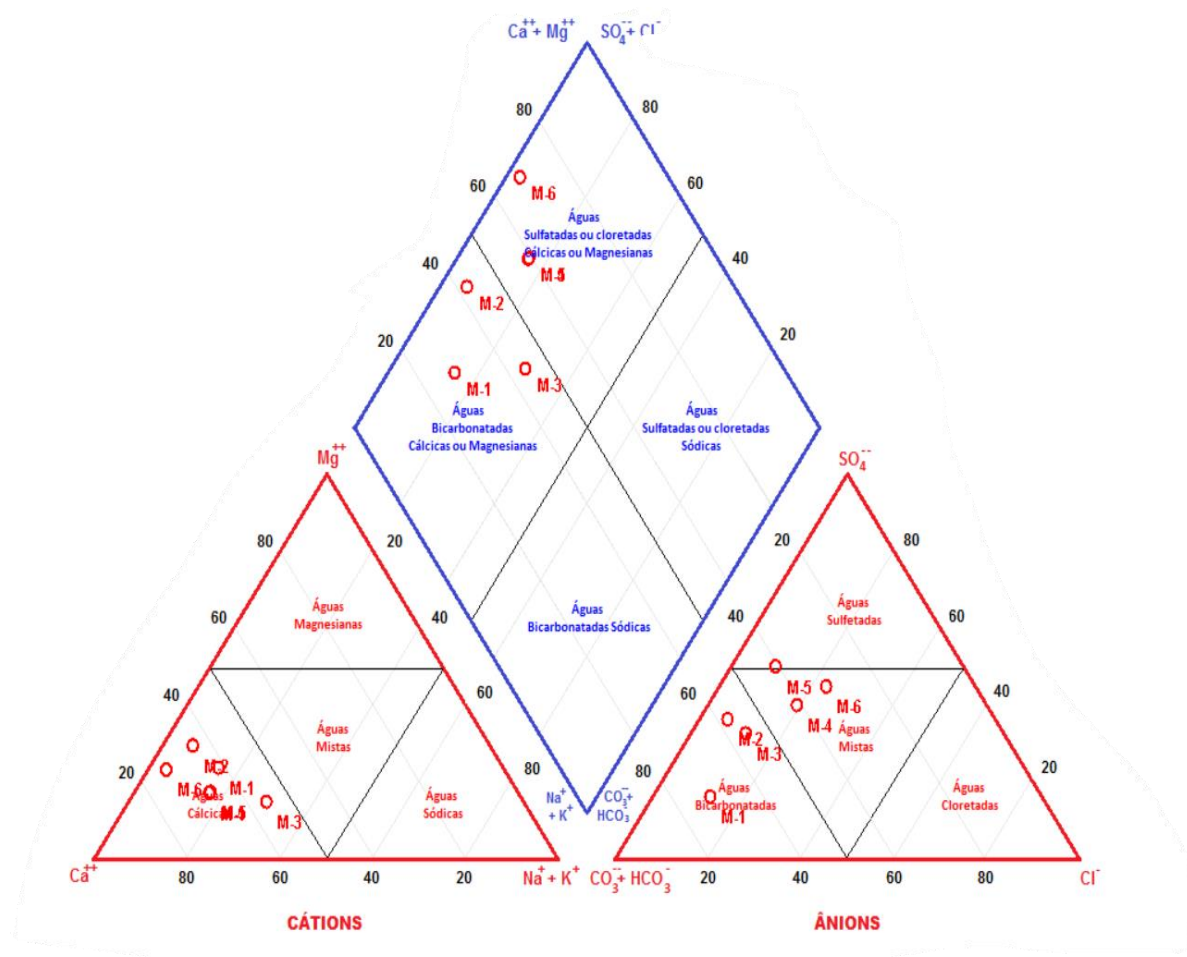
DIAGRAMA DE PIPER

Es una de las graficas mas utilizadas. En el se incluyen aniones y cationes en forma simultanea. Este grafico permite representar muchos analisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquimicamente similares quedan agrupadas en areas bien definidas (Custodio 1965).

Se compone de dos triangulos equilibrados, donde se observan los aniones y cationes de mayor importancia. El triangulo de cationes tiene tres vertices: Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{++} , K^{+} . Los SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- los vertices del triangulo se reflejan en un rombo central que simboliza la composicion del agua derivada de aniones y cationes.

Los porcentajes de iones proporcionados en meq/l se presentan en terminos porcentuales en relacion con la suma de aniones y cationes correspondientes. Cada triangulo contiene unicamente tres aniones y tres cationes. Cada vertice tiene la totalidad de un anion o cation. Observa en la figura 87.

Figura 90 DIAGRAMA DE PIPER

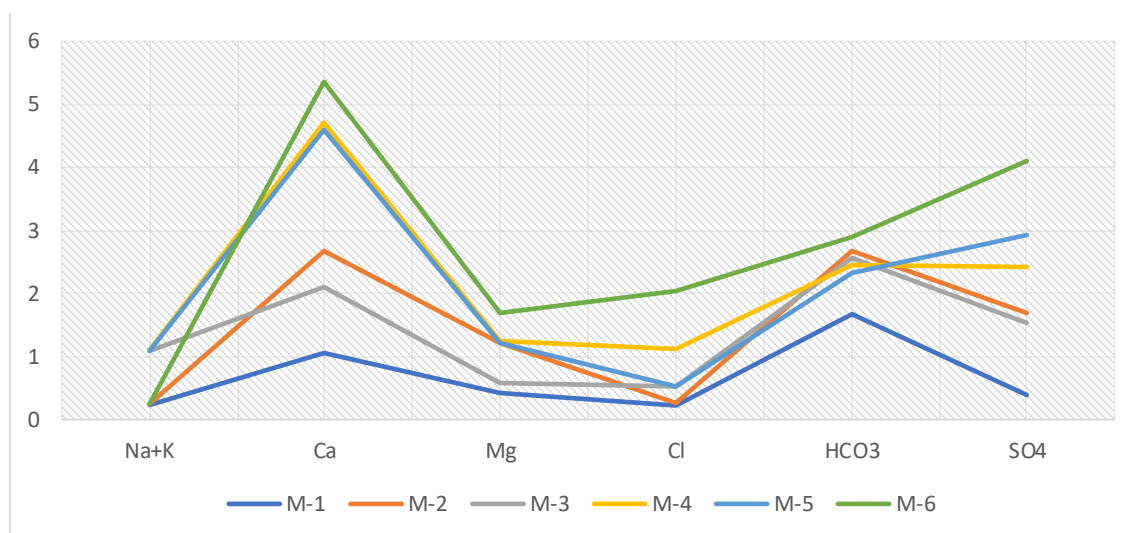


Fuente: Elaboracion Propia

Diagrama de shoeller- barkalof

Se presenta diversas semirrectas o columnas verticales paralelas, con la misma espaciacion y division en escala logaritmica, con el mismo modulo. Cada semirrecta tiene un anion o un cation vincuado, a excepcion de la primera columna que no posee ningun ion vinculado y su unidad de medida es meq/l, mientras que las demas utilizan mg/l como unidad de medida.

Figura 91 DIAGRAMA DE SHOELLER



Fuente: Elaboracion Propia

De los aforos se tiene los siguientes resultados:

AFORO M-01: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 75.58 ppm CaCO₃, con pH 7.05, con turbiedad NTU 0.60, conductividad eléctrica de 112.80 uS/cm, sabor y olor característico y es APTO para riego (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-01), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas bicarbonatada cálcica.

AFORO M-02: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 175.30 ppm CaCO₃, con pH 7.25, con turbiedad NTU 0.96, conductividad eléctrica 254.30 uS/cm, sabor y olor característico y es APTO para el consumo humano (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-02), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas bicarbonatada cálcica.

AFORO M-03: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 135.00 ppm CaCO₃, con pH 7.15, con turbiedad NTU 1.04, conductividad eléctrica de 203.00 uS/cm, sabor y olor característico y es APTO para el consumo humano (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-03), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas bicarbonatada cálcica.

AFORO M-04: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 307.74 ppm CaCO₃, con pH 6.72, con turbiedad NTU 0.88, conductividad eléctrica 446.00 uS/cm, sabor y olor característico y es APTO para riego (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-04), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas cálcica mixta.

AFORO M-05: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 298 ppm de CaCO₃, con pH 6.85, con turbiedad NTU 0.72, conductividad eléctrica 432.00 uS/cm, sabor y olor característico y es APTO para el consumo

humano (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-05), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas cálcica mixta.

AFORO M-06: En este manante el agua que predomina según los resultados de la tabla 19 tiene una dureza 363.12 ppm de CaCO_3 , con pH 7.20, con turbiedad NTU 0.55, conductividad eléctrica 534.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sabor y olor característico y es APTO para el consumo humano (Ver anexo, Informe de Análisis Químico de prueba de agua M-06), el agua predominante en esta zona es de las familias de aguas cálcica mixta.

Conclusión: Según los datos obtenidos de la comparación de cationes y aniones de las muestras de agua, se identificó 02 tipos de familias que predominan en la microcuenca Pacramayo, la familia dominante es bicarbonatada cálcica que provendrían de rocas sedimentarias, areniscas feldespáticas (Formación Kayra y Soncco). El otro se identificó en la Formación Punacancha y es cálcica mixta.

DISCUSION DE RESULTADOS

1. Del objetivo determinar las unidades geológicas presentes en la microcuenca Pacramayo de interés como acuífero, los resultados obtenidos en el levantamiento geológico detallado se identificaron las formaciones rocosas y sedimentarias de la Formación kayra, Soncco que pueden actuar como acuíferos, así como los depósitos cuaternarios (aluviales, fluviales, coluviales) que presentan una permeabilidad buena ($k= 1.52 \text{ E-}04 \text{ m/s}$), una porosidad primaria y secundaria, datos que al ser comparados con lo encontrado por Apaza, Huamán (2020) en su tesis titulada Estudio Hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la cuenca de Cachimayo, Dist. Santiago, Prov. Cusco, Reg. Cusco – 2019; quienes concluyeron que la formación Kayra presentan permeabilidades buenas y son de interés como acuíferos, con estos resultados se afirma que la Formación Kayra se encuentra fracturada y es de interés como acuífero al igual que los depósitos fluviales, aluviales y coluviales.
2. Del objetivo determinar las características hidrológicas de la microcuenca Pacramayo, los datos obtenidos son precipitación media mensual de 607.9 mm/año, la evapotranspiración real es de 440.74 mm/año, la escorrentía superficial es de 88.07 mm/año, la infiltración de 17.55 mm/año. Estos resultados al ser comparados con lo encontrado por Bandera, Barrientos (2019) en su tesis titulada Estudio Hidrogeológico para el diseño de métodos de recarga en acuíferos en la microcuenca de Unuhuayco, distrito Oropesa, provincia Quispicanchi – Cusco -2019; quienes concluyeron que la precipitación es 669.97 mm/año, temperatura media mensual es de 9.9 °C, teniendo una buena infiltración. Con estos resultados se confirma que la precipitación es mayor a la evapotranspiración en la microcuenca y que se tiene agua almacenada en los acuíferos, aunque no es mucha a comparación de otras cuencas.

3. Del objetivo determinar las características físicas y químicas de las unidades hidrogeológicas de la zona, los resultados obtenidos son que la Formación Kayra, los depósitos fluviales, aluviales, coluviales presentan una buena porosidad, su transmisividad es regular a buena y una buena permeabilidad y vienen a ser acuíferos fisurados y acuíferos porosos no consolidados; estos resultados al ser comparados con lo encontrado por Apaza, Huamán (2020) en su tesis titulada Estudio Hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la cuenca de Cachimayo, Dist. Santiago, Prov. Cusco, Reg. Cusco – 2019; quienes concluyeron que tienen acuífero fisurado Kayra, acuíferos porosos no consolidados que presentan una buena porosidad y permeabilidad; se afirma que se tiene acuífero fisurado y acuíferos porosos no consolidados en la microcuenca.
4. Del objetivo caracterizar los parámetros hidroquímicos de las aguas subterráneas de la microcuenca de Pacramayo, los resultados obtenidos son que los valores de pH varían entre 6.2 a 7.25, conductividad eléctrica que varía de 112.8 uS/cm a 534.00 uS/cm; la clasificación del tipo de agua según el diagrama Piper son aguas bicarbonatadas cálcicas provenientes de las rocas sedimentarias, estos resultados al ser comparados con lo encontrado por Peña (2023) en su tesis titulada Modelo conceptual hidrogeológico y análisis hidroquímico para la gestión de recursos hídricos en la subcuenca del río Chiquito, Honduras; quien concluyo que para que un agua sea apto para riego debe tener los siguientes parámetros que el pH varia de 5,5 a 9 y una conductividad eléctrica según su riesgo es medio; con estos resultados se afirma que el agua en la microcuenca es apto para riego y consumo humano; y son aguas bicabornatadas.
5. Del objetivo identificar las zonas de recarga y descarga de la zona los resultados son que las zonas llanas como las planicies eluviales son las áreas de recarga y la parte baja de las quebradas donde afloran los manantes y ríos son las zonas de descarga que tienen

pendientes moderadas a inclinadas, estos resultados al ser comparados con lo encontrado por Apaza, Huamán (2020) en su tesis titulada Estudio Hidrogeológico con fines de determinar el potencial hídrico en la cuenca de Cachimayo, Dist. Santiago, Prov. Cusco, Reg. Cusco – 2019; quienes concluyeron que las zonas de recarga están relacionadas con los cerros y quebradas, donde el flujo es casi superficial y se relaciona con los buzamientos de los estratos con dirección oeste; las zonas de descarga son principalmente los acuíferos (manantes, ríos), debido a la presencia de fallas geológicas, fracturas y por la saturación del suelo, con estos resultados se afirma que las zonas llanas de la parte alta de la microcuenca son las zonas de recarga y la parte baja de las quebradas donde se encuentran los manantes, ríos son las zonas de descarga.

CONCLUSIONES

1. Las unidades geológicas de la microcuenca están conformadas por la Formación Kayra, Formación Soncco miembros I y II, Formación Punacancha, los depósitos cuaternarios como aluviales, coluvioaluviales, eluviales, deluvial, fluvial.
2. La microcuenca Pacramayo tiene un área de 23.1 km² y un perímetro de 20.85 km. Hidrográficamente según a sistema de codificación de Pfasterer, la microcuenca de Pacramayo tiene una codificación 499494. La precipitación media mensual es de 607.9 mm/año. La temperatura media mensual de la microcuenca Pacramayo es de 9.2 °C, en tanto la temperatura máxima es de 16.4 °C y la temperatura mínima es de 1.4 °C. La evapotranspiración real es de 502.28 mm/año, Escorrentía superficial es de 88.07 mm/año e infiltración es de 17.55 mm/año por ende el balance hídrico entre los aportes y pérdidas de agua, en toda la microcuenca es de 174.17 mm, que es el valor de las aguas almacenadas en los acuíferos.
3. En las unidades hidrogeológicas se concluye lo siguiente:

Se identifico 02 tipos de acuíferos, el acuífero más importante es el acuífero fisurado sedimentario Kayra, que está compuesto de rocas areniscas de grano medio a grueso e intercalados con lutita, y presenta una porosidad primaria y secundaria, tiene una permeabilidad $2.48E+01$ m/día, el acuífero libre conformado por los depósitos cuaternarios fluvial, aluvial que está compuesto por pequeños clastos subangulosos en matriz limosa y arenosa, que presentan una porosidad primaria, tiene una permeabilidad que varía de $1.33 E+01$ a $9.06E+01$.

En la microcuenca Pacramayo se tiene 59 manantes inventariados que tienen un caudales regulares y bajos que son de régimen permanente o estacional.

4. Se identifico 02 tipos de familias que predominan en la microcuenca Pacramayo, la familia dominante es la bicarbonatada cálcica que provienen de las rocas sedimentarias,

areniscas cuarzosas, feldespáticas (Formación Kayra y Soncco), sobre todo en el flanco derecho de la microcuenca. El otro se identificó en la Formación Punacancha y es cálcica mixta, las muestras M-01 y M-04 son APTAS para riego y las muestras M-02, M-03, M-05y M-06 son aguas APTAS para el consumo humano.

5. En la microcuenca Pacramayo se identificó dos importantes zonas de recarga. La zona 01 está ubicado en los cerros Pukaqocha, Hatun Chinchay, Huchuy Chinchay. La zona 02 está ubicado en los depósitos eluviales ubicados en la parte alta de la microcuenca. Además, la recarga de los acuíferos se realiza principalmente a través de fracturas y la disposición de los estratos.

RECOMENDACIONES

1. Para la recarga natural de acuíferos realizar forestación con plantas nativas (queuña, chachacoma) en la cabecera de las quebradas que compone la microcuenca Pacramayo
2. Se recomienda realizar prospecciones geofísicas más al detalle en distintas zonas y aledañas a la microcuenca Pacramayo y emplear otros métodos para corroborar los cuerpos de agua existentes.
3. Realizar capacitaciones y sensibilizaciones en los temas de conservación y manejo de recurso hídrico a los comuneros del ámbito de estudio para una mejoría de la recarga natural de los acuíferos.
4. Implementar en la cabecera de la microcuenca Pacramayo las zanjas de infiltración así mejorar el caudal de los acuíferos.
5. Verificar a mediano y largo plazo los resultados de las acciones de recarga de los acuíferos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Auge, M. (2008). Métodos Geoeléctricos para la prospección de agua subterránea. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Benavente Escobar, C., Delgado Madera, F., Taipe Maquerhua, E., Audin, L., & Pari Pinto, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco (Boletín No. 55; C-Geodinámica e Ingeniería Geológica, p. 245). INGEMMET.

Carlotto Caillaux, V., Cardenas Roque, J., & Carlier, G. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET. Cusco, Perú: INGEMMET.

Custodio, E., & Llamas, M. (1976). Hidrología Subterránea. Barcelona, España: Omega.

Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. (2011). Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA. Lima: J.B. GRAFIC E.I.R.L.

DR. Eduardo Eleuterio Marino, DR. Rodolfo Fernando García, (2018). APLICACIONES AMBIENTALES DE LA HIDROQUIMICA.

<https://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>

Evaluación geológica del deslizamiento de Supayhuayco – Cusco, realizado por el INGEMMET.

FCIHS Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Hidrogeología

Fluguer Peña Laureano, Boris Santos Romero (2018). ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO.
file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/A6800-

Estudio_hidrogeologico_perimetros...galeria_Pillao_Matao-Cusco%20(3).pdf

Fossen, H. (2016). Geología estructural (Segunda).

Gasulla Forner, M. (1999) OBTENCION DE IMÁGENES DE LA DISTRIBUCIÓN DE IMPEDANCIA DE ELÉCTRICA EEN EL SUBSUELO. APLICACIÓN A LA DETECCION DE OBJETIVOS LOCALES. Catalunya: Universidad Política de Catalunya.

Giai, S. B. (2008). Introduccion a la hidrología (Primera). Univ. Nacional de La Pampa, EdUNLPam.

Gonzales de Vallejo, I. I. (2002). Ingeniería Geología. Pearson education.

Gutierrez L., J. A. (2004). Guía teórica de geomorfología.

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramon, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). Morfología de una cuenca (p. 12). Escuela técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

INGEMMET, (2013). Neotectonica y peligro sismico en el Cusco. Lima: INGEMMET.

López Geta, J. A., Fornes Azcoiti, J. M., Ramos González, G., & Villarroya Gil, F. (2009). Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España (u.a.).

Martinez Alfaro, P. E., Castaño Castaño, S., & Martinez Santos, P. (2006). Fundamentos de Hidrogeología. Madrid, España: Ediciones Mundi prensa.

Medida de la resistividad eléctrica del subsuelo.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6316/05capitulo2.PDF?sequence=5&isAllowed=y>

Normas legales, (2017) <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011 a). Aguas subterráneas, acuíferos (Primera). Sociedad Geográfica de Lima.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011b). Balance hídrico superficial (1ra ed.). Sociedad Geográfica de Lima
- Orellana Silva, E. (1982). PROSPECCION GEOELECTRICA EN CORRIENTE CONTINUA Parte I. Mexico.
- Perez, J. (1979). Fundamentos del ciclo hidrológico. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, (2010).
<https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- Taipe Maquerhua, E. (2016). MONITOREO GEODESICO DE FALLAS ACTIVAS EN LA REGION CUSCO. Lima: INGEMMET.
- Villón Bejar, M. (2002). Hidrología. Lima: Editorial Villón.
- Villon Bejar, M. (2006). Hidrología estadística
- Werner, J. (1996). Introducción a la hidrogeología. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nueva León.
- Yoshinaga Pereira, S., & Albuquerque Rocha, G. (2000). II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. Campinas, Brasil: Oficina de UNESCO en Montevideo.

ANEXOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 01 EN FM. KAYRA

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicación: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huaranca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202606.412 | 8483848.63 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-01 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diámetro de tubería | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Área de tubería | 20.27 | cm ² | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freático | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-01 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 25.50 | 74.50 | 3.00E-02 |
| | | 3.00 | 52.50 | 47.50 | 2.53E-02 |
| | | 5.00 | 71.50 | 28.50 | 2.56E-02 |
| | | 7.00 | 90.50 | 9.50 | 3.43E-02 |
| | | 10.00 | 95.50 | 4.50 | 3.16E-02 |
| | | 15.00 | 97.50 | 2.50 | 2.51E-02 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | 1.72E-01 | |
| | | | | PERMEABILIDAD Km = (cm/s) | 2.51E-02 |
| | | | | Perm Prom = | 2.87E-02 |

FORMACION KAYRA



2.48E+01 m/día

ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 02 EN DEPOSITO ELUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202511.242 | 8484210.92 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-02 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | Km = $R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | Km = $R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-02 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 14.00 | 86.00 | 1.54E-02 |
| | | 3.00 | 28.50 | 71.50 | 1.14E-02 |
| | | 5.00 | 38.40 | 61.60 | 9.88E-03 |
| | | 7.00 | 44.50 | 55.50 | 8.58E-03 |
| | | 10.00 | 49.00 | 51.00 | 6.87E-03 |
| | | 15.00 | 70.20 | 29.80 | 8.23E-03 |
| | | 20.00 | 92.30 | 7.70 | 1.31E-02 |
| | | | | 7.34E-02 | |

| | | |
|----------------------|-------------|-----------------|
| PERMEABILIDAD | Km = (cm/s) | 6.87E-03 |
| Perm Prom = | | 1.05E-02 |

9.06E+00 m/dia

DEPOSITO ELUVIAL



19L 202501 8484120
Altitud: 4300.9m
Velocidad: 0.0km/h

ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 03 EN Fm. KAYRA

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicación: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202438.588 | 8484855.84 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-03 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | | | m.s.n.m | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | Km = $R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | Km = $R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm [^] | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-01 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | | | |
| | | 25.00 | | | |
| | | 30.00 | | | |
| | | 35.00 | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| PERMEABILIDAD | | | Km = (cm/s) | 1.28E-02 | |
| | | | Perm Prom = | 1.49E-02 | |

1.28E+01 m/día

FORMACION KAYRA



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 04 EN DEPOSITO ELUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202431.973 | 8485129.2 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-04 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | Km = R2/2L(t2-t1) x ln(L/R)ln (h1/h2) | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | Km = R2/2L(t2-t1) x ln(L/R)ln (h1/h2) | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | bi (cm) | h2 = h1 - bi | cm/s |
| EP-04 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |
| | | 25.00 | | | |
| | | 30.00 | | | |
| | | 35.00 | | | |
| | | | | | |

| | | |
|----------------------|-------------|----------------|
| PERMEABILIDAD | Km = (cm/s) | 1.28E-02 |
| Perm Prom = | 1.54E-02 | 1.33E+01 m/día |

DEPOSITO ELUVIAL



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 05 EN DEPOSITO ELUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------|---------------------------|--|-----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito : | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huaranca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | | Coordenadas: | 202543.5966 | 8485445.354 |
| Zona: | Pacramayo | | Sondaje n° | EP-05 | Nivel Superior |
| Cota(ref.) | | | m.s.n.m | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | | Radio del tubo: | 2.54 |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-05 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 8.50 | 91.50 | 9.06E-03 |
| | | 3.00 | 19.80 | 80.20 | 7.50E-03 |
| | | 5.00 | 29.50 | 70.50 | 7.13E-03 |
| | | 7.00 | 46.00 | 54.00 | 8.98E-03 |
| | | 10.00 | 56.00 | 44.00 | 8.37E-03 |
| | | 15.00 | 66.00 | 34.00 | 7.34E-03 |
| | | 20.00 | 71.00 | 29.00 | 6.31E-03 |
| | | 25.00 | | 100.00 | 0.00E+00 |
| | | | 5.47E-02 | | |
| | | | PERMEABILIDAD | $Km = (cm/s)$ | 6.31E-03 |
| | | | Perm Prom = | 7.81E-03 | 6.75E+00 m/día |

DEPOSITO ELUVIAL



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 06 EN DEPOSITO ELUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|-----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicación: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202853.82 | 8483531.15 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-06 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-06 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 25.00 | 75.00 | 2.93E-02 |
| | | 3.00 | 27.00 | 73.00 | 1.07E-02 |
| | | 5.00 | 30.50 | 69.50 | 7.42E-03 |
| | | 7.00 | 35.50 | 64.50 | 6.39E-03 |
| | | 10.00 | 38.40 | 61.60 | 4.94E-03 |
| | | 15.00 | 42.30 | 57.70 | 3.74E-03 |
| | | 20.00 | 47.50 | 52.50 | 3.29E-03 |
| | | | | | |
| PERMEABILIDAD | | $Km = (cm/s)$ | | 3.29E-03 | |
| | | Perm Prom = | | 9.40E-03 | |
| | | | | | 8.12E+00 m/día |

DEPOSITO ELUVIAL



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 07 EN DEPOSITO COLUVIOALUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---------------------------|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 200136.838 | 8484273.05 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-07 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | | | m.s.n.m | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | | Radio del tubo: | 2.54 |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm [^] | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-07 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |
| | | | | | |
| PERMEABILIDAD | | | | Km = (cm/s) | 1.28E-02 |
| DEPOSITO COLUVIOALUVIAL | | | | Perm Prom = | 1.33E+01 m/día |



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 08 EN DEPOSITO COLUVIOALUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|--|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 200021.406 | 8484375.78 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-08 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | $Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | $Km = R2/2L(t2-t1) \times \ln(L/R) \ln(h1/h2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm [^] | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-08 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |
| | | | | 1.08E-01 | |
| PERMEABILIDAD | | Km = (cm/s) | 1.28E-02 | | |
| | | Perm Prom = | 1.54E-02 | | 1.33E+01 m/día |

DEPOSITO COLUVIOALUVIAL



"ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO"

ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 09 EN Fm. SONCCO- MIEMBRO-I

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---------------------------|--|----------------------|
| Proyecto:+B1:G29 | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huaranca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 199933.29 | 8484682.18 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-09 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | | | m.s.n.m | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | | Radio del tubo: | 2.54 |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-09 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |

| | | |
|----------------------|-------------|-----------------|
| PERMEABILIDAD | Km = (cm/s) | 1.28E-02 |
| Perm Prom = | | 1.54E-02 |

1.33E+01 m/día

Fm. SONCCO- MIEMBRO-I



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 10 EN DEPOSITO ALUVIAL

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|-----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202009.47 | 8483017.51 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-10 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |
| | | | | | |
| | | | | 1.08E-01 | |
| PERMEABILIDAD | | | | $Km = (cm/s)$ | 1.28E-02 |
| DEPOSITO ALUVIAL | | | | Perm Prom = | 1.80E-02 |
| | | | | | 1.55E+01 m/día |



ENSAYO DE PERMEABILIDAD N° 11 EN Fm. SONCCO- MIEMBRO-I

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------|---|--|----------------------|
| Proyecto: | ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO. | | | | |
| Ubicacion: | Distrito: | Lucre | Provincia: | Quispicanchi | |
| Realizado por | Bachs. Iris Quispe Aguilar y Norma Huarancca Flores | | | | |
| Fecha: | 21/09/2023 | Coordenadas: | 202128.03 | 8482909.26 | |
| Zona: | Pacramayo | Sondaje n° | EP-11 | Nivel Superior | |
| Cota(ref.) | m.s.n.m | | | | |
| Profundidad de ensayo | 0.30 | m | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Diametro de tuberia | 5.08 | cm | Radio del tubo: | 2.54 | |
| Area de tuberia | 20.27 | cm ² | $Km = R^2/2L(t_2-t_1) \times \ln(L/R) \ln(h_1/h_2)$ | | |
| Altura de nivel freatico | 0.00 | cm | | | |
| Altura de carga inicial (h1) | 100.00 | cm [^] | | | |
| Distancia que recorre (L) | 1.00 | cm | | | |
| Ubicación: | Prof. | Tiempo | Descenso | Altura de carga | Permeabilidad |
| | (m) | (min) | b_i (cm) | h₂ = h₁ - b_i | cm/s |
| EP-11 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | |
| | | 1.00 | 16.00 | 84.00 | 1.78E-02 |
| | | 3.00 | 35.00 | 65.00 | 1.46E-02 |
| | | 5.00 | 48.00 | 52.00 | 1.33E-02 |
| | | 7.00 | 60.00 | 40.00 | 1.34E-02 |
| | | 10.00 | 71.50 | 28.50 | 1.28E-02 |
| | | 15.00 | 92.02 | 7.98 | 1.72E-02 |
| | | 20.00 | 97.50 | 2.50 | 1.88E-02 |
| | | | | 1.08E-01 | |
| | | | PERMEABILIDAD | $Km = (cm/s)$ | 1.28E-02 |
| Fm. SONCCO- MIEMBRO-I | | | Perm Prom = | 1.54E-02 | 1.33E+01 m/día |



ANEXOS N° 02 PANEL FOTOGRAFICO



Se observa el manante N° 01 y 02 son permanentes



Se observa el manante N° 03 y 04 de la microcuenca



Se observa el manante N° 05 y 06 del sector noreste de la microcuenca

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO”



Se observa el manante N° 07 y 08 son permanentes



Se observa el manante N° 9 y 10 del sector de Colcaiqui



Se observa el manante N° 12 y 13 son permanentes en la parte norte de Quehuarpata, es para consumo humano.

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO”



Se observa el manante N° 15 y 16 que son usados para riego y ganadería.



Se observa el manante N° 17 es permanente

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO”



Se observa la medida del caudal del rio aportante al rio Pacramayo



Se observa la medida del rumbo y buzamiento de las areniscas de la Formacion Soncco II.



Se observa el contacto del depósito aluvial con la formación Kayra.

“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE PROVINCIA DE QUISPICANCHI DEPARTAMENTO DEL CUSCO”



Se observan las zonas de recarga de la parte alta de la microcuenca.



Se observan las zonas de descarga en forma de manantes de las zonas de Quehuarpata y Cusicancha.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

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



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

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0036-24-LAQ

SOOLICITANTE : NORMA HUARANCCA FLORES
IRIS DANAE QUISPE AGUILAR

PROYECTO : ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO.

MUESTRA : AGUA
M-2 MANANTE PARTE ALTA N 8483463.91 E 201372.122
M-3 , MANANTE LIBRE RIO GUSANA, N 8483479 E 201345
M-5 MANANTE 2 PACRAMAYO N 8484762 E 20027
M-6 MANANTE QUEHUARPATA N 8485226 E 199508

DISTRITO : LUCRE
PROVINCIA : QUISPICANCHI
REGION : CUSCO
FECHA : C/30/01/2024

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

| | M-2 | M-3 | M-5 | M-6 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Turbiedad NTU | 0,96 | 1,04 | 0,72 | 0,55 |
| pH | 7,25 | 7,15 | 6,85 | 7,20 |
| C.E. uS/cm | 254,30 | 203,00 | 432,00 | 534,00 |
| Dureza ppm CaCO ₃ | 175,30 | 135,00 | 298,00 | 363,12 |
| Calcio ppm | 53,20 | 41,80 | 91,96 | 107,16 |
| Magnesio ppm | 9,20 | 6,90 | 14,72 | 20,70 |
| Cloruros ppm | 22,80 | 18,60 | 36,20 | 72,50 |
| Sulfatos ppm | 81,80 | 73,20 | 140,50 | 196,30 |
| Bicarbonatos ppm | 163,20 | 156,40 | 142,80 | 176,80 |
| Carbonatos ppm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hierro ppm | 0,077 | 0,064 | 0,129 | 0,141 |
| Sales solubles totales ppm | 355,70 | 330,00 | 462,60 | 610,36 |

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Agua apto para consumo Humano.

Cusco, 06 de Enero 2024

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Unidad de Prestación de Servicios de Análisis Químico
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
Melquiades Herrera Arriola
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

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



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

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0036-24-LAQ

SOOLICITANTE : NORMA HUARANCCA FLORES
IRIS DANA E QUISPE AGUILAR

PROYECTO : ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES HIDRICAS DE LA MICROCUENCA DE PACRAMAYO DEL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO CUSCO.

MUESTRA : AGUA
M-1 RIO GUSANA PARTE ALTA N 8483464.219 E 201392.226
M-4, QUEBRADAS 3 y 4 N 8484537 E 200243

DISTRITO : LUCRE
PROVINCIA : QUISPICANCHI
REGION : CUSCO
FECHA : C/30/01/2024

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

| | M-1 | M-4 |
|------------------------------|--------|--------|
| Turbiedad NTU | 0,60 | 0,88 |
| pH | 7,05 | 6,72 |
| C.E. uS/cm | 112,80 | 446,00 |
| Dureza ppm CaCO ₃ | 75,58 | 307,74 |
| Calcio ppm | 21,28 | 94,24 |
| Magnesio ppm | 5,06 | 15,18 |
| Sodio ppm | 5,10 | 24,10 |
| Potasio ppm | 0,90 | 2,08 |
| Cloruros ppm | 7,90 | 39,90 |
| Sulfatos ppm | 18,60 | 116,50 |
| Bicarbonatos ppm | 102,00 | 149,60 |
| Carbonatos ppm | 0 | 0 |
| Hierro ppm | 0,058 | 0,122 |
| Boro ppm | 0,014 | 0,036 |
| Sales solubles totales ppm | 169,20 | 468,20 |

ANALISIS DEL AGUA, JEAN RODIER, 9 EDICION

Agua apto para riego.

Cusco, 06 de Enero 2024



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

Melquiades Herrera Arvilica
RESPONSABLE DEL LABORATORIO
DE ANÁLISIS QUÍMICO