Informe Técnico Nº A6800

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO

Región Cusco
Distrito San Jerónimo
Comunidad Pillao Matao

Por:

Fluquer Peña Laureano

Boris Santos Romero

ABRIL
2018

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CENTRO GVAMAYI POMA DE AYALA

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO, SAN JERÓNIMO – CUSCO

CONTENIDO

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

I.RESUMEN 7

II.ANTECEDENTES 8

III.INTRODUCCIÓN 9

3.1.Objetivos 10

3.2.Objetivos específicos 10

3.3.Actividades 10

3.4.Equipo de trabajo 10

IV.UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD 11

V.HIDROLOGÍA 13

5.1.Precipitación 13

5.2.Temperatura 13

5.3.Humedad relativa 13

5.4.Hidrografía del área de estudio 15

VI.CONTEXTO GEOLÓGICO 17

6.1.Geología local 17

6.1.1.Grupo San Jerónimo 17

6.1.1.1. Formación Kayra 17

6.1.1.2. Formación Soncco 18

6.1.1.3. Formación Punacancha 18

6.1.1.4. Formación San Sebastián 18

6.1.1.5. Depósitos Cuaternarios 18

6.2.Geología estructural 20

VII.GEOMORFOLOGÍA 22

7.1.Geomorfología regional 22

7.2.Geomorfología local 22

7.2.1.Laderas de las montañas sur del Cusco 22

7.2.2.Quebradas de Pillao Matao 22

VIII. EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA 24

8.1. Línea base hidrogeológica……24
8.1.1. Identificación de fuentes de aguas subterráneas 24
8.1.2. Caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas 26
8.1.2.1. Mapa hidrogeológico de la microcuenca Pillao Matao 26
8.1.2.2. Unidades hidrogeológicas 26
a) Acuíferos 26
a.1) Acuíferos porosos no consolidados……27
a.2) Acuíferos fisurados sedimentarios……29
a.2.1.) Acuífero fisurado sedimentario Kayra……29
a.2.1.) Acuífero fisurado sedimentario Soncco……29
b) Acuitardos 32
8.2. Analisís de rocas……35
8.2.1. Interpretaciones……36
8.3. Analisis Químico e isotópico de las aguas subterráneas……38
8.3.1. Estaciones de muestreo de aguas subterráneas……38
8.3.2. Selección de la serie analítica……38
8.3.3. Análisis de resultados……39
8.3.4. Parámetros físico-químicos ……39
8.3.4.1. pH……39
8.3.4.2. Temperatura……39
8.3.4.3. Conductividad eléctrica……39
8.3.5. Facies hidroquímicas ……40
8.3.5.1. Diagramas de Stiff……40
8.3.5.2. Diagramas de Piper y evolucion de flujos de Mifflin……41
8.3.5.3. Interpretaciones ……41
8.3.6. Evolución química de las aguas……48
8.3.7. Analisis Isotópico……49
8.3.8. Interpretaciones……55
8.4. Determinación de parametros hidrogeológicos ……60
8.4.1. Permebilidad……61
8.4.2 Interpretaciones……61
8.5. Determinación de zonas con mayor contenido de fracturas……61
8.5.1. Acuífero Kayra……61
8.5.2. Acuífero Soncco……62
8.6. Modelo hidrogeológico conceptual……64
IX. CRITERIOS USADOS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS PERÍMETROS DE PROTECCIÓN……66
9.1. Vulnerabilidad de acuíferos……66

9.1.1. Vulnerabilidad extrema……..…69
9.1.1. Vulnerabilidad alta……...70
9.1.1. Vulnerabilidad moderada……70
9.1.1. Vulnerabilidad baja……..70
9.1.1. Vulnerabilidad despresiable……..…70
9.2. Delimitación de los perímetros de protección de la zona de recarga de la galería filtrante Pillao Matao. ……..……..……..…72
9.2.1. Perímetros de protección de la zona de recarga ……..72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……..76
BIBLIOGRAFIA ……76
ANEXOS……...78

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO. SAN JERÓNIMO – CUSCO

RELACION DE MAPAS E ILUSTRACIONES

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Mapa de ubicación
Figura 5.1. Mapa de isoyetas
Figura 5.2. Mapa hidrográfico
Figura 6.1. Localización de la columna estratigráfica de la quebrada Pillao Matao
Figura 6.2. Mapa geológico
Figura 7.1. Mapa geomorfológico
Figura 8.1. Mapa de inventario de fuentes
Figura 8.2. Mapa de distribución de acuíferos porosos no consolidados
Figura 8.3. Mapa de distribución de acuíferos fisurados sedimentarios
Figura 8.4. Mapa de distribución de acuitardos
Figura 8.5. Mapa hidrogeológico
Figura 8.6. Mapa hidroquímico (época de avenidas)
Figura 8.7. Mapa hidroquímico (época de estiaje)
Figura 8.8. Sistemas de flujos para la evolución química de las aguas subterráneas
Figura 8.9. Sistema de flujos subterráneos en la microcuenca Pillao Matao
Figura 8.10. Localización de los puntos de captación de aguas subterráneas (6 galerías, 1 pantalla de regulación y una muestra de aguas de lluvia) donde se colectaron las muestras trabajadas en el presente estudio.
Figura 8.11. Mapa de ubicación de ensayos de infiltración
Figura 8.12. Modelo hidrogeológico conceptual del funcionamiento de la galería filtrante de Pillao Matao.
Figura 9.1. Mapa de vulnerabilidad de acuíferos
Figura 9.2. Mapa de ubicación de ensayos de infiltración

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 8.1. Diagrama de Piper y Scatter para época de avenidas
Gráfico 8.2. Diagrama de Piper y Scatter para época de estiaje
Gráfico 8.3. Comparación entre datos de precipitación y valores isotópicos de las lluvias
Gráfico 8.4. Línea meteorológica global y señales isotópicas de las lluvias modeladas y las aguas de las captaciones colectadas para el presente estudio. Los colores determinan las variaciones entre verano e invierno correspondientes.
Gráfico 8.5. Variaciones estacionales en la señal isotópica de las aguas provenientes de las captaciones trabajadas en el presente estudio.

Gráfico 8.6. Esquema de ensayos de infiltración a carga constante y a carga variable respectivamente
Gráfico 8.7. Valores de permeabilidad según ensayos de infiltración realizados a lo largo de la microcuenca Pillao Matao
Gráfico 8.8. Columna estratigráfica de la microcuenca Pillao Matao
Gráfico 9.1. Patrón de parámetros y valores de ponderación, utilizados para la elaboración de mapa de vulnerabilidad, según el índice GOD (Foster, 1987)

LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.1. Valores de precipitación para la microcuenca de Pillao Matao.
Cuadro 8.1. Resultados de la muestra de roca 49949-46
Cuadro 8.2. Resultados de la muestra de roca 49949-48
Cuadro 8.3. Resultados de la muestra de roca 49949-49
Cuadro 8.4. Resultados de la muestra de roca 49949-51
Cuadro 8.5 Código de muestreo y señal isotópica de las muestras colectadas en el presente estudio
Cuadro 8.6. Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)
Cuadro 8.7. Permeabilidad de las formaciones geológicas utilizando el método del permeámetro de nivel constante
Cuadro 9.1. Valores de vulnerabilidad de acuíferos en la microcuenca Pillao Matao
Cuadro 9.2. Leyenda hidrogeológica establecida para el mapa de vulnerabilidad de acuíferos

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1. Parte alta de la microcuenca Pillao Matao, nótese las rocas sedimentarias de la Formación Kayra
Fotografía 5.2. Afloramiento de areniscas cuarzo-feldespáticas altamente fracturadas en las inmediaciones de la galería filtrante Pillao Matao
Fotografía 8.1. Parte baja de la quebrada Pillao Matao, el acuífero sedimentario San Sebastián se ubica en el eje de las cárcavas
Fotografía 8.2. Parte alta de la quebrada Pillao Matao, donde aflora el acuífero fisurado sedimentario Kayra y Soncco
Fotografía 8.3. Afloramiento de areniscas cuarzo feldespáticas de la Formación Kayra, en las inmediaciones de la galería filtrante de Pillao Matao
Fotografía 8.4. Afloramiento de areniscas intercaladas con lutitas y limonitas rojizas, se ubican en el flanco oeste de la quebrada Pillao Matao, nótese su aspecto impermeable
Fotografía 8.5. Medida de parámetros físico-químicos en el interior de la galería de Saylla
Fotografía 8.6. Toma de muestras en el interior de la galería de Pillao Matao
Fotografía 8.7. Ensayo de infiltración EI-01 realizado sobre areniscas cuarzo-feldespáticas
Fotografía 8.8. Ensayo de infiltración EI-05 realizado sobre areniscas en la parte alta de la microcuenca

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA GALERÍA FILTRANTE DE PILLAO MATAO, SAN JERÓNIMO – CUSCO

I. RESUMEN

El presente informe contiene el diagnostico hidrogeológico de la microcuenca Pillao Matao, realizada sobre la base de información recogida en campo y complementada con información bibliográfica de estudios anteriores desarrollados por el centro Guamán Poma de Ayala y por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

El trabajo parte de un cartografiado geológico a escala 1:25000, donde se zonificó los principales tipos de roca, suelos y estructuras, con condiciones ideales para el almacenamiento y transmisibilidad de aguas subterráneas. Esta zonificación nos permitió diferenciar las características permeables e impermeables de las rocas, en este caso se diferenciaron diferentes miembros de una sola formación geológica con características diferentes, la misma que constituye una base importante para interpretar el movimiento y flujo del agua subterránea.

En la microcuenca de Pillao Matao, las aguas subterráneas se mueven por rocas permeables, por las fisuras y fracturas de las areniscas cuarzo-feldespáticas de las formaciones Kayra y Soncco y que corresponden al acuífero principal de la microcuenca, donde además se emplaza la galería filtrante de Pillao Matao.

En el presente reporte se interpretó las características físicas del subsuelo, las condiciones estructurales de las rocas, la existencia y profundidad del nivel piezométrico y la composición química de rocas y aguas.

Como parte de las actividades se realizó un inventario y muestreo de fuentes de aguas subterráneas, en este caso, se recolectaron muestras de 6 galerías filtrantes, una pantalla de regulación de Huasao y una muestra de aguas de lluvia. Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de INGEMMET por el método Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES) y Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). Las muestras de roca, fueron analizadas analizados por difracción de rayos X, para conocer su composición química y mineralógica. Los resultados de los análisis mostraron que ningún elemento mineral presente en los análisis de rocas tiene características de contaminante del agua subterránea y los iones del agua, se encuentran dentro del rango permitido para consumo humano y riego; por lo tanto, las aguas subterráneas captadas mediante galerías filtrantes perenemente serán de calidad.

Las aguas subterráneas, es un recurso importante, la previa identificación de los materiales por donde circula, es la base fundamental para entender su funcionamiento óptimo y delimitar el reservorio subterráneo. En el caso de la galería filtrante de Pillao Matao y su radio de influencia, las características del medio de circulación están relacionados a rocas sedimentarias de característica fracturada, tienen alta vulnerabilidad a la presencia de contaminantes puede ser una amenaza a la calidad. Adicionalmente sostenemos que profundizar la galería en zonas de mayor carga hidráulica podrá captar mayores caudales de agua subterránea, que deben ser gestionada adecuadamente considerando una gestión adecuada del recurso hídrico subterráneo.

II. ANTECEDENTES

El Centro Guamán Poma de Ayala y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet, (institución técnico-científica) a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, realizaron un estudio hidrogeológico para determinar los perímetros de protección de la captación de la zona de recarga hídrica de la galería filtrante Pillao Matao, en el distrito de San Jerónimo de la región Cusco.

El presente trabajo se realizó a solicitud de la mancomunidad de municipalidades del valle sur de Cusco, representado por el señor abogado Willian Paño Chinchazo, alcalde de la municipalidad de San Jerónimo y presidente en ejercicio de la mancomunidad municipal del valle sur de Cusco, quien solicitó al Presidente del Consejo Directivo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet y al Centro Guamán Poma de Ayala, realizar un estudio hidrogeológico para determinar los perímetros de protección de la zona de recarga de la galería filtrante Pillao Matao, ubicada en el distrito de San Jerónimo – Cusco, trabajo que se desarrolló en forma conjunta entre el Centro Guamán Poma de Ayala y el Ingemmet.

Adicionalmente, con oficio N°015-2017-A-MDSJ/C del 18 de enero del 2017, la municipalidad distrital de San Jerónimo, solicitó la Inspección hidrogeológica de la cabecera de la cuenca Pillao Matao – Kirkas en el distrito de San Jerónimo, Cusco, lugar definido para la recarga de acuíferos, oficializando el inicio del estudio hidrogeológico.

Con oficio N°001-2017-MMVS-C del 18 de enero del 2017, La Mancomunidad Municipal Valle Sur Cusco, conformada por las municipalidades de Lucre, Oropesa, Saylla y San Jerónimo solicitaron a Ingemmet una audiencia en la ciudad de Lima, para abordar temas relacionados con estudios geológico e hídricos, así como estudios de peligros geológicos en la subcuenca Huatanay, Cusco. La reunión se desarrolló el día 26 de enero del 2017 en las instalaciones del Ingemmet, donde se acordó el inicio de los estudios relacionados a peligros geológicos y aguas subterráneas.

Entre los días 15 y 19 de marzo del 2017, se realizó la primera inspección hidrogeológica del sector de Pillao Matao, del distrito San Jerónimo, realizada por los Ingenieros Fluquer Peña y Manuel Vílchez de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo del Ingemmet en compañía de los ingenieros del Centro Guamán Poma de Ayala.

Los trabajos de campo consistieron en el desarrollo de ensayos de infiltración y el cartografiado hidrogeológico de la zona de influencia de la galería filtrante Pillao Matao; además se tomaron muestras de aguas subterráneas (en la bocatoma de la galería) y muestras de agua de lluvia (en el sector de Kirkas) para análisis químico en el laboratorio del Ingemmet. Para correlacionar los resultados químicos de las aguas y el resultado de análisis isotópico, con otras similares, se tomaron muestras en otras cinco (5) galerías filtrantes del valle el Huatanay y una (1) en la captación de aguas subterráneas mediante Pantalla de Regulación, en Huasao Oropesa Cusco.

El verano del 2017 en el Perú fue intenso, el fenómeno llamado “Niño Costero”, generó inundaciones en toda la costa norte del País, desde Lima hasta Tumbes, motivo por el cual el Ingemmet suspendió gran parte de sus campañas de campo para dedicarse al levantamiento de información sobre peligros geológicos, sustentada en el D.U. N° 004 -2017, paralizando temporalmente el estudio hidrogeológico de la microcuenca Pillao Matao. Sin embargo; el 4 de octubre del 2017, a través de una carta del Centro Guamán Poma de Ayala solicitan completar el

estudio hidrogeológico en la cabecera de la microcuenca Pillao Matao, continuando con el levantamiento de información de campo en el mes de octubre del 2017. Este trabajo consistió en un monitoreo de la composición químicas de las aguas, tomando nuevas muestras para análisis químicos e isotópicos y muestras de roca para análisis petroquímico.

Los aportes nuevos del presente reporte corresponden a los análisis isotópicos de las aguas, los análisis de rayos X de las rocas y las interpretaciones hidrogeológicas que genero un modelo hidrogeológico de funcionamiento en la galería filtrante de Pillao Matao. La delimitación de los perímetros de protección, la cartografía geológica, hidrogeológica e hidroquímica, además de los modelos hidrogeológicos e isotópicos que permitieron delimitar los perímetros de protección de la zona de recarga de la galería filtrante Pillao Matao.

III. INTRODUCCIÓN

El trabajo parte de la revisión bibliográfica, sobre todo, la cartografía geológica, para el cual se consideró la información de la carta geológica nacional del Ingemmet. Se usó también la información del boletín N° 138 de la serie A: Geología del cuadrángulo del Cusco.

Los trabajos de campo se realizaron, para registrar las evidencias de la captación de aguas subterráneas en superficie, para lo cual se desarrolló un registro e inventario de galerías filtrantes del valle del Huatanay y la Pantalla de Regulación de Huasao, donde además se identificó las condiciones hidrogeológicas de las diferentes unidades geológicas y se registraron *in situ* de descarga década captación (galerías y pantalla).

El presente informe considera información de dos campañas de campo realizadas durante el año 2017, en época de avenidas (marzo), y en época de estiaje (octubre). Los trabajos de gabinete, laboratorios, análisis de muestras, elaboración de mapas y preparación del presente reporte se realizó durante el año 2017.

El cartografiado geológico de la zona se encuentra a escala 1:50,000; sin embargo, para el presente informe se ha reducido a la escala a 1: 25,000, donde se zonifica los principales tipos de roca, suelos y estructuras geológicas.

En el mapa hidrogeológico se considera las características permeables e impermeables de las rocas y suelos, los mismos que permiten interpretar el movimiento del agua subterránea, identificar los estratos condicionantes del movimiento, los materiales impermeables e impermeables y la ubicación de la zona de alimentación y recarga. Adicionalmente interpretó las características físicas del subsuelo, las condiciones estructurales, la existencia y profundidad del nivel piezométrico y el posible espesor del acuífero.

Como parte de las actividades se realizó también el muestreo de fuentes de aguas subterráneas como indicio de la presencia de un reservorio subterráneo. Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de INGEMMET por el método Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES) y Espectrometría de Masa por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) que dio como resultado la composición química y la calidad de las aguas.

Las aguas subterráneas, son un recurso importante, la previa identificación de los materiales por donde circula, es la base fundamental para entender su funcionamiento óptimo y delimitar la zona de protección. En el caso de la microcuenca Pillao Matao, las características del medio de

circulación están relacionadas a materiales sedimentarios, estas rocas reservorio proporcionan aguas subterráneas de buena calidad, que indefectiblemente tiene que ser protegida.

3.1. Objetivos

Elaborar un estudio hidrogeológico de la Microcuenca Pillao Matao, cuya información técnica sirva de base para una gestión integrada de las aguas subterráneas y brinde información idónea para delimitar los perímetros de protección de las aguas subterráneas.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las formaciones geológicas con capacidad para el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas.
- Identificar la zona de alimentación y recarga de los acuíferos ubicados en la microcuenca Pillao Matao.
- Determinar las características hidroquímicas de las galerías filtrantes en la subcuenca Huatanay y en espacial de la galería filtrante Pillao Matao.

3.3. Actividades

- Recopilación de información disponible del área tal como el mapa geológico a escala 1:50,000 y 1: 25,000 de los cuadrángulos ubicados en la ciudad de Cusco, registros de información geológica, geomorfológica, etc.
- Se realizó el inventario de fuentes de aguas subterráneas captadas mediante galerías filtrantes y Pantalla de Regulación de Huasao ubicadas en la Subcuenca Huatanay – Cusco.
- Se desarrolló la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas, según su predominancia litológica y permeabilidad, para ello se desarrollaron ensayos de infiltración *in situ,* en los depósitos sedimentarios ubicados en la Microcuenca Pillao Matao.
- Se tomaron muestras de aguas subterráneas, en las galerías filtrantes presentes en la Subcuenca Huatanay, así como, en un punto de control que corresponde a agua de lluvia, para análisis de metales disueltos, aniones y cationes mayoritarios; tanto en época de avenidas como en época de estiaje.
- Preparación del presente reporte con la descripción y análisis de la hidrogeología e hidroquímica que incluye mapas, figuras, diagramas, gráficos, cuadros y resultados de análisis químico.

3.4. Equipo de Trabajo

En la elaboración del presente reporte participaron los ingenieros Fluquer Peña y James Apaestegui como responsables de la elaboración del presente reporte, con el apoyo de la ingeniera Karen Dueñas y los bachilleres Boris Santos, Baclimer Quispe y Marlon Ccopa.

IV. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona de estudio se encuentra en la cuenca del río Urubamba, subcuenca del río Huatanay, microcuenca Pillao Matao (Figura 4.1)

Políticamente, está ubicada en el distrito de San Jerónimo, provincia y departamento de Cusco, a 7 km de la ciudad de Cusco.

Su área de influencia está comprendida entre las siguientes coordenadas UTM:

Este: 183 000; Norte: 8 501 000 y Este: 187 000; Norte: 8 501 000

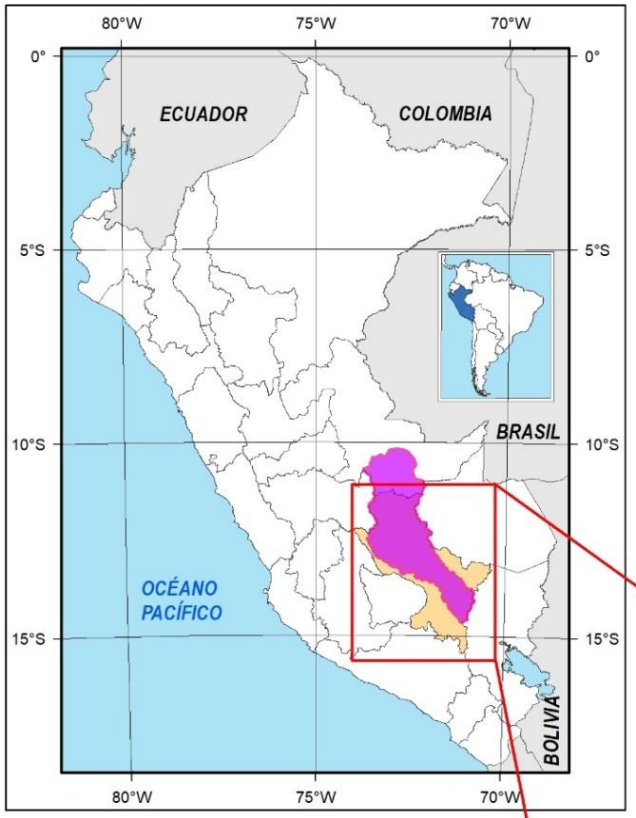
Este: 183 000; Norte: 8 494 000 y Este: 187 000; Norte: 8 494 000

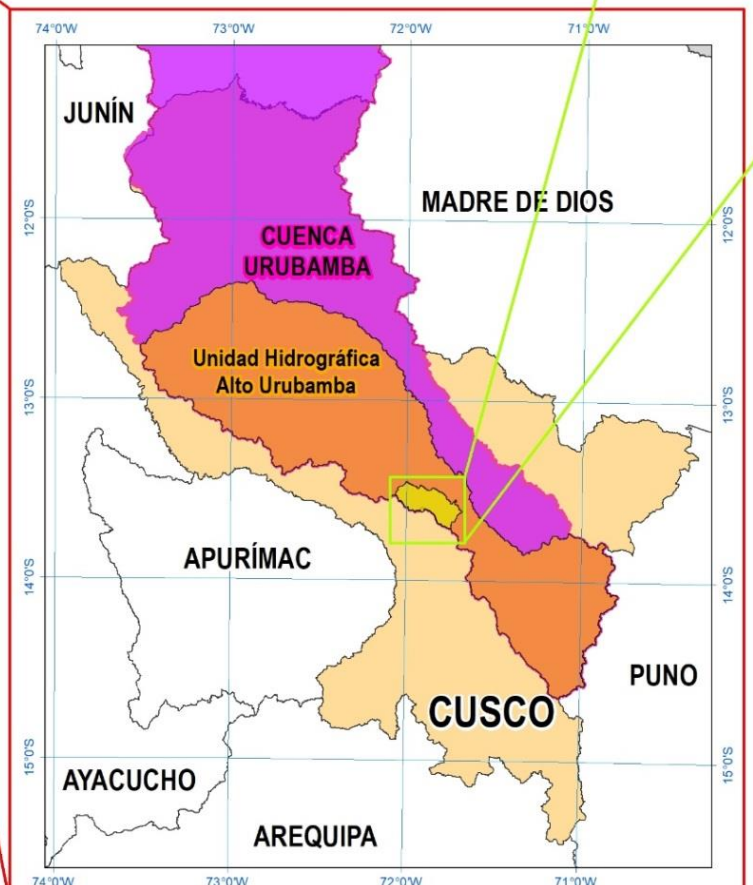
Las alturas absolutas varían aproximadamente entre los 3 250 y 3 800 m.s.n.m.

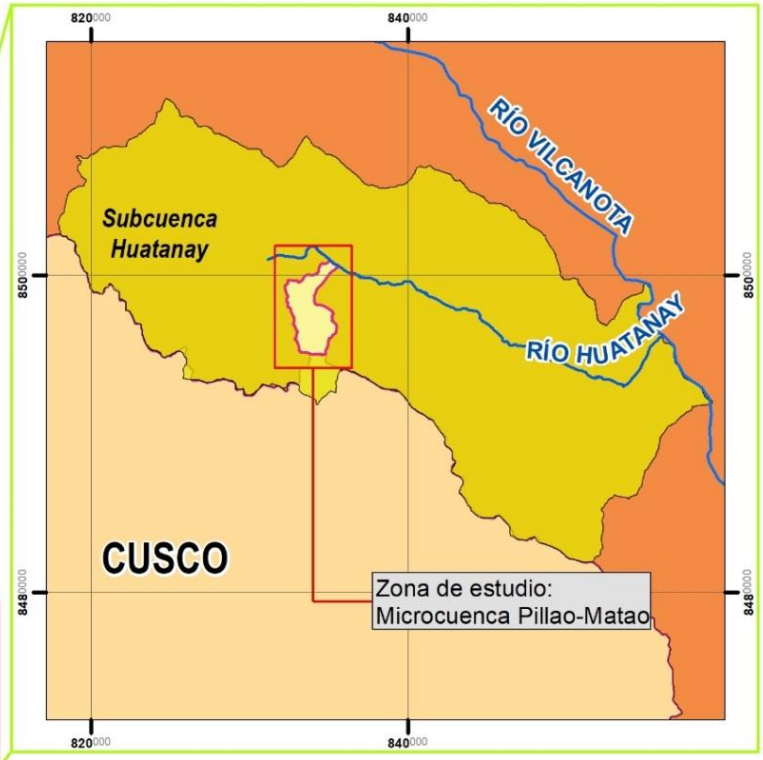
La subcuenca Huatanay (donde se ubica la ciudad de Cusco) es accesible partiendo desde la ciudad de Lima a través de la carretera Panamericana Sur hasta Nazca de donde se toma un desvío hacia Ayacucho y Apurímac llegando a Cusco después del paso por la ciudad de Abancay; con un recorrido aproximado de 1136 km (24 horas de viaje en promedio).

Por vía aérea se dispone de vuelos comerciales diarios, con una duración de 1 hora y 10 min aproximadamente (Desde el aeropuerto Internacional Jorge Chávez de Lima hasta el aeropuerto internacional Alejandro Velazco Astete de Cusco).

Para acceder a la microcuenca de Pillao Matao se parte de la ciudad de Cusco por la prolongación de la Avenida de la Cultura en el tramo que corresponde al distrito de San Jerónimo y se une en una vía afirmada que sale de la planta de Petroperú e ingresa a la quebrada de Pillao Matao y ascendiendo hasta la comunidad de Kkircas, ubicada en la subcuenca de Pillao Matao, adicionalmente el acceso a la quebrada es por caminos de herradura.







SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE UBICACIÓN

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 Sur	FIGURA Nº 4.1

V. HIDROLOGÍA

5.1. Precipitación

La precipitación es todo tipo de agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).

En la microcuenca Pillao Matao, la precipitación tiene un año hidrológico que comienza en noviembre con esporádicas lluvias, que se intensifica entre enero y marzo, dejando el tiempo de estío entre junio a octubre.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para julio del 2014 considera la siguiente información:

Cuadro 5.1
Valores de precipitación para la Microcuenca Pillao Matao

ESTACION	ALTITUD msnm	PRECIPITACION mm
Unsaac - Perayoc	3365	789.74
Kayra	3219	667.44
Corpac	3248	713.68
PROMEDIO		**723.68**

Sin embargo; según informe técnico del Centro Guamán Poma de Ayala, en la microcuenca Pillao Matao, presenta una precipitación pluvial media de 789.87 mm/año (Guamán Poma de Ayala, 2014). La misma que se considera para el presente reporte.

En el mapa isoyetas de la microcuenca la variación es mínima entre 700 y 800 mm anuales (Figura 5.1), considerando como lluvias de aporte importante para la infiltración y recarga artificial de acuíferos.

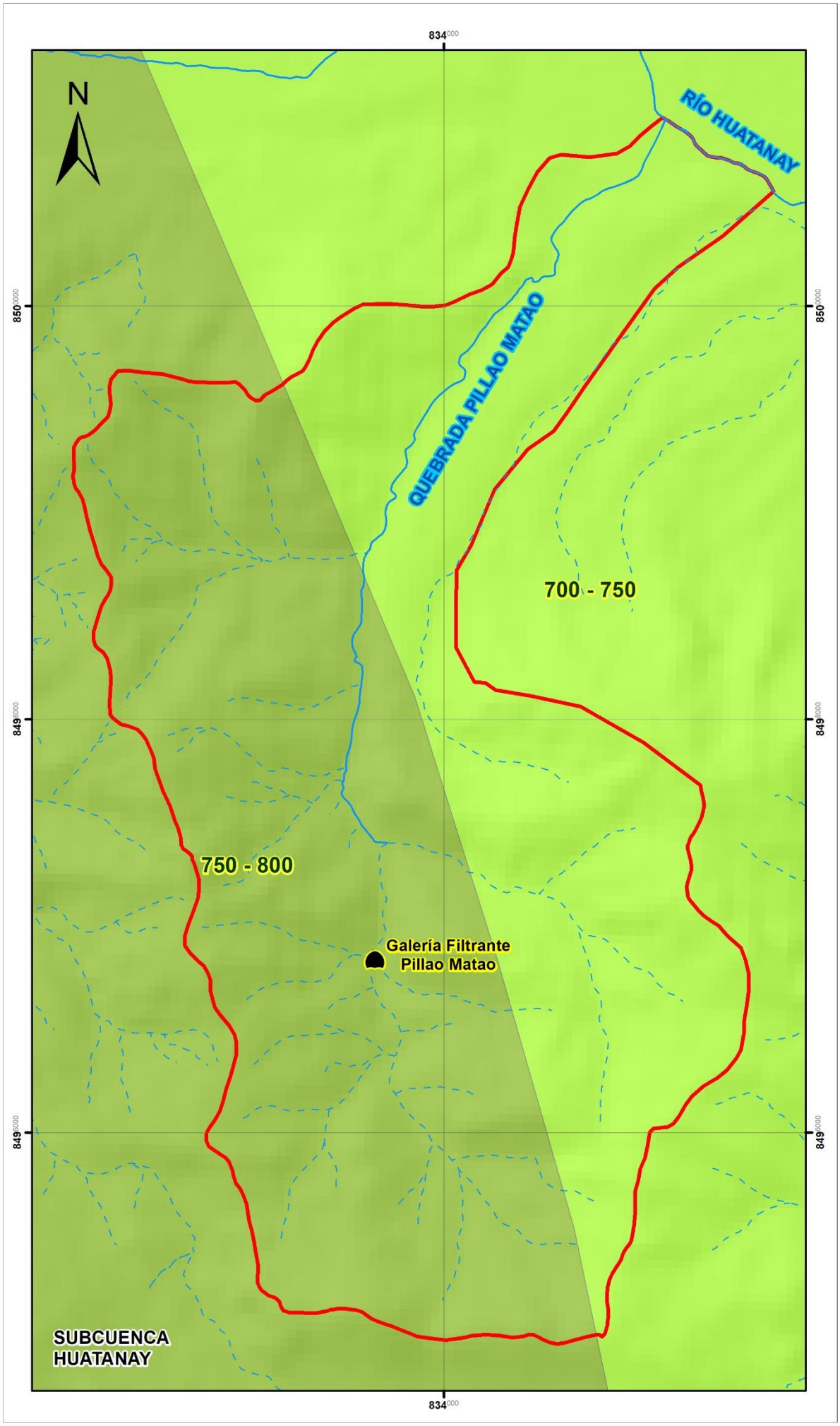
5.2. Temperatura

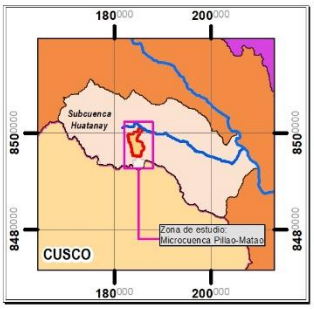
La temperatura es uno de los elementos principales que constituyen el clima y es indispensable conocer su distribución y variación, de los valores promedio de las estaciones de Kayra y Perayoc se obtiene una temperatura media promedio de 11.6 °C correspondiente al piso de valle del Huatanay, para el caso específico de la micro cuenca de Pillao Matao se obtiene 8.87 ºC.

Asimismo, se establece que la temperatura media mensual tiene variaciones a lo largo del año, entre 12.75 °C y 6.54 °C (Guamán Poma de Ayala, 2014).

5.3. Humedad Relativa

La humedad relativa, varia en forma inversa a la temperatura y su oscilación anual es muy variable de un lugar a otro entre 40% a 75%, en función a la altitud de la zona, para el caso específico de la microcuenca Pillao Matao varía entre 48.03% (agosto) y 69.90% (febrero) (Guamán Poma de Ayala, 2014).





SIMBOLOGÍA

Galería Filtrante Pillao Matao

Microcuenca Pillao Matao

DRENAJE

Cauce Permanente

Cauce Intermitente

PRECIPITACIÓN (mm/año)

700 - 750

750 - 800

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE ISOYETAS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

0 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 Km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 5.1

5.4. Hidrografía del área de estudio

Se considera las subcuencas y microcuencas relacionadas con las zonas de recarga y descarga del recurso hídrico superficial y subterráneo, basado en la clasificación oficial del ANA 2008

La microcuenca Pillao Matao corresponde a la subcuenca del río Huatanay (Figura 5.2) y esta a su vez es parte de la cuenca del río Urubamba.

Las características físicas de una subcuenca influyen en el comportamiento hidrológico, tanto a nivel de escorrentía y evapotranspiración como en la alimentación y recarga de los acuíferos.

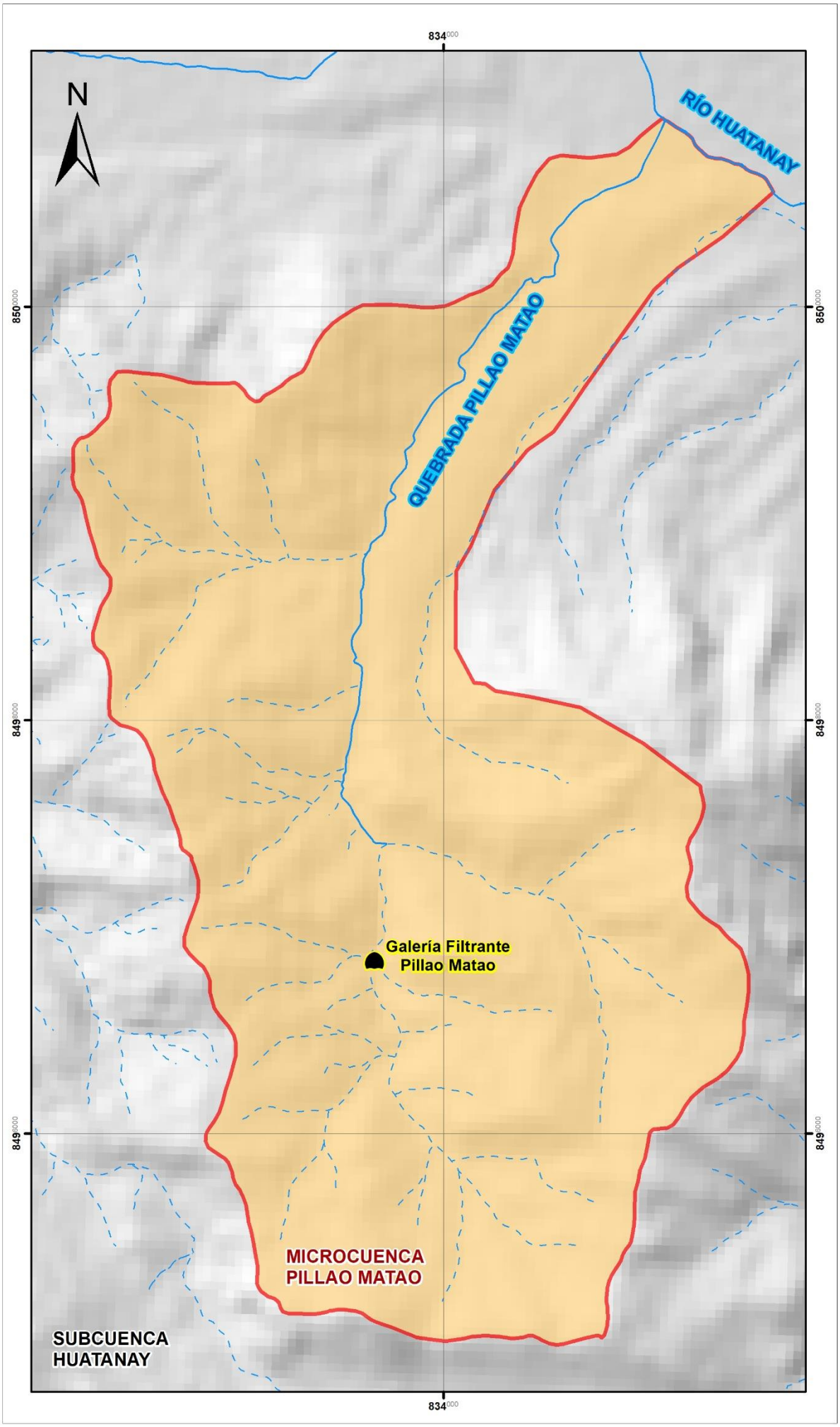
El estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad práctica en la hidrología, en base al cual se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro, donde exista poca información: como falta de datos, carencia total de información de registros hidrológicos, si existe cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión desde el punto de vista de la geomorfología superficial.

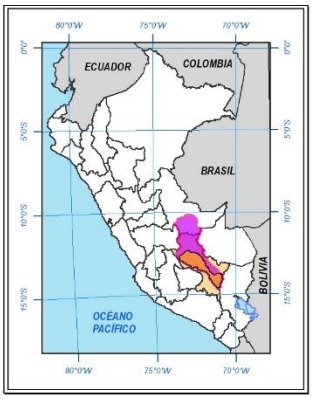
La forma de la cuenca determina la distribución de las descargas de agua de escorrentía a lo largo de la quebrada Pillao Matao y es responsable de las características que tienen las crecientes, asimismo, el tiempo de concentración o retención de aguas superficiales en las fracturas y poros de las rocas sedimentarias condiciona sus niveles de alimentación y recarga.

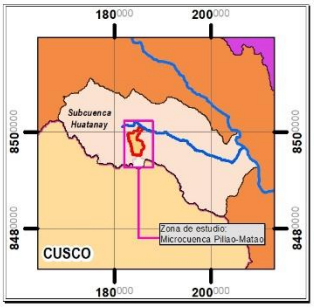
La parte alta de la microcuenca Pillao Matao corresponde a un área delimitado por montañas elevadas con rocas sedimentarias (Fotografía 5.1), a partir del cual se concentra aguas de lluvia que luego se mueve por el cauce y desemboca en el río Huatanay.

La microcuenca de la quebrada Pillao Matao, tiene carácter estacional, el caudal es mayor en épocas de lluvia y desciende considerablemente en épocas de estiaje.

Fotografía 1. Parte alta de la microcuenca Pillao Matao, nótese las rocas sedimentarias de la Formación Kayra.







SIMBOLOGÍA

Galería Filtrante Pillao Matao

Microcuenca Pillao Matao

DRENAJE

Cauce Permanente

Cauce Intermitente

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA HIDROGRÁFICO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 5.2

VI. CONTEXTO GEOLÓGICO

6.1. Geología local

En la zona de estudio afloran rocas del Grupo San Jerónimo (Eoceno medio-Oligoceno inferior), que está conformado por la Formación Kayra, Soncco y en las partes altas aflora la Formación Punacancha, en la parte baja de la microcuenca de Pillao Matao se encuentran depósitos de la Formación San Sebastián y en la zona también afloran los depósitos cuaternarios (Depósitos fluviales, aluviales y lacustres).

6.1.1. Grupo San Jerónimo

El área de estudio está conformada por la Formación Kayra, constituye una potente serie de rocas sedimentarias bien estratificadas de más de 880 m de espesor. Están constituidas por areniscas feldespáticas y cuarzo-feldespáticas de grano grueso, medio y fino intercaladas con niveles de limolitas y delgados niveles de lutitas rojas.

Estas rocas se hallan fuertemente fracturadas. Las fracturas dan características hidrogeológicas muy importantes al acuífero, incrementando la capacidad de retención y drenaje para la infiltración hacia el subsuelo y alimentando las aguas subterráneas.

El intenso fracturamiento ocasionado por la falla Tancarpata y la esquistosidad relacionada al plegamiento del anticlinal de Saylla, han generado una porosidad secundaria importante en el acuífero. En consecuencia, la porosidad del acuífero está constituido por dos tipos de porosidad, una primaria (poros y espacios vacíos) y una secundaria (fracturas). En la quebrada Pillao Matao el área de estudio posee 8 secuencias de rocas sedimentarias, caracterizadas en una columna estratigráfica.

Para la descripción detallada de estas se ha levantado una columna estratigráfica tomando como base la columna levantada por el centro Guamán Poma de Ayala, el año 2001. La columna estratigráfica tiene una potencia aproximada de 1309 m, el levantamiento ha comenzado a la atura de boca de galería (secuencia II de la Formación Kayra) continuando con la formación Soncco dividida en seis secuencias hasta llegar al contacto con la Formación Punacancha. La ubicación de la columna estratigráfica se visualiza en la figura 6.1.

6.1.1.1. Formación Kayra

a) Secuencia II

Está conformada principalmente por areniscas feldespáticas de grano grueso a medio, con granos separados moderadamente seleccionados. Estas rocas se encuentran muy fracturadas (Guamán Poma de Ayala, 2014).

b) Secuencia III

Esta secuencia está constituida por areniscas cuarzosas y feldespáticas de grano fino, medio a grueso; con pequeños niveles de lutitas y limolitas. La base de esta secuencia está regularmente fracturada y en parte algo compactas, en el techo se ubican mayormente las lutitas y limolitas rojas con intercalaciones de areniscas feldespáticas de grano fino, tres tramos de esta secuencia se encuentran cubiertos por materiales cuaternarios que podrían ser sedimentos finos, estas areniscas se encuentran fuertemente fracturadas, con condiciones hidrogeológicas favorables a la infiltración de aguas de lluvia.

Figura 6.1. Localización de la columna estratigráfica de la quebrada Pillao Matao

6.1.1.2. Formación Soncco

a) Secuencia I

Esta secuencia está conformada principalmente por lutitas y limolitas de coloración rojiza intercaladas con areniscas cuarzo-feldespáticas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas de 2 cm hasta de 20 cm cuatro (4) tramos de esta secuencia se encuentran cubiertos por materiales cuaternarios.

b) Secuencia II

Conformada por areniscas masivas cuarzo–feldespáticas con algo de cuarzo de grano medio a grueso, intercalados con pequeños niveles de lutitas y limolitas de coloración rojiza, estas rocas en su mayoría se hallan muy fracturadas y tiene condiciones hidrogeológicas ideales para la infiltración de aguas de lluvia.

c) Secuencia III

Las areniscas feldespáticas en esta secuencia son de grano medio a grueso, algo arcosas, pero finas, con pocas intercalaciones de lutitas y limolitas en la base. En el techo presenta más intercalaciones de roca arenisca fina con delgados niveles de lutita y limolita. Se observa 4 tramos de esta secuencia cubiertos por materiales cuaternarios que podrían ser sedimentos finos y fracturados.

d) Secuencia IV

La cuarta secuencia está compuesta por areniscas feldespáticas de grano fino a grueso, en la base y parte media se tiene intercalaciones de areniscas y lutitas de coloración rojiza bien estratificadas. El techo de la secuencia presenta areniscas de grano medio a grueso medianamente fracturadas.

e) Secuencia V

La base de esta secuencia está conformada por niveles de conglomerados con presencia de clastos de rocas volcánicas e intrusivas hasta de 3 centímetros, continúa la intercalación de niveles de limolitas y lutitas de coloración rojiza con bancos de areniscas feldespáticas. El techo de la secuencia presenta bancos de areniscas feldespáticas de grano medio y grueso algo deleznables con intercalaciones con pequeños niveles de limolitas de coloración rojiza. Diez tramos de esta secuencia se encuentran cubiertos por materiales cuaternarios que podrían ser sedimentos finos.

6.1.2. Formación Punacancha

En el área de estudio aflora el miembro I de esta formación. El Miembro I (0-440 m) sobreyace en discordancia erosional a la Formación Soncco. Está conformado por lutitas y limolitas rojas de llanura de inundación y microconglomerados fluviales. En la parte media de este conjunto se observa un nivel de toba volcánica de 1 a 3 m de espesor que ha sido datada en apatitos por FT en 24.6 ± 2.1 Ma. (Carlotto, 1997), desde el punto de vista hidrogeológico, estos materiales son de escaso interés hidrogeológico, la infiltración de aguas de lluvia es mínima y subsuperficial, por lo tanto, se consideran acuitardo.

6.1.3. Formación San Sebastián

Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988): la primera, grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda, grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca. Este cierre está expuesto por la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias (Cabrera, 1988).

6.1.4. Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se encuentran ubicados entre las depresiones y las laderas de la zona de estudio, cuyos materiales son resultado de los agentes erosivos que han modificado el relieve de la misma.

a) Depósitos Fluviales

Estos depósitos han sido reconocidos en el fondo del valle, particularmente muy cerca de la desembocadura al río Huatanay, donde están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas.

b) Depósitos Aluviales

Se ha considerado los conos aluviales y conos de deyección dentro de estos depósitos. Los conos están adosados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacentes al eje principal del río principal.

Desde el punto de vista litológico, los conos están conformados por bloques y gravas de cuarcitas, areniscas y esporádicamente fragmentos de calizas, rocas volcánicas, etc., envueltos por una matriz areno-arcillosa.

Estos depósitos, se encuentran en la parte baja de la microcuenca Pillao Matao y constituye materiales de alto interés hidrogeológico para la exploración de aguas subterráneas.

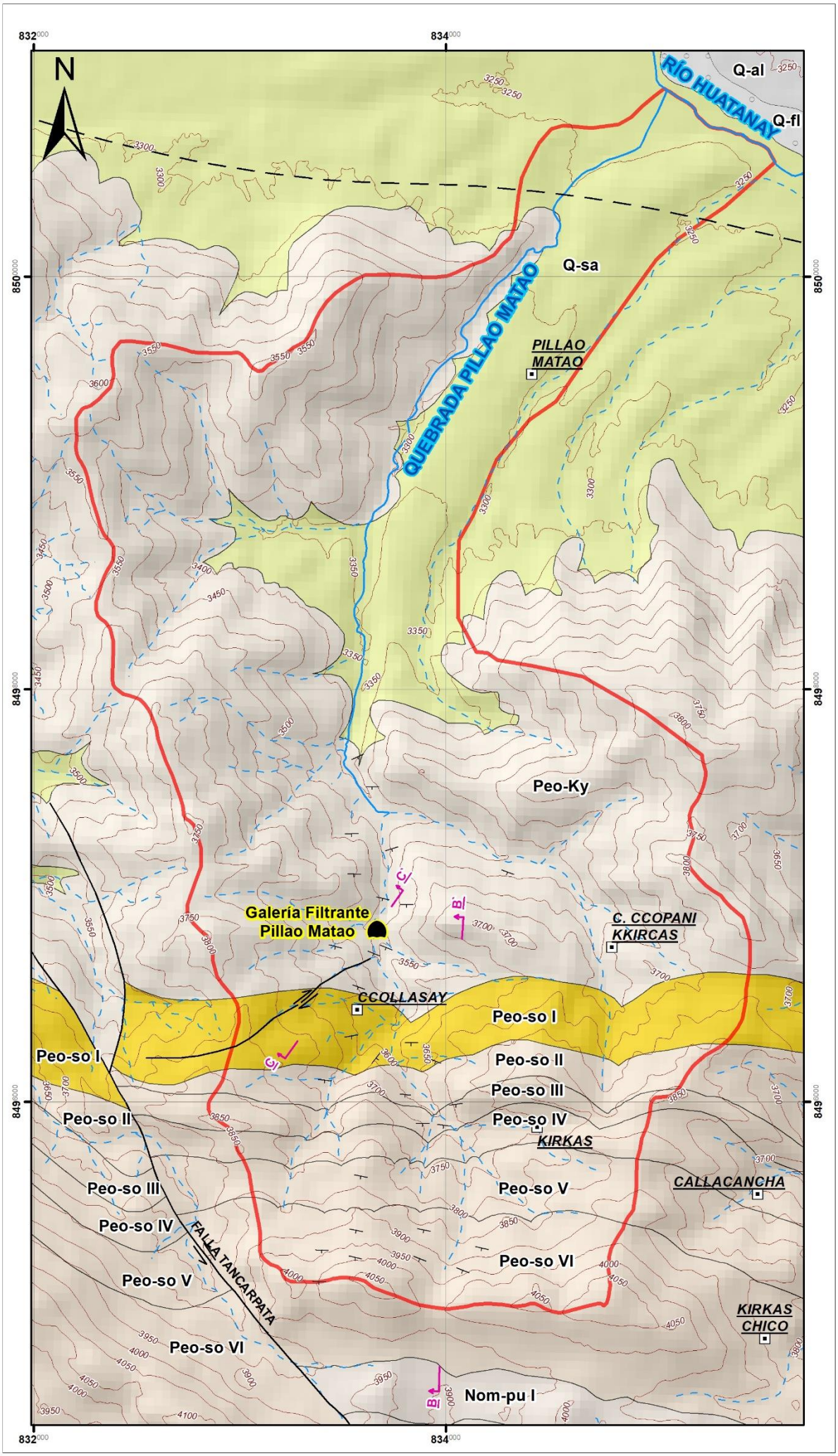
6.2. Geología Estructural

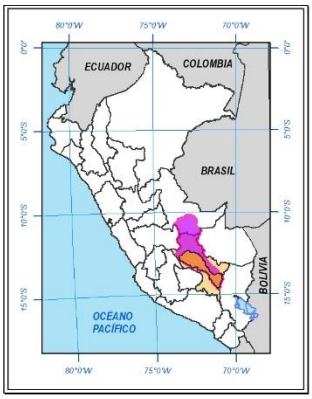
En la zona de estudio la falla más importante es la Falla Tancarpata, esta se localiza en el extremo suroeste de la microcuenca. Si bien la falla no pasa por la quebrada, la influencia estructural es importante porque las rocas en la quebrada se encuentran fracturados y diaclasados (Fotografía 5.2).

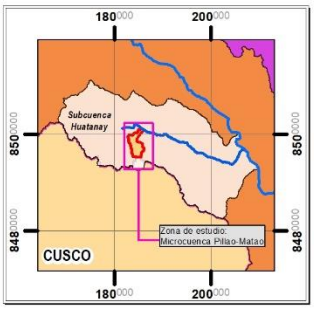
Desde el punto de vista hidrogeológico esta falla controla la Formación Soncco y permite las surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales de bajo caudal, con más detalle se observa en la Quebrada Huillcarpay (Carlotto et al., 2008).

Localmente se presentan fallas de rumbo y fallas normales con escaso desplazamiento y alineación general de dirección norte sur. (Carlotto et al, .2008). También se presentan dos sistemas de esquistosidades de dirección (NO-SE a E-O) y (NE-SO) respectivamente, estas esquistosidades influencian en la dirección de flujo del agua subterráneas y las cuales condicionan el almacenamiento de las aguas subterráneas de los acuíferos (Santos et al. 2013, Carlotto et al,.2008).

Fotografía 5.2. Afloramiento de areniscas cuarzo-feldespáticas altamente fracturadas en las inmediaciones de la galería filtrante Pillao Matao.







SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Centro Poblado
- Secciones
- Curvas de nivel
- Falla normal
- Falla inferida
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Microcuenca Pillao Matao

LEYENDA

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Fluviales	Q-fl
			Dep. Aluviales	Q-al
		Pleistoceno	Fm. San Sebastián	Q-sa
	NEÓGENO	Mioceno	Fm. Punacancha	Nom-pu I
	PALEÓGENO	Oligoceno	Gpo. San Jerónimo – Fm. Soncco	Peo-so VI
				Peo-so V
				Peo-so IV
				Peo-so III
				Peo-so II
		Eoceno		Peo-so I
			Fm. Kayra	Peo-Ky
		Paleoceno		

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA GEOLÓGICO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 6.2

VII. GEOMORFOLOGÍA

7.1. Geomorfología regional

Desde el punto de vista regional, el área de estudio se encuentra en las inmediaciones de las montañas del cerro Huancaure, donde también se ubica una ligera altiplanicie con altitudes que varían entre los 3500 y 3800 msnm, aunque localmente algunas montañas pueden sobrepasar los 4400 msnm. Esta unidad esta disectada por números ríos y quebradas, además de la acción glaciar, que le dan una configuración muy agreste, con laderas pronunciadas de alta pendiente y paisajes agrestes.

7.2. Geomorfología Local

Localmente el área de estudio y alrededores está conformada por las siguientes unidades geomorfológicas:

7.2.1. Laderas de las montañas sur del Cusco

Localmente son las montañas del Vilcaconga del distrito de San Jerónimo, presentan pendientes relativamente abruptas, conformadas por los cerros Inca Puccuto, lomadas Santa Ana Atocloma e Inca Damián. Las altitudes varían entre los 3400 a 4000 msnm.

Se encuentran divididas en laderas de montaña baja escarpada, laderas de montaña baja fuertemente disectada, laderas de montaña baja moderadamente disectada.

7.2.2. Quebradas de Pillao Matao

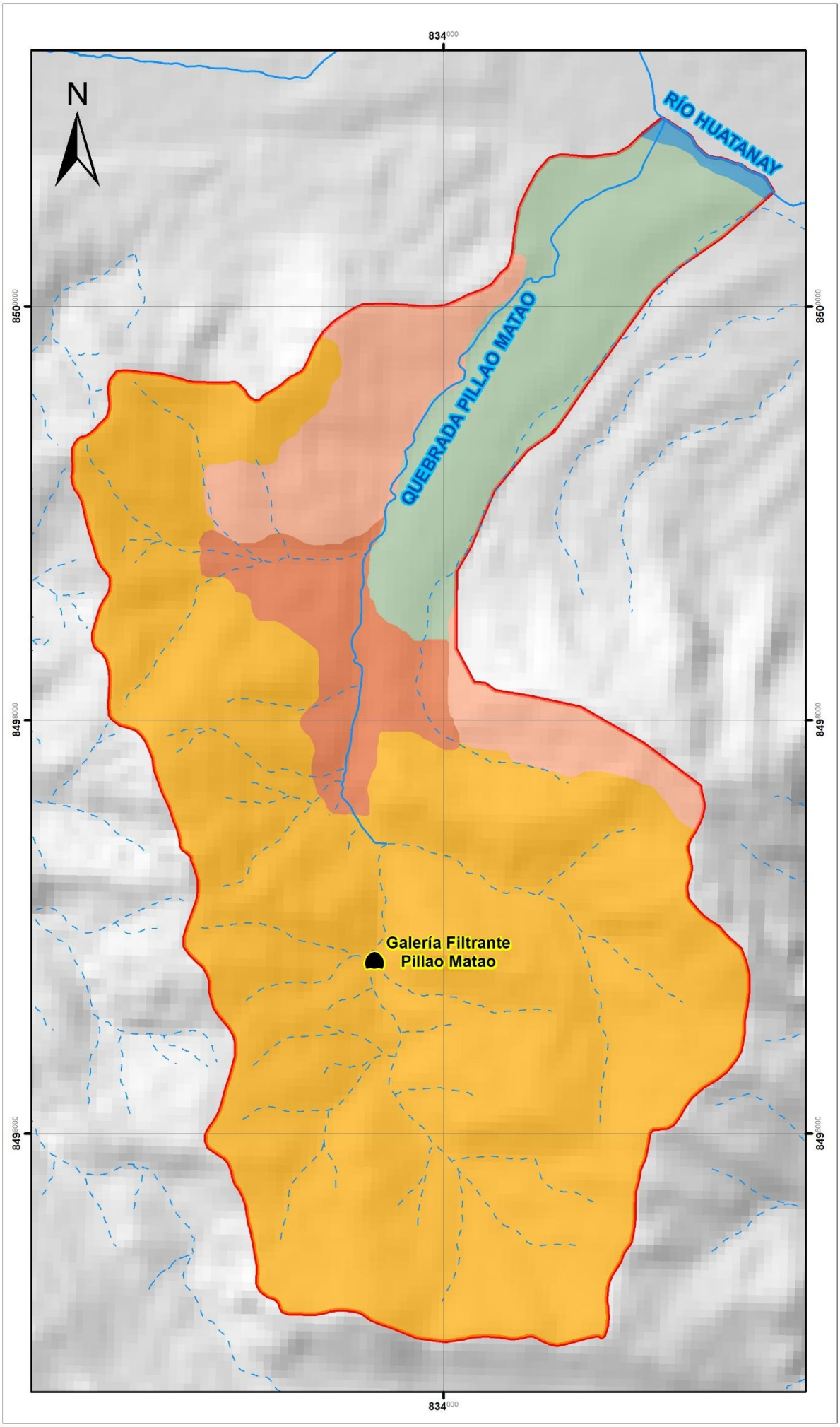
Las quebradas de Pillao Matao en la zona de estudio presentan pendientes abruptas, se observan procesos de profundización generados por la erosión fluvial, sobre todo en épocas de lluvia (Figura 7.1).

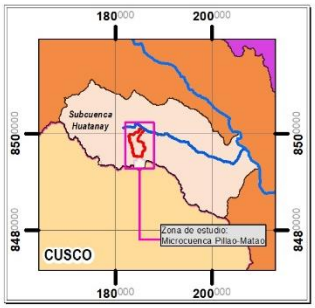
La acción de la escorrentía en la quebrada Pillao Matao ha generado la presencia de terrazas, las cuales se dividen en terrazas altas y bajas altamente disectadas, este fenómeno se observa en su mayoría hacia el sector sur este de la quebrada, donde su característica principal son las cárcavas profundas.

Las quebradas secundarias en la zona de estudio presentan pendientes abruptas debido a que se encuentran sobre materiales fáciles de erosionar y alineados en la dirección del sistema de fallas que se ubican entre las quebradas Pillao Matao y Kirkas. Los materiales de estas quebradas, proceden de la parte alta donde afloran areniscas, micro conglomerados, conglomerados con clastos (volcánicos e intrusivos) del Grupo San Jerónimo.

La meteorización, la pendiente, la presencia de fracturas y la erosión, facilitan la producción de materia prima para la formación de aluviones o huaycos en épocas de fuerte precipitación pluvial. El material depositado en las quebradas está conformado por bloques, guijas y gravas en una matriz limo-areno-arcillosa.

Estas quebradas están trazadas por grietas tensionales y escarpes de deslizamiento menores provocados por la actividad humana y el deterioro producido por los animales, el sobre pastoreo y los trabajos que se realizan en áreas de cultivo en las zonas escarpadas.





SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Microcuenca Pillao Matao

DRENAJE

- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

- Ladera de Montaña Baja Escarpada
- Ladera de Montaña Baja Fuertemente Disectada
- Ladera de Montaña Baja Moderadamente Disectada
- Terraza Alta FluvioAluvial Poco Disectada
- Terraza Baja FluvioAluvial Poco Disectada

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA GEOMORFOLÓGICO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

0 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 Km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 7.1

VIII. EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La hidrogeología del área de estudio, motivo del presente informe, tiene carácter de estudios semi detallados, sustentados en información de reconocimiento de campo (cartografiado y ensayos de infiltración) y análisis de laboratorio. Los resultados de campo contemplan una evaluación hidrogeológica robustecida con los análisis químicos e isotópicos, para dicha actividad se han monitoreado también otras cinco galerías filtrantes ubicadas en el valle del Huatanay y la captación de aguas subterráneas mediante pantalla de regulación.**Línea base hidrogeológica**

8.1.1. Identificación de fuentes de aguas subterráneas

El inventario de fuentes de agua subterránea tiene como objetivo determinar la existencia de agua subterránea en el sub suelo, identificando zonas de descargas naturales y artificiales de los acuíferos y características que condicionan el almacenamiento, movimiento y surgencia del agua subterránea.

En la subcuenca Huatanay se identificó tres (3) tipos de fuentes de agua subterránea los mismos que corresponden seis (6) galerías filtrantes, una (1) Pantalla de regulación y una fuente de la lluvia en épocas de mayor precipitación (mayo del 2017). Sin embargo, para una mayor interpretación, en el cuadro 8.1 y la figura 8.1, se visualiza fuentes de aguas subterránea de afloramiento natural como 104 manantiales, 6 galerías filtrantes, 1 pantalla de regulación y un punto de registro que pertenece a las aguas de lluvia (Cuadro 8.1 y Figura 8.1).

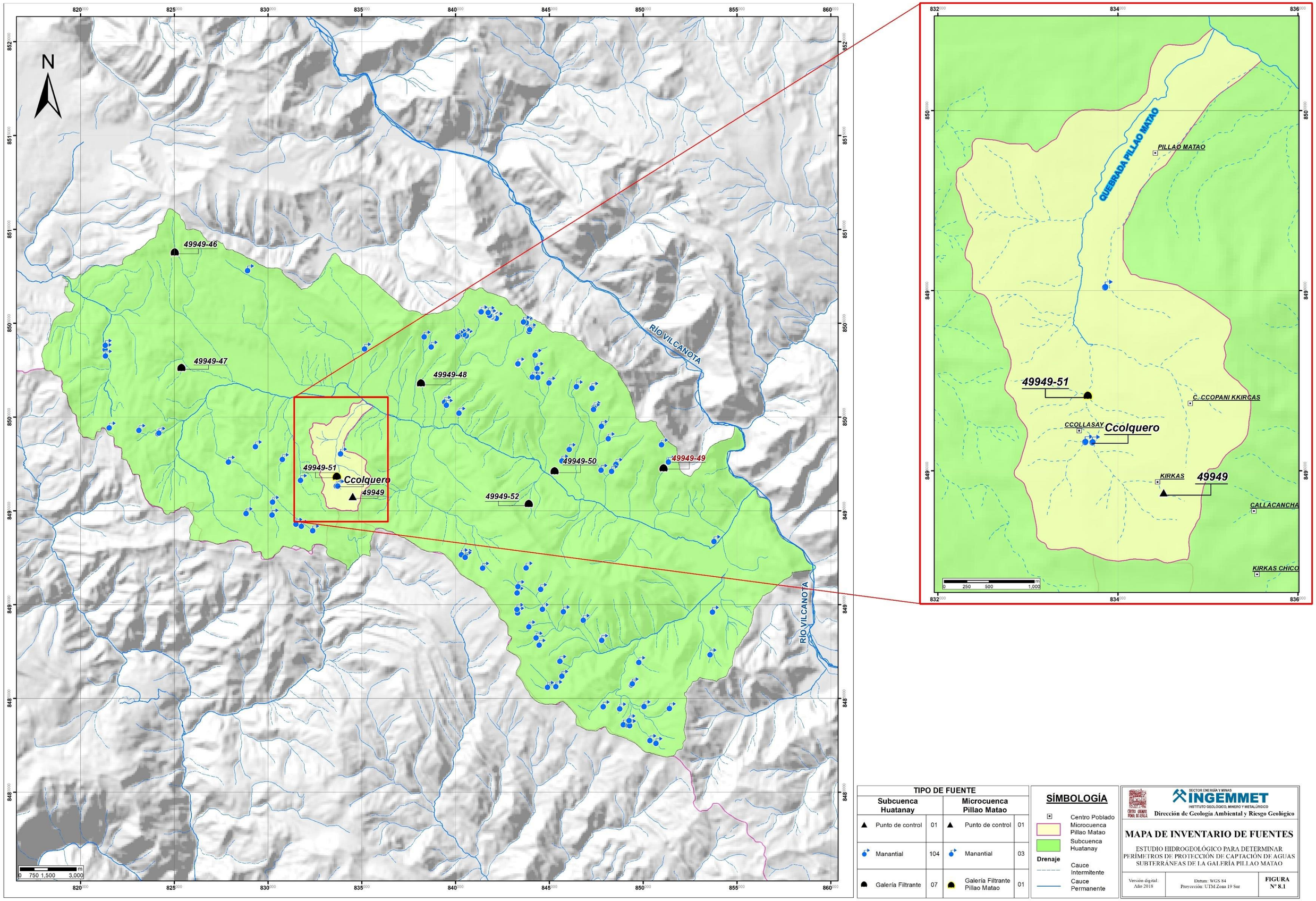
Cuadro 8.1

Resumen y evaluación de fuentes de agua subterránea, parámetros hidráulicos y físico químicos.

Fuente	N° Subcuenca Huatanay	N° Microcuenca Pillao Matao	Parámetros In situ	Descripción
Manantiales	104	3	-	Puntos inventariados
Galería Filtrante	6	1	Caudal, pH, temperatura, CE y TDS	Toma de muestra para análisis físico-químico
Pantalla de Regulación	1	0	Caudal, pH, temperatura, CE y TDS	Toma de muestra para análisis físico-químico e isotópico
Puntos de registros	1	1	pH, Temperatura, CE y TDS	Toma de muestra para análisis físico-químico e isotópico de la lluvia.
TOTAL	**112**	**5**		**8 fuentes analizadas.**

Fuente: Registros de campo Ingemmet 2017 y registros del Centro Guamán Poma de Ayala (2014)

Los parámetros y medidas, consideradas para el inventario de fuentes de agua subterránea son: código de identificación, ubicación geográfica, coordenadas UTM (latitud, longitud y altitud), ubicación política, parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, pH, TDS, parámetros organolépticos, temperatura y otros), parámetros hidráulicos (caudal), uso del agua (verificación in situ), descripción del entorno y fecha de inventario (registro y muestreo). Se ha utilizado un código numérico de identificación en cada fuente para garantizar el inventario y un eficiente análisis químico de las muestras de agua.


N
49949-46
49949-47
49949-48
49949-49
49949-50
49949-51
49949-52
Ccolquero
49949
RÍO VILCANOTA
RÍO VILCANOTA
0 750 1,500 3,000 m
QUEBRADA PILLAO MATAO
PILLAO MATAO
C. CCOPANI KKIRCAS
CCOLLASAY
Ccolquero
KIRKAS
49949
CALLACANCHA
KIRKAS CHICO
0 250 500 1,000 m
TIPO DE FUENTE
Subcuenca Huatanay
Punto de control 01
Manantial 104
Galería Filtrante 07
Microcuenca Pillao Matao
Punto de control 01
Manantial 03
Galería Filtrante Pillao Matao 01
SÍMBOLOGÍA
Centro Poblado
Microcuenca Pillao Matao
Subcuenca Huatanay
Drenaje
Cauce Intermitente
Cauce Permanente
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
MAPA DE INVENTARIO DE FUENTES
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO
Versión digital: Año 2018
Datum: WGS 84
Proyección: UTM Zona 19 Sur
FIGURA Nº 8.1

8.1.2. Caracterización Hidrogeológica de las formaciones geológicas

8.1.2.1. Mapa Hidrogeológico de la microcuenca Pillao Matao

La caracterización hidrogeológica del área de estudio se realizó sobre la base del cartografiado geológico, a una escala de 1: 50000, para entender las manifestaciones de aguas subterráneas, se consideró; las condiciones de descarga y las propiedades físico-químicas e información de los parámetros hidrogeológicos (porosidad y permeabilidad). Estos parámetros permitieron elaborar el mapa hidrogeológico, zonificando las rocas y suelos con características de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, además de rocas con características impermeables.

El mapa hidrogeológico, se desarrolló para representar cartográficamente las características hidrogeológicas de las unidades litológicas que afloran en la microcuenca de Pillao Matao, en particular aquellas con potencial para su prospección y explotación como reservorios subterráneos (acuíferos). El mapa permitió zonificar a los acuíferos fisurados sedimentarios, acuíferos porosos no consolidados y acuitardos (Figura 8.5).

Para la representación de mapas con colores y símbolos se tomó como guía las recomendaciones establecidas en el manual para la elaboración de mapas hidrogeológicos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), escrita por Struckmeier y Margat (1995) y que lo usan la gran mayoría de servicios geológicos del mundo.

8.1.2.2. Unidades hidrogeológicas

La calificación de materiales hidrogeológicos corresponde a una hidrogeología regional, cuya clasificación hidrogeológica es heterogénea, se realizó en base al inventario de fuentes, la litología de las formaciones geológicas (mapa de lito-permeabilidades), e información de permeabilidad calculada en campo.

La representación final del mapa hidrogeológico corresponde a la zonificación del acuífero poroso no consolidado del piso de valle, el los horizontes acuíferos de la Formación San Sebastián, que abarca gran parte de la parte baja de la quebrada, los acuíferos fisurados sedimentarios, sobre todo las areniscas cuarzo-feldespáticas de las formaciones Kayra y Soncco, además en menor proporción los acuitardos en rocas sedimentarias (Figura 8.5).

a) Acuíferos

Es toda unidad litológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea en su interior. Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad. Según su litología, extensión y productividad, se ha identificado a los acuíferos con condiciones de almacenamiento y circulación de agua subterránea en la microcuenca Pillao Matao.

a.1) Acuíferos porosos no consolidados

Desde el punto de vista hidrogeológico corresponde a formaciones detríticas no consolidadas (suelos), con características porosas y permeables. Están compuestas por depósitos cuaternarios recientes, rellenado los valles (de espesor considerables) y quebradas, además de rellenar algunas altiplanicies. La litología predominante está conformada por las gravas arenosas y gravas con limo, que facilitan circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas. En estos depósitos también se encuentran sedimentos finos, como horizontes limo arcillosos y esporádicos bancos

de arcilla (Figura 8.2)., en su mayoría se ubica en la parte baja o desembocadura de la quebrada Pillao Matao.

a.1.1) Acuífero poroso no consolidado de las márgenes del río Huatanay.

Corresponden a los depósitos fluviales y aluviales que se encuentran a las orillas del río Huatanay, en la desembocadura de la quebrada Pillao Matao. Los depósitos fluviales corresponden a arenas y gravas que cubren el cauce y terrazas del río Huatanay, a estos depósitos le siguen los depósitos aluviales, que están conformados por gravas y areniscas envueltos en una matriz areno-arcillosa que se encuentran adosados a la desembocadura de las quebradas, estas unidades presentan una porosidad primaria de hasta 30% y buena permeabilidad. Son de mediana a alta profundidad, y que por estar constantemente alimentado por el río Huatanay, tiene buena cantidad de reserva, siendo de alto potencial hidrogeológico.

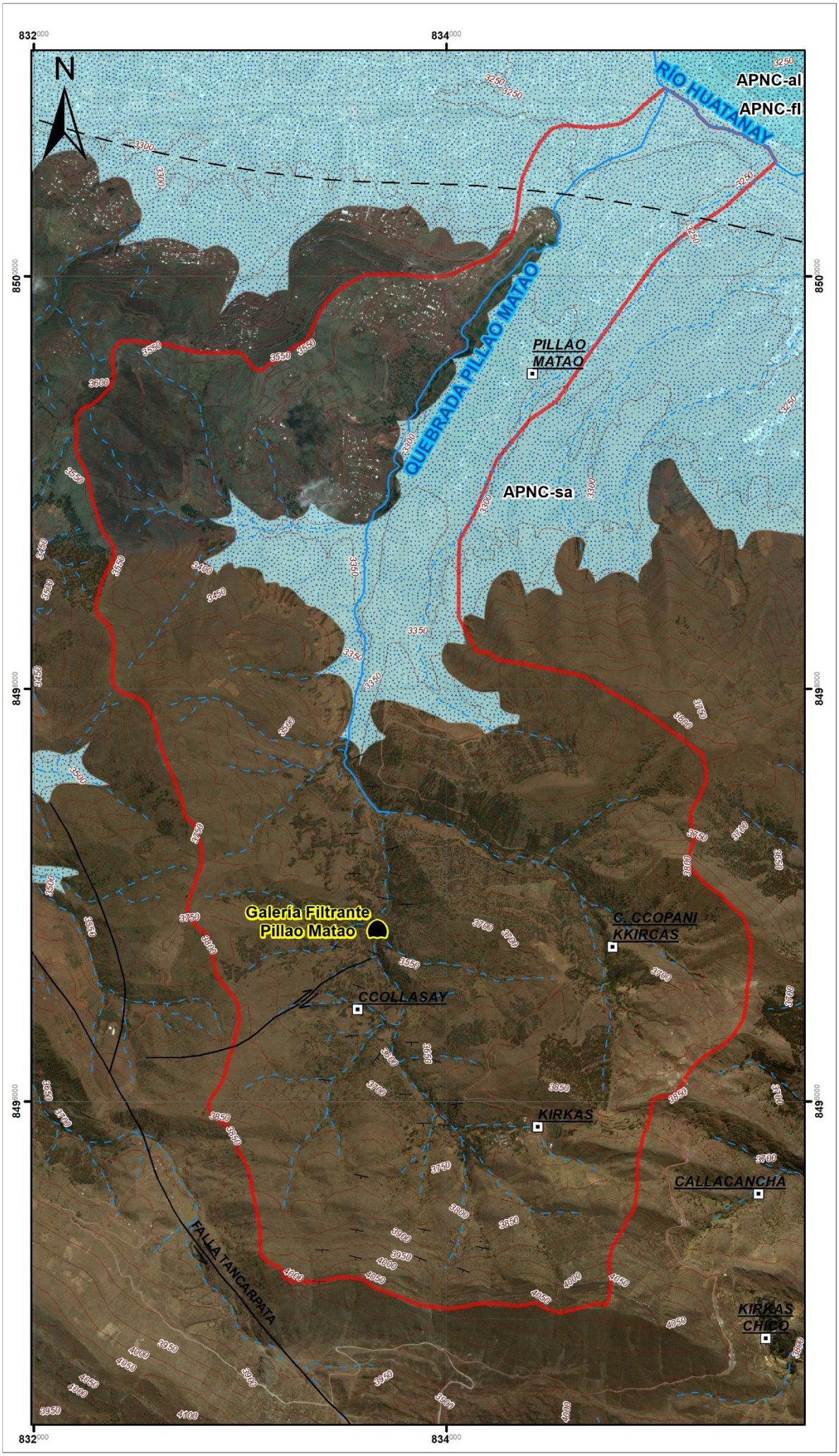
a.1.2) Acuífero poroso no consolidado San Sebastián.

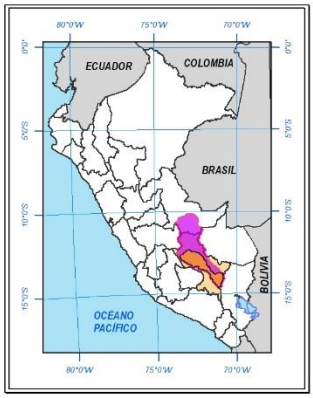
Corresponden a horizontes intercalados entre materiales permeables e impermeables, las areniscas fluviales con arcillas lacustres que se encuentran cubriendo la parte baja de la microcuenca Pillao Matao (Fotografía 8.1).

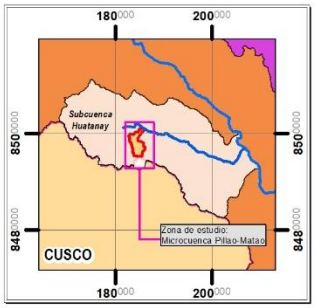
Las arenas fluviales de esta formación actúan como acuíferos, que se encuentran entre niveles impermeables de la misma formación, siendo acuíferos locales, la porosidad eficaz de estas areniscas llega hasta 28% (Sanders, 1998).

Por estar ubicada en la quebrada de Pillao Matao y cerca a la desembocadura de la misma, en esta parte predominan las arenas fluviales, sobre todo en el fondo de las cárcavas, donde el año 2000, el centro Guamán Poma de Ayala realizó perforaciones piezométricas someras a lo largo de dos quebradas de Pillao Matao, encontrando niveles importantes de aguas subterráneas que, en el futuro, podrían ser motivo de exploración más detallada si se requiere cuantificar las reservas de este acuífero.

Fotografía 8.1. Parte baja de la quebrada Pillao Matao, el acuífero sedimentario San Sebastián se ubica en el eje de las cárcavas.







SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Centro Poblado
- Secciones
- Curvas de nivel
- Falla normal
- Falla inferida
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Microcuenca Pillao Matao

LEYENDA

UNIDAD	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
ACUÍFERO	POROSO NO CONSOLIDADO	APNC-al APNC-fl APNC-sa

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 8.2

a.2) Acuíferos fisurados sedimentarios

Corresponde a rocas de origen sedimentario, de aspecto fracturado y diaclasado, por su ubicación son muy heterogéneos en cuanto a cantidad de fracturas y componente litológico. Las fracturas, fallas y diaclasas pueden tener diferente densidad, en sectores alimentan los reservorios acuíferos y en sectores limitan la circulación de aguas subterráneas, generando surgencias o manantiales, esta limitación se produce porque los acuíferos fisurados sedimentarios generalmente están intercalados con estratos impermeables de espesores delgados y variables.

Para que un acuífero fisurado sedimentario realmente funcione como reservorio de aguas subterráneas, las fracturas deben estar abiertas e interconectadas unas con otras y con la superficie para poderse recargar. Muchas fracturas en rocas sedimentarías se encuentran rellenas de arcillas o limos, resultado de la meteorización o acumulación de materiales finos, sin embargo, se ha realizado una clasificación de acuerdo a la litología predominante de las formaciones geológicas.

Entre los mejores acuíferos de la región tenemos a las Formaciones Kayra y Soncco (Fotografías 8.2 y 8.3), que comprende areniscas arcósicas de grano medio, posee porosidad primaria y secundaria (fracturas abiertas) e interconexión entre ellas constituyéndose en acuíferos de gran potencial. De las fuentes de aguas subterráneas que se captan en este acuífero 6 son galerías filtrantes y también existen numerosos manantiales con captación directa mediante alerones. Precisamente la galería filtrante de Pillao Matao se encuentra en estos acuíferos.

a.2.1.) Acuífero fisurado sedimentario Kayra.

Aflora en gran parte de la microcuenca Pillao Matao, esta predominantemente compuesto de areniscas feldespáticas y cuarzo-feldespáticas y areniscas arcósicas, tienen una buena porosidad primaria y secundaria, debido a la gran cantidad de fracturas presentes en las rocas, lo que facilita la infiltración del agua de lluvia que recarga el acuífero principal.

Esta unidad presenta valores de porosidad que van de 6 a 16% y permeabilidad medida en campo de hasta 0.213 m/día (para el presente reporte), su espesor, es variable, cuyo límite máximo es de 300 metros, por lo que interpretamos que existe considerables reservas de agua subterránea.

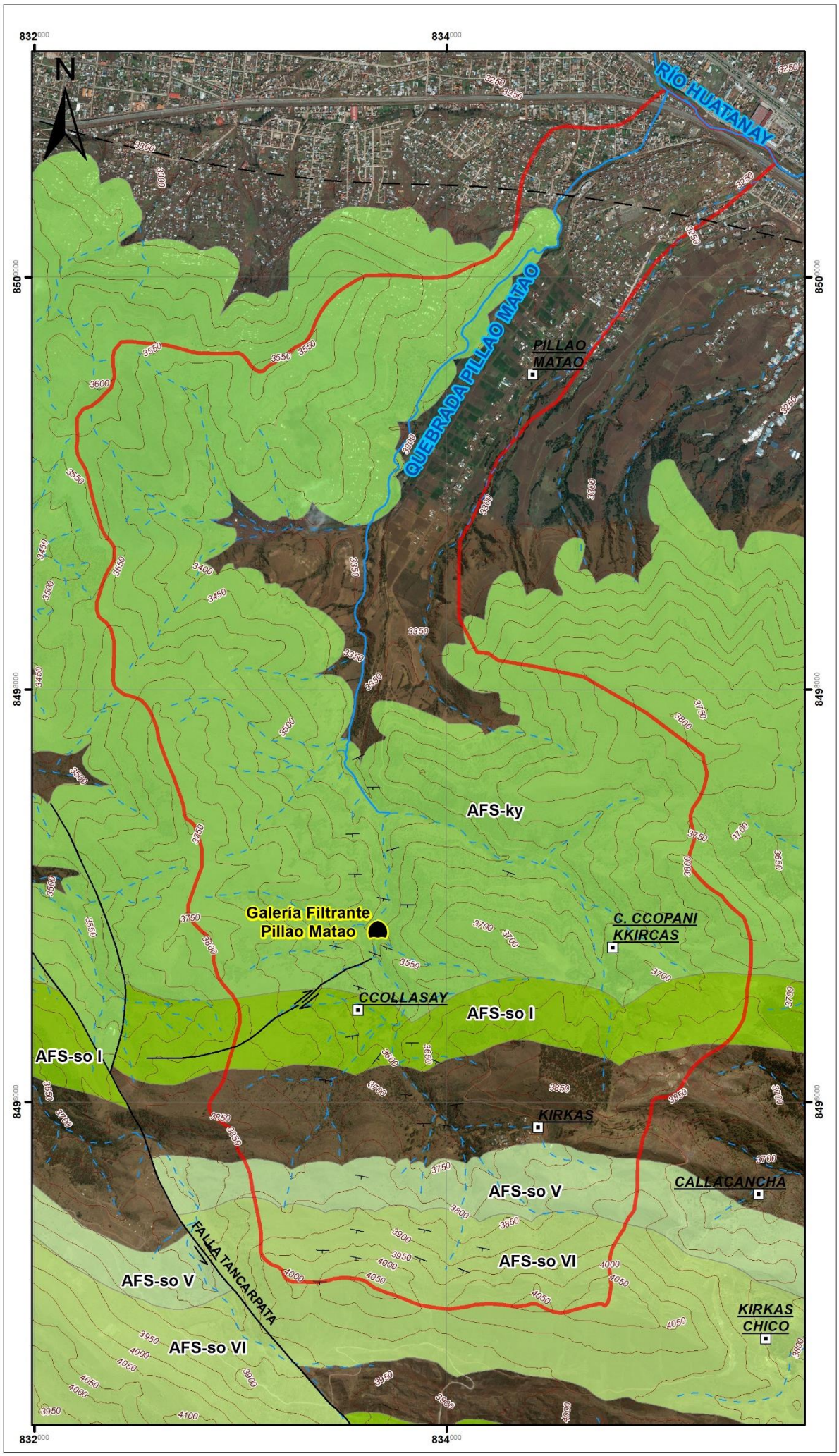
El acuífero Kayra es considerado uno de los mejores acuíferos de la subcuenca Huatanay, puesto que presenta grandes superficies de afloramiento y alta producción de aguas subterráneas, probadas en las galerías filtrantes de Salkantay, Tancarpata, Saylla, San Jerónimo y Pillao Matao.

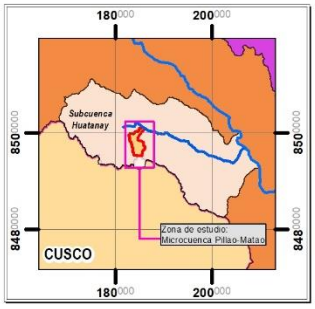
a.2.2.) Acuífero fisurado sedimentario Soncco.

La Formación Soncco aflora en la parte alta de la microcuenca Pillao Matao y se divide en seis secuencias, de las cuales la secuencia I, V y VI se clasifican como unidades acuíferas y están compuestas por lo general de potentes estratos de areniscas intercaladas con horizontes delgados de lutitas y limolitas. La porosidad varía de 8% a 12%, mientras que la permeabilidad medida en campo va hasta 0.1424 m/día. Este acuífero se encuentra sobre el acuitardo Soncco (otra unidad inferior), que condiciona el movimiento y flujo de las aguas subterráneas.

Fotografía 8.2. Parte alta de la quebrada Pillao Matao, donde aflora el acuífero fisurado sedimentario Kayra y Soncco.

Fotografía 8.3. Afloramiento de areniscas cuarzo feldespáticas de la Formación Kayra, en las inmediaciones de la galería filtrante de Pillao Matao.





SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Centro Poblado
- Secciones
- Curvas de nivel
- Falla normal
- Falla inferida
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Microcuenca Pillao Matao

LEYENDA		
UNIDAD	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
ACUÍFERO	FISURADO SEDIMENTARIO	AFS-ky AFS-so VI AFS-so V AFS-so I

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital. Año 2018

Escala 1:25,000

0 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 Km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 8.3

b) Acuitardos

Los acuitardos son rocas prácticamente impermeables, conforman gran parte de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio. La importancia de los acuitardos en la microcuenca Pillao Matao se debe a que estas rocas conforman estratos condicionantes para el almacenamiento y surgencias de las aguas subterráneas en los acuíferos.

En forman general encontramos algunas secuencias de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Soncco y a la Formación Punacancha (Fotografía 8.4).

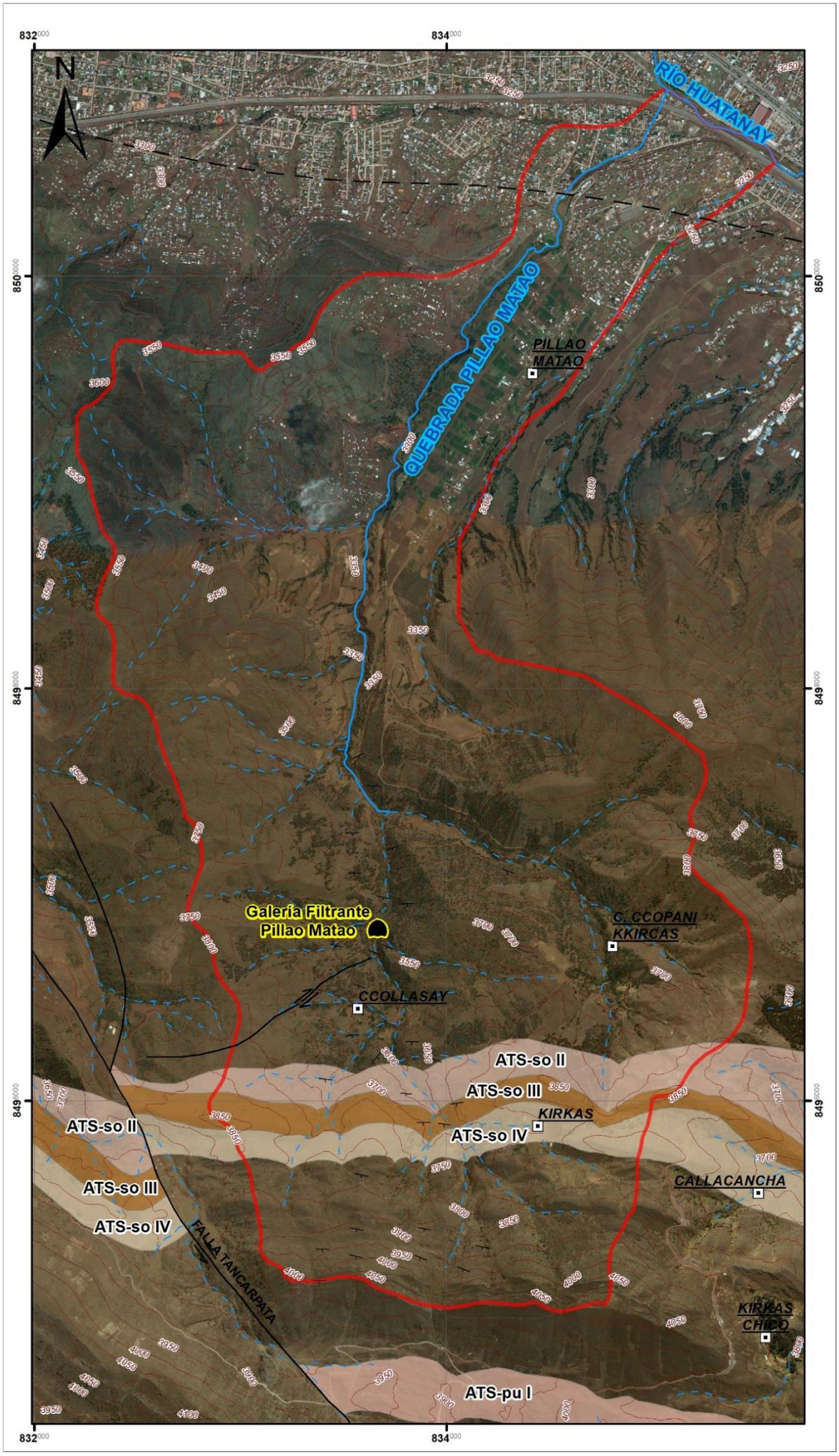
b.1) Acuitardo Soncco

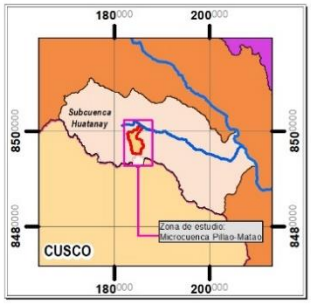
Corresponde a la secuencia II, III y IV de la Formación Soncco, su litología comprende lutitas y limolitas intercalados con areniscas. Sus propiedades físicas con porosidad alta, pero de baja permeabilidad, las hacen menos importantes para la exploración hidrogeológica. Este tipo de rocas son impermeables tiene porosidad alta pero baja a nula permeabilidad, donde la circulación del agua es muy lentamente, solo se transmite agua a través de fracturas y presión hidrostática.

b.2) Acuitardo Punacancha

Se encuentra sobre el acuífero Soncco VI, está compuesto por lutitas y limolitas rojas de llanura de inundación, con alta porosidad, pero casi nula permeabilidad. Esta formación se considera el límite superior del acuífero fisurado de Pillao Matao, aflora en la parte posterior sur de la microcuenca. Su característica impermeable nos permite interpretar que se comporta como el nivel limite y poco permeable del acuífero fisurado sedimentario y tiene escaso a nulo interés hidrogeológico.

Fotografía 8.4. Afloramiento de areniscas intercaladas con lutitas y limonitas rojizas, se ubican en el flanco oeste de la quebrada Pillao Matao, nótese su aspecto impermeable.





SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Centro Poblado
- Secciones
- Curvas de nivel
- Falla normal
- Falla inferida
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Microcuenca Pillao Matao

LEYENDA

UNIDAD	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
ACUITARDO	SEDIMENTARIO	ATS-so IV ATS-so III ATS-pu I ATS-so II

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ACUITARDOS

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

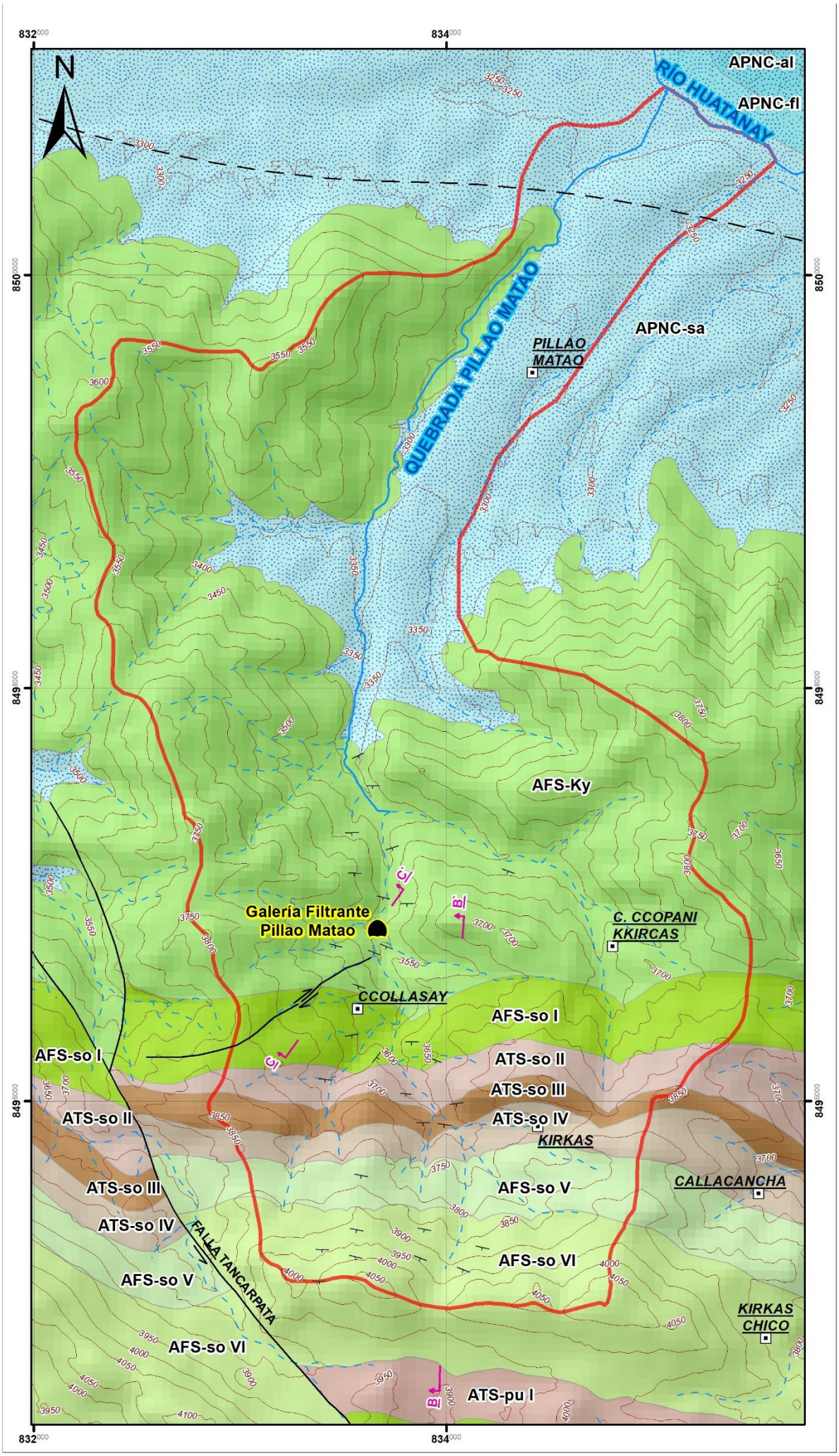
Versión digital: Año 2018

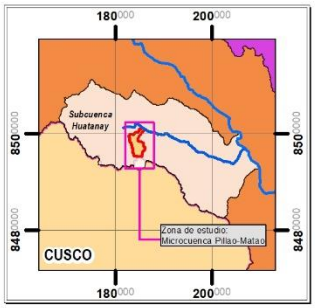
Escala 1:25,000

0 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 8.4





SIMBOLOGÍA

- Galería Filtrante Pillao Matao
- Centro Poblado
- Secciones
- Curvas de nivel
- Falla normal
- Falla inferida
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Microcuenca Pillao Matao

LEYENDA

UNIDAD	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
ACUÍFERO	POROSO NO CONSOLIDADO	APNC-al APNC-fl APNC-sa
	FISURADO SEDIMENTARIO	AFS-ky AFS-so VI AFS-so V AFS-so I
ACUITARDO	SEDIMENTARIO	ATS-so IV ATS-so III ATS-pu I ATS-so II

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA HIDROGEOLÓGICO

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital. Año 2018

Escala 1:25,000

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 8.5

8.2. Análisis de rocas

En la subcuenca Huatanay, se han tomado muestras de rocas en las inmediaciones de cuatro (4) galerías filtrantes, con el objetivo de correlacionar la composición química de las rocas con la composición química del agua subterránea. Tres muestras de roca fresca, corresponden a rocas sedimentarias de la Formación Kayra y una muestra a rocas volcánicas del Grupo Mitú, las cuales se han analizado mediante el método de difracción de rayos X, la misma que nos detalla la composición mineralógica en porcentaje de la muestra de roca.

a) Los resultados de la muestra de roca tomada en las inmediaciones de la galería Salkantay se visualiza en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.1
Resultados de la muestra de roca 49949-46

	CODIGO DE MUESTRA	**49949-46**	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Cuarzo	SiO2	62.75
02	Albita	NaAlSi3O8	18.14
03	Calcita	CaCO3	12.74
04	Anortoclasa	(Na,K)(Si3Al)O8	5.67
05	Muscovita	(K,Na)(Al,Mg,Fe)2(Si3.1Al0.9)O10(OH)2	0.35
06	Caolinita	Al2Si2O5(OH)4	0.35

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la muestra (49949-46), por el porcentaje de minerales, corresponde a una arenisca cuarzo-feldespática, con minerales accesorios de moscovita. Se observa la presencia de calcita, la cual se encuentra presente en el cemento y matriz de la roca, también se observa la presencia de arcillas como la caolinita, producto de la alteración supérgena débil de las plagioclasas.

Esta roca otorga propiedades químicas de alta calidad a las aguas subterráneas que tiene contacto con ellas.

b) Los resultados de la muestra de roca tomada en las inmediaciones de la galería Marashuaycco se visualiza en el cuadro 8.2.

Cuadro 8.2
Resultados de la muestra de roca 49949-48

	CODIGO DE MUESTRA	**49949-48**	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Cuarzo	SiO2	42.76
02	Calcita	CaCO3	33.2
03	Albita	NaAlSi3O8	16.39
04	Anortoclasa	(Na,K)(Si3Al)O8	5.50
05	Hematita	Fe2O3	1.44
06	Muscovita	(K,Na)(Al,Mg,Fe)2(Si3.1Al0.9)O10(OH)2	0.46
07	Clinocoro	(Mg,Fe,Al)6(Si,Al)4O10(OH)8	0.25

Fuente: Elaboración propia, 2017

La muestra 49949-48 tiene concentraciones de cuarzo, calcita, albita, anortoclasa y muscovita, como minerales principales, los cuales la caracterizan a una arenisca cuarzo-feldespática, con un alto contenido de carbonatos en la matriz y en el cemento (33.2%). También encontramos concentraciones de hematita, la cual corresponde a un mineral común en rocas sedimentarias. Un mineral accesorio en esta muestra es el clinocloro, el cual es una alteración de la muscovita y que muy posiblemente se descompongan en arcillas.

c) Los resultados de la muestra de roca tomada en las inmediaciones de la galería Atochuachana se visualiza en el cuadro 8.3.

Cuadro 8.3
Resultados de la muestra de roca 49949-49

	CODIGO DE MUESTRA	**49949-49**	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Calcita	CaCO3	74.08
02	Hematita	Fe2O3	10.05
03	Albita	NaAlSi3O8	9.47
04	Anortoclasa	(Na, K)(Si3Al)O8	3.62
05	Montmorillonita	Ca0.2(Al, Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O	2.78

Fuente: Elaboración propia, 2017

La muestra 49949-49 tiene concentraciones de cuarzo, calcita, albita, anortoclasa y moscovita, como minerales principales, los cuales se forman por un rápido enfriamiento de las lavas producto de una erupción efusiva. La calcita se presenta como mineral primario formada aparentemente a partir de magmas ricos en CO_2 y suele sr un mineral tardío que cristaliza en matriz o en segregados. También encontramos concentraciones de hematita, que corresponde a un oxido férrico, que constituye un importante contenido de Fe, sin embargo, en la muestra analizada corresponde solo al 10.05 % del contenido mineralógico en la muestra.

La muestra (49949-49), corresponde a un flujo de lava posiblemente Andesita.

d) Los resultados de la muestra de roca tomada en las inmediaciones de la galería Pillao Matao se visualiza en el cuadro 8.4.

Cuadro 8.4
Resultados de la muestra de roca 49949-51

	CODIGO DE MUESTRA	**49949-51**	
Nº	MINERAL	FÓRMULA	%
01	Calcita	CaCO3	31.25
02	Albita	NaAlSi3O8	25.31
03	Cuarzo	SiO2	19.00
04	Laumontita	Ca4Al8Si16O48.14H2O	12.50
05	Edenita	(Ca,Na)3Mg5(Si,Al)8O22(OH)2	4.77
06	Augita	Ca(Fe,Mg)Si2O6	3.00
07	Hematita	Fe2O3	2.59
08	Montmorillonita	Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O	1.58

Fuente: Elaboración propia, 2017

La muestra 49949-51, por sus componentes mineralógicos, corresponde a una arenisca feldespática, con matriz y cemento calcáreo y con presencia de cuarzo (19%). Presenta minerales arcillosos como la laumontita y la montmorillonita, que proceden de la alteración de los feldespatos al contacto con el agua. En menores proporciones encontramos la hematita y augita como minerales trazas, que son minerales esporádicos en las areniscas feldespáticas, pero no son raros.

8.2.1. Interpretaciónes

Según los resultados de análisis de rocas, en las cuatro (4) muestras analizadas, el contenido de minerales no tiene ningún elemento que puedan alterar la calidad de las aguas, por lo tanto, las aguas subterráneas que procedan de estos acuíferos tendrán aguan de calidad para consumo humano y riego.

8.3. Análisis químico e isotópico de las aguas subterráneas

8.3.1. Estaciones de muestreo de aguas subterráneas

El objetivo principal planteado en este acápite es evaluar la naturaleza de los afloramientos de agua, su posible origen geoquímico, la calidad del agua subterránea, así como la interacción de las aguas subterráneas con los materiales del entorno.

En la subcuenca Huatanay se ha muestreado 8 fuentes de aguas subterráneas en época de lluvias, considerando un punto de muestreo de aguas de lluvia. Posteriormente se tomaron 7 muestras en épocas de estiaje; que corresponden a 6 galerías filtrantes y una pantalla de Regulación.

Adicionalmente en todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* se parámetros físico-químicos con equipos portátiles.

8.3.2. Selección de la serie analítica

La serie analítica, se seleccionó con la finalidad de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos principales de las aguas subterráneas.

Los parámetros más importantes medidos y analizados son los siguientes:

- Parámetros físico-químicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS, carbonatos y bicarbonatos.
- Parámetros Inorgánicos: sulfato, cloruros y nitratos.
- Metales disueltos: Al, Ag, Sb, As, Be, Ba, B, Bi, Cd, Ce, Ca, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Mn Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Hg, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, Wo, Yb, Zn, Zr. entre los principales (serie estándar para metales totales y disueltos ICP-MASA).

En cada estación de muestreo, se registraron las coordenadas UTM del punto (proyección WGS 84) y las características físicas como apariencia, color y olor. Se tomaron parámetros de campo (pH, temperatura, conductividad eléctrica, TDS, salinidad, resistividad y oxígeno disuelto) y se recolectaron muestras respectivas para los análisis en laboratorio. Para la toma de parámetros en campo, se utilizaron dos equipos multiparamétricos de marca WTW y Thermo Orión. Estos equipos, se calibraron utilizando sus respectivos estándares y siguiendo las indicaciones del fabricante.

8.3.3. Análisis de resultados

El laboratorio seleccionado, para el análisis de las muestras de agua, fue el laboratorio de Ingemmet, donde se analizaron las ocho (8) muestras de aguas subterráneas tomadas en época de lluvias (mayo 2017) y las siete (7) muestras tomadas en época de estiaje (octubre 2017).

Para el presente trabajo se consideraron seis (6) galerías filtrantes, una (1) Pantalla de regulación y una muestra de la lluvia tomada en las inmediaciones del centro poblado de Kirkas, la que nos permitirá evaluar las características hidroquímicas del reservorio acuífero en rocas sedimentarias y en rocas volcánicas.

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

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

8.3.4. Parámetros físico-químicos de las aguas

8.3.4.1. pH

La medición del pH, se realizó *in situ,* durante las campañas de campo del 2017, en cada fuente muestreada con equipos portátiles. En general, en ambas campañas, los valores muestran una tendencia neutra con valores entre 6.8 y 7.5, considerando que no existe acidez, ni alcalinidad en las muestras de agua.

8.3.4.2. Temperatura

Los valores de temperaturas en el agua subterráneas están relacionado a la profundidad de circulación que tiene el agua en su recorrido, las fuentes cuyos valores son superiores a 20° C, en lugares fríos y las que superan en 4°C la temperatura del ambiente, en lugares cálidos, se consideran fuentes termales (D.S.015-2005 – MINCETUR).

Las fuentes inventariadas en el presente informe varían desde los 9° C a los 18.4 °C, por lo tanto; ninguna fuente se considera como termal.

8.3.4.3. Conductividad Eléctrica (CE)

De acuerdo a los estudios hidrogeológicos realizados por INGEMMET en las diferentes cuencas hidrográficas del Perú, se evidencia que los valores habituales de conductividad eléctrica para aguas subterráneas en zonas continentales (alejadas de la línea de costa) oscilan entre 10 µS/cm y 1300 µS/cm, estos valores coincidentemente se encuentran dentro del rango de valores aptos para consumo humano y riego (Peña et al, 2010).

En la subcuenca Huatanay los valores de conductividad tienen valores normales de aguas dulces, los que proviene de unos acuíferos muy buenos, de calidad comprobada.

- La galería filtrante Pillao Matao (49949-51: 575.3 µS/cm), fuente de mayor interés para el presente reporte, presenta un valor normal de flujos que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego.
- La galería filtrante Saylla (49949-52; 1377 µS/cm), se encuentra con un valor ligeramente elevado en contenido de sales, enriquecido en minerales, pero apta se encuentra dentro de los parámetros aptos para el consumo humano y riego, esta fuente se relaciona a su estructura de circulación, debido a una falla regional, que origina una circulación profunda y mayor tiempo de residencia en el subsuelo, lo que permite adquirir mayor contenido de sales.
- La galería de Salkantay (49949-46: 277.8 µS/cm), presenta un valor normal en contenido de sales que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego.

- La galería de Sacramayo (49949-47: 917.1 µS/cm), presenta un valor normal en contenido de sales que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego. Esta galería eleva en poca proporción su cantidad de sales debido a la circulación cercana a los depósitos de arcillas de la Formación Puquín.
- La galería de Marashuaycco (49949-48: 452.7 µS/cm), presenta un valor normal en contenido de sales que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego.
- La galería de Atochuachana (49949-49: 530.3 µS/cm), presenta un valor normal en contenido de sales que provienen de acuíferos fisurados volcánicos y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego.
- La pantalla de regulación de Huasao (49949-50: 4432.8 µS/cm), presenta un valor normal en contenido de sales que provienen de acuíferos fisurados sedimentarios y se encuentra dentro de los estándares nacionales para el consumo humano y riego. Sin embargo, el contenido bacteriológico debe ser analizado si se requiriera que estas aguas se utilicen para el consumo humano.

8.3.5. Facies Hidroquímicas

Teniendo como base, el mapa de inventario de fuentes, se ha evaluado las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios en el agua, como los cationes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}) y aniones (HCO_3^-, SO_4^{2-} y Cl^-).

El predominio de las facies hidroquímicas se ha calculado usando el software Aquachem versión 2014.2, que a su vez nos ha permitido generar un mapa hidroquímico que represente los valores y el predominio de los elementos químicos mayoritarios. Para establecer comparaciones entre los elementos predominantes se ha ploteado los puntos en el diagrama de Stiff, los cuales nos permitirán visualizar los resultados químicos de las aguas sobre un mapa hidroquímico (Figura 8.6 y 8.7).

Para el análisis e interpretación final de datos hidroquímicos se han utilizado los diagramas de Piper y evolución de flujos de Miflin, Stiff, Schoeller-Berkaloff; con la finalidad de dar una interpretación de su posible origen o procedencia del agua subterránea (interacción agua roca), así como su calidad para los distintos usos.

8.3.5.1. Diagramas de Stiff

Son representaciones gráficas, que muestran sintéticamente las características químicas principales del agua, facilitando su clasificación. En la figura 8.6, se observan los diagramas de Stiff para cada fuente analizada en tiempo de avenidas, y en la figura 8.7, se observan los diagramas de Stiff para cada fuente analizada en tiempo de estiaje.

En las figuras 8.6 y 8.7, se observan los mapas hidroquímicos de la zona de estudio con los diagramas de Stiff, representando cada punto de muestreo, analizado y clasificado con los valores respectivos.

En la subcuenca Huatanay, en época de avenidas, se observan tres rangos de valores hidroquímicos diferenciados en contenidos mínimos, solo para efectos de la interpretación.

En época de lluvia, se observan tres rangos de valores hidroquímicos:

- De 0 a 2 meq/L (3 muestras)
- De 0 a 9 meq/L (4 muestras)
- De 0 a 20 meq/L (1 muestra)

En época de estiaje, se observan tres rangos de valores hidroquímicos:

- De 0 a 2 meq/L (2 muestras)
- De 0 a 8 meq/L (4 muestras)
- De 0 a 20 meq/L (1 muestra)

Existen dos predominancias hidroquímicas marcadas en la subcuenca Huatanay, que corresponden a las bicarbonatadas cálcicas y sulfatadas cálcicas.

La predominancia hidroquímica de las fuentes de aguas subterránea en el valle del Huatanay corresponden a la Galería Salkantay (49949-46) y Galería; Marashuaycco (49949-48), con predominancia Bicarbonatada Cálcica (HCO_3-Ca) y concentraciones muy bajas, inferiores a 2 meq/L.

Las galerías Atochuachana (49949-49) y Sacramayo (49949-47), tienen predominancia sulfatada Cálcica (SO_4-Ca), cuya concentración de aniones mayoritarios es inferior a 8 meq/L.

La pantalla de regulación de Huasao (49949-50), tiene predominancia Bicarbonatada Cálcica (HCO_3-Ca) cuya concentración es inferior a 8 meq/L, adquirido durante la circulación de las aguas subterráneas con raíces de plantas o materia vegetal.

La galería filtrante de Saylla (49949-52), tiene predominancia sulfatada cálcica cuyas concentraciones llegan hasta 20 meq/L constituyéndose en la fuente con mayores concentraciones de aniones y cationes mayoritarios (Fotografía 8.5).

En cuanto a la galería filtrante Pillao Matao (49949-51) tiene una predominancia sulfatada cálcica (SO4-Ca), cuya concentración es inferior a 8 meq/L, que puede provenir del contacto con las rocas sedimentarias con alto contenido de plagioclasa y cuarzo, cuyo resultado también se observa en el análisis de rocas (Fotografía 8.6)

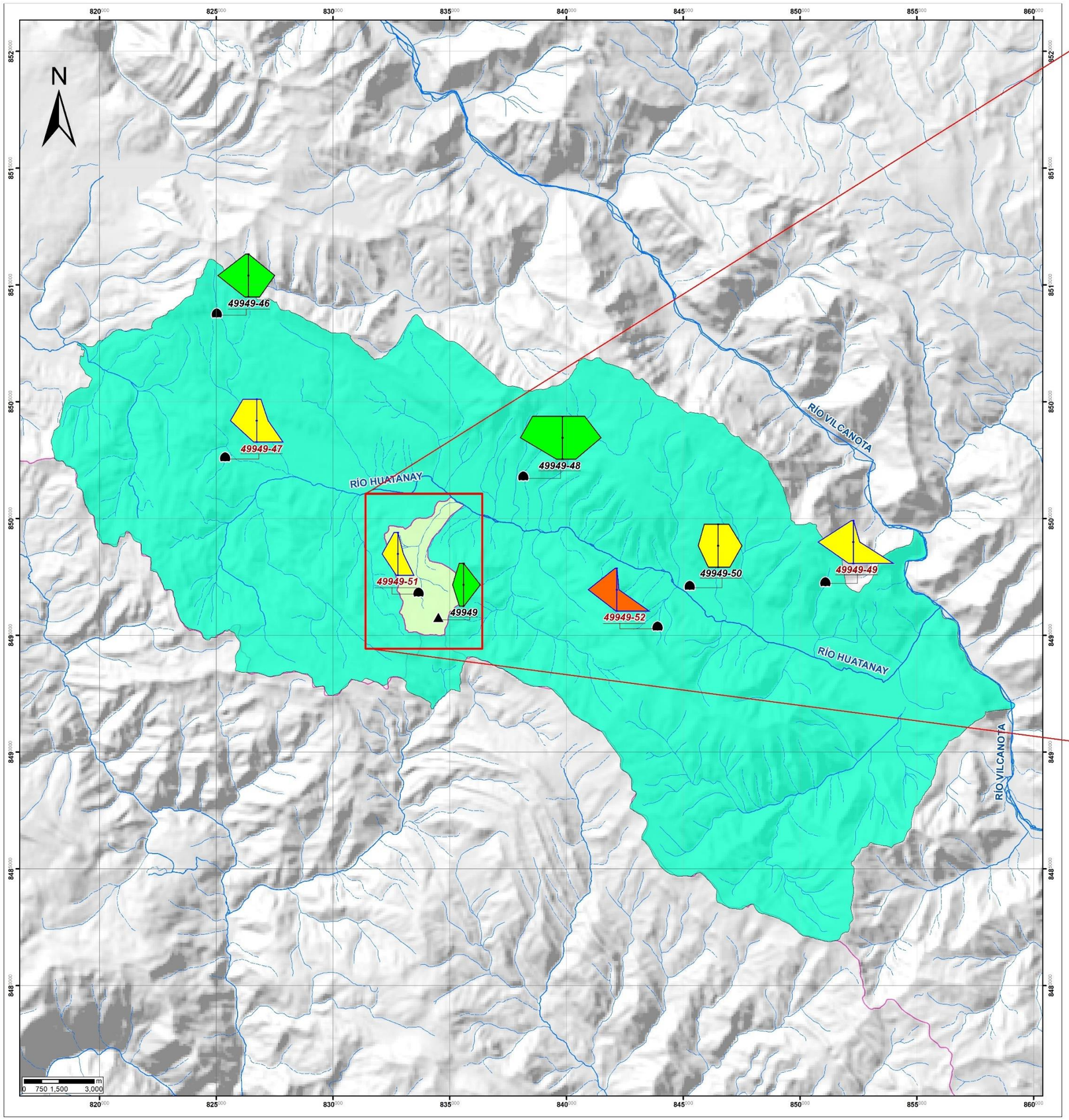
En los mapas se visualiza mayormente los gráficos de Stiff de color amarillo y verde, los que tienen bajos contenidos de sales y minerales, a diferencia de los gráficos de color naranja que se encuentra con mayor contenido de minerales.

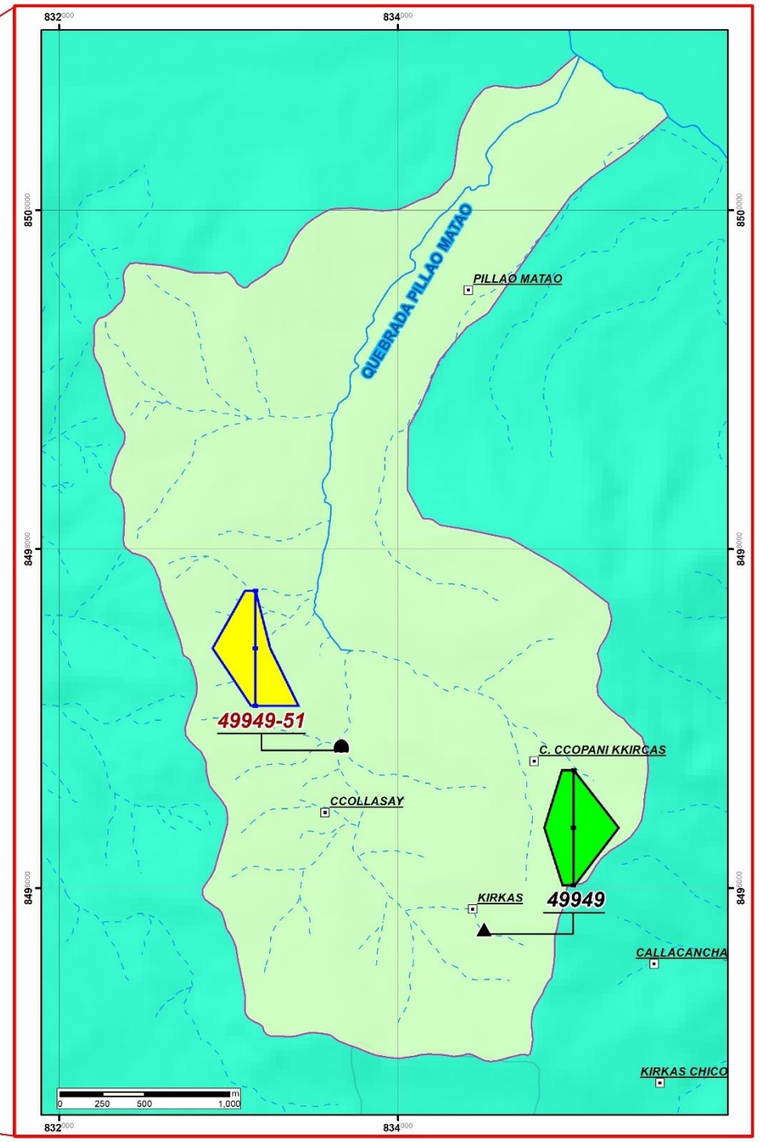
El contenido de estos minerales es bajo; por lo tanto, se consideran aguas de buena calidad para el consumo humano y riego.

En el sector de Kirkas donde se midió la predominancia química de las aguas de lluvia, nos muestra una predominancia Bicarbonatada Cálcica (HCO_3-Ca), con mínima concentración de aniones y cationes mayoritarios inferiores a 2 meq/L.

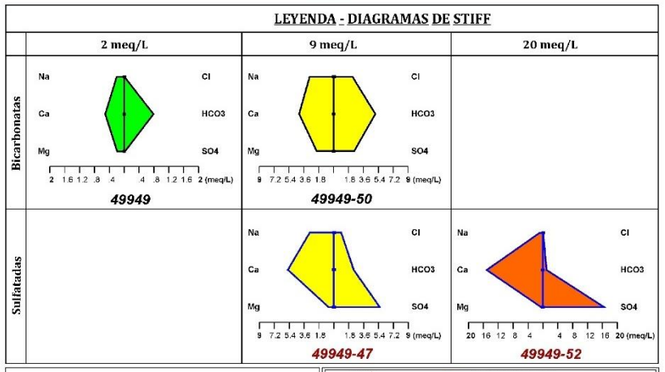
Fotografía 8.5. Medida de parámetros físico-químicos en el interior de la galería de Saylla.

Fotografía 8.6. Toma de muestras en el interior de la galería de Pillao Matao.





LEYENDA - DIAGRAMAS DE STIFF



SÍMBOLOGÍA

- Microcuenca Pillao Matao
- Subcuenca Huatanay

Drenaje

- Intermitente
- Permanente
- Centro Poblado

Tipo de Fuente

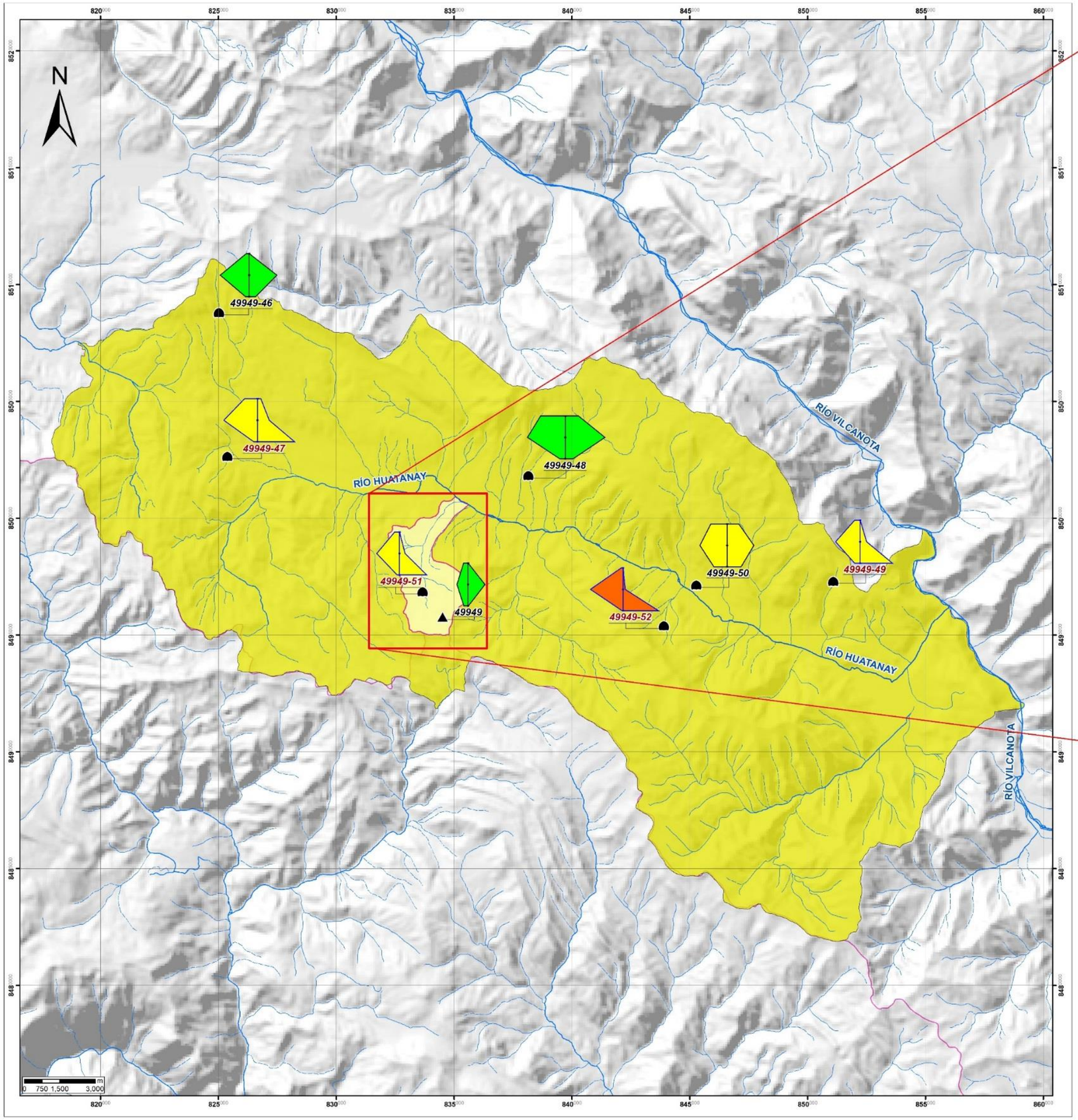
- Punto de control
- Galería Filtrante

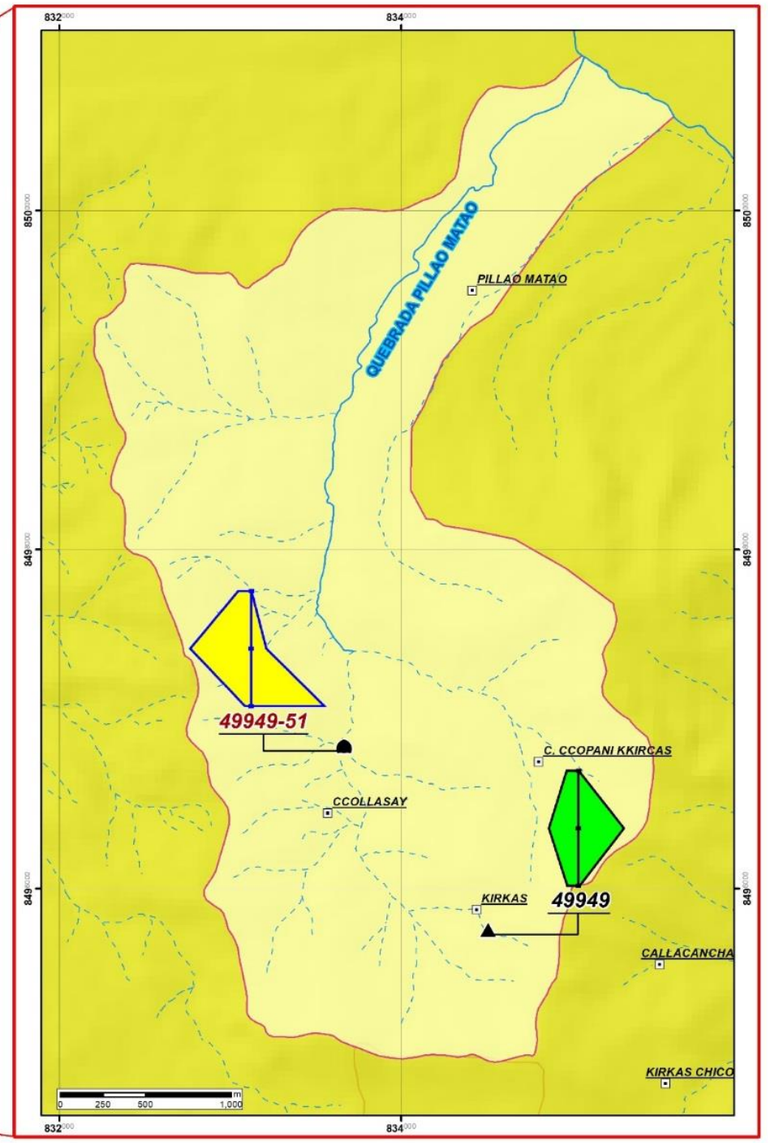
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA HIDROQUÍMICO (ÉPOCA DE AVENIDAS)

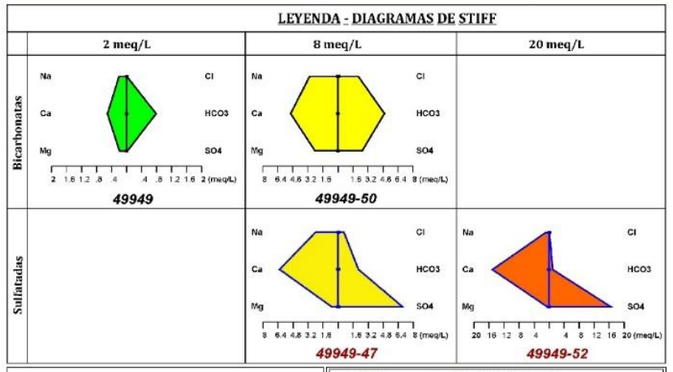
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 Sur	FIGURA Nº 8.6





LEYENDA - DIAGRAMAS DE STIFF



SÍMBOLOGÍA

- Microcuenca Pillao Matao
- Subcuenca Huatanay
- Drenaje
  - Intermitente
  - Permanente
- Centro Poblado
- Tipo de Fuente
  - Punto de control
  - Galería Filtrante

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA HIDROQUÍMICO (ÉPOCA DE ESTIAJE)

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 Sur	FIGURA N° 8.7

8.3.5.2. Diagramas de Piper y evolución de flujos Mifflin

Se ha utilizado este diagrama, para plotear los resultados de elementos mayoritarios, donde se representa las fuentes evaluadas de la subcuenca Huatanay. Los puntos ploteados corresponden a los contenidos predominantes de aniones versus los metales disueltos (cationes), los mismos que tienen predominancias coincidentes con el mapa hidroquímico elaborado con el diagrama de Stiff (Figura 8.6 y 8.7).

Los diagramas de Scatter nos permite corroborar estas predominancias con la evolución de flujos utilizando la relación hidroquímica Cl+SO4 vs Na+K (meq/l) (Mifflin, 1988 en Ángeles et al, 2004) (Gráfico 8.1, 8.2).

8.3.5.3. Interpretaciones

Considerando que, las predominancias químicas están relacionadas con la evolución de flujos, se establece el gráfico comparativo entre el diagrama de Piper y el diagrama de Scatter. En aguas naturales las fuentes de predominio bicarbonatado tienen corto recorrido, pero también existen fuentes sulfatadas que tienen corto recorrido, normalmente se presenta cuando los componentes iónicos son bajos.

a. Para épocas de lluvia (tiempo de avenidas).

En la subcuenca Huatanay, en época de avenidas, se tienen aguas subterráneas de predominancia sulfatada cálcica (SO_4-Ca), seguida de bicarbonatada cálcica (HCO_3-Ca).

La predominancia sulfatada cálcica (SO_4-Ca) coincide con fuentes de recorrido local a intermedio. Estas fuentes son aguas con mayor tiempo de retención en el subsuelo y con mayor distancia de recorrido. Sin embargo, es posible analizar con parámetros como el caudal y la temperatura, que nos ayudará a determinar si las fuentes de predominancia sulfatada, son de recorrido intermedio o tiene un enriquecimiento adicional de sulfato y calcio.

La predominancia bicarbonatada cálcica del agua procede fundamentalmente de la zona edáfica, donde hay una alta concentración de CO_2 debido a la respiración de organismos y la descomposición de la materia orgánica, las aguas que tiene contacto con materia orgánica, su recorrido es local a intermedio y adquieren la predominancia bicarbonatada.

Las galerías filtrantes Salkantay (49949-46), Marashuaycco (49949-48), la Pantalla de regulación de Huasao (49949-50) y el agua de lluvia (49949), corresponden a aguas bicarbonatadas cálcicas de flujos locales, a excepción de la Pantalla de Huasao que tiene una ligera ascendencia a flujo intermedio.

Las galerías filtrantes Sacramayo (49949-47), Atochuachana (49949-49), Pillao Matao (49949-51) y Saylla (49949-52), corresponden a aguas sulfatadas cálcicas de recorrido local a intermedio.

La fuente de mayor interés que es la galería filtrante Pillao Matao (49949-51), tiene una predominancia sulfatada cálcica y es de recorrido local, su predominancia sulfatada lo adquiere de la descomposición de sustancia orgánicas que tuvieron contacto con el agua, y su predominancia cálcica la adquiere de los procesos de reducción disolución y por el intercambio catiónico de las fases solidas de Sodio y Magnesio, con los recorridos del agua subterránea. Su fuente de alimentación proviene de la infiltración del agua de lluvia en los materiales sedimentarios de las formaciones Kayra y Soncco, en la parte alta de la microcuenca Pillao Matao.

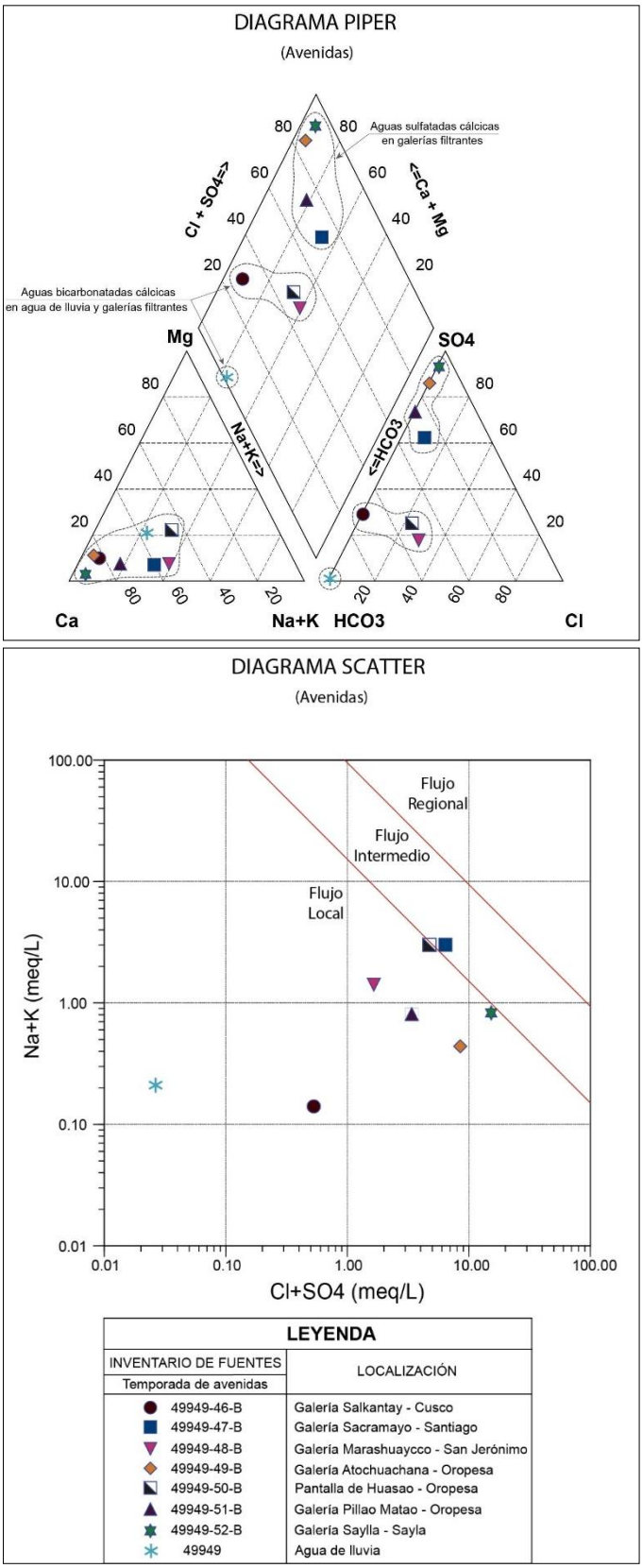


Gráfico 8.1. Diagramas de Piper y Scatter para época de avenidas

b. Para tiempo de estiaje

En tiempo de estiaje, en general las predominancias hidroquímicas no varían, la diferencia que existe es que en época de estiaje las concentraciones son ligeramente mayores, esto se debe a que no hay presencia de lluvias por lo que las aguas que se muestrearon en esta época, corresponden a las reservas de los acuíferos, con mayor tiempo de residencia en el subsuelo.

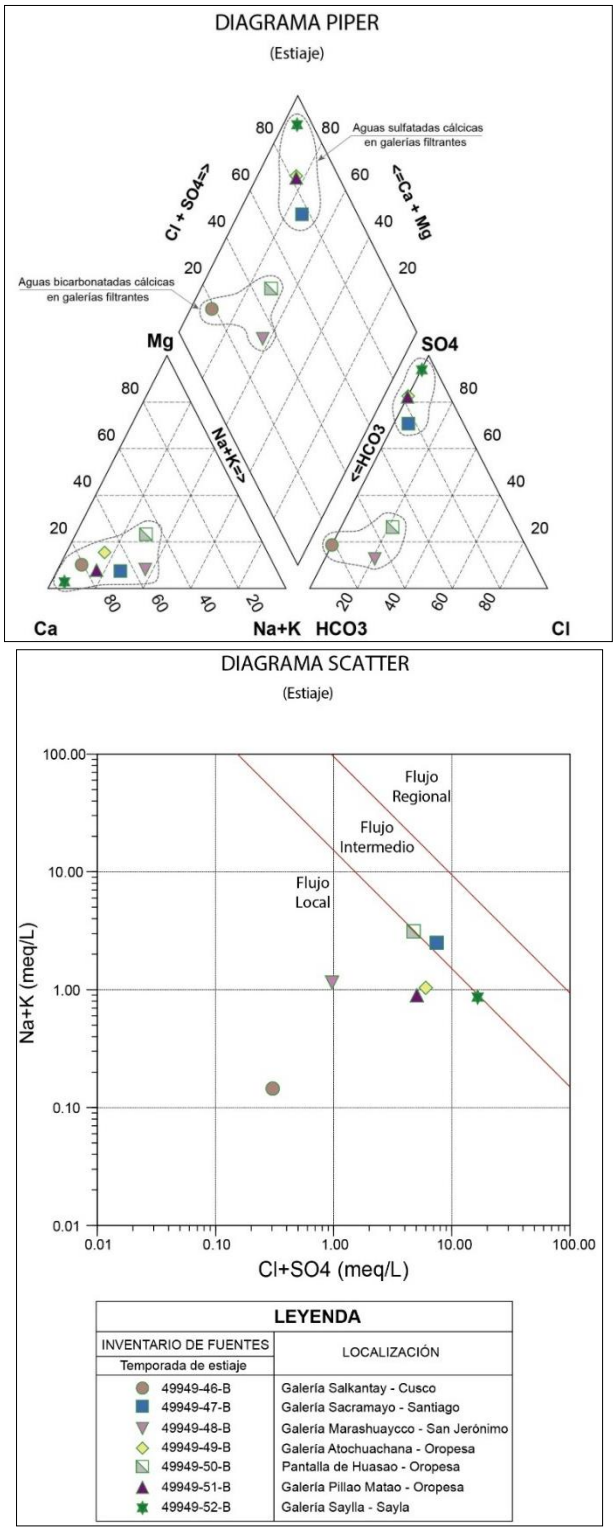


Gráfico 8.2. Diagramas de Piper y Scatter para época de estiaje

8.3.6. Evolución química de las aguas subterráneas

Desde que el agua alcanza el nivel piezométrico más próximo hasta que sale al exterior en un manantial o fuente termal, puede transcurrir unos días o miles de años, y el recorrido puede ser local o de varios kilómetros. Por lo tanto, la evolución de la composición química de las aguas dependerá de los materiales por donde atraviesa, el contenido de minerales con las que entra en contacto y del tiempo de residencia en el subsuelo.

Chebotarev, en el libro de Frezze y Cherry, (1980), realizaron un ensayo mediante el procesamiento de más de 10,000 muestras de aguas de pozos. Los aniones en las subterráneas tienden a evolucionar químicamente siguiendo la siguiente regularidad: HCO_3 >> SO_4 >> Cl-. Estos cambios ocurren en la medida que el agua se mueve desde zonas de alimentación y recarga con grandes caudales variables (flujos locales), pasando a través de zonas intermedias (flujos intermedios), hasta llegar a zonas donde los flujos son escasos y el agua es vieja, desde el punto de vista geológico (flujos regionales).

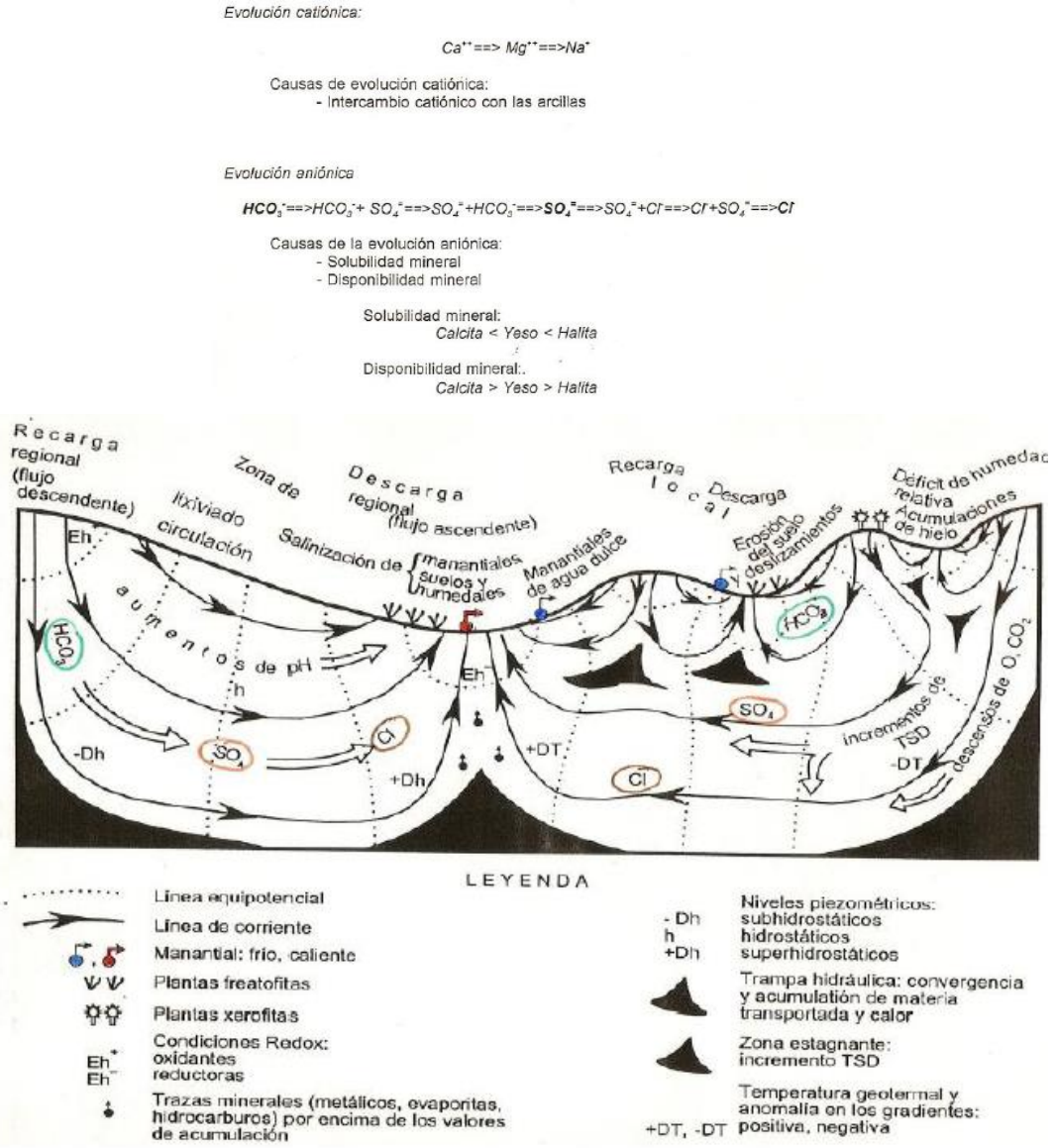


Figura 8.8. Sistemas de flujos para la evolución química de las aguas subterráneas (L. Rebollo, 2010)

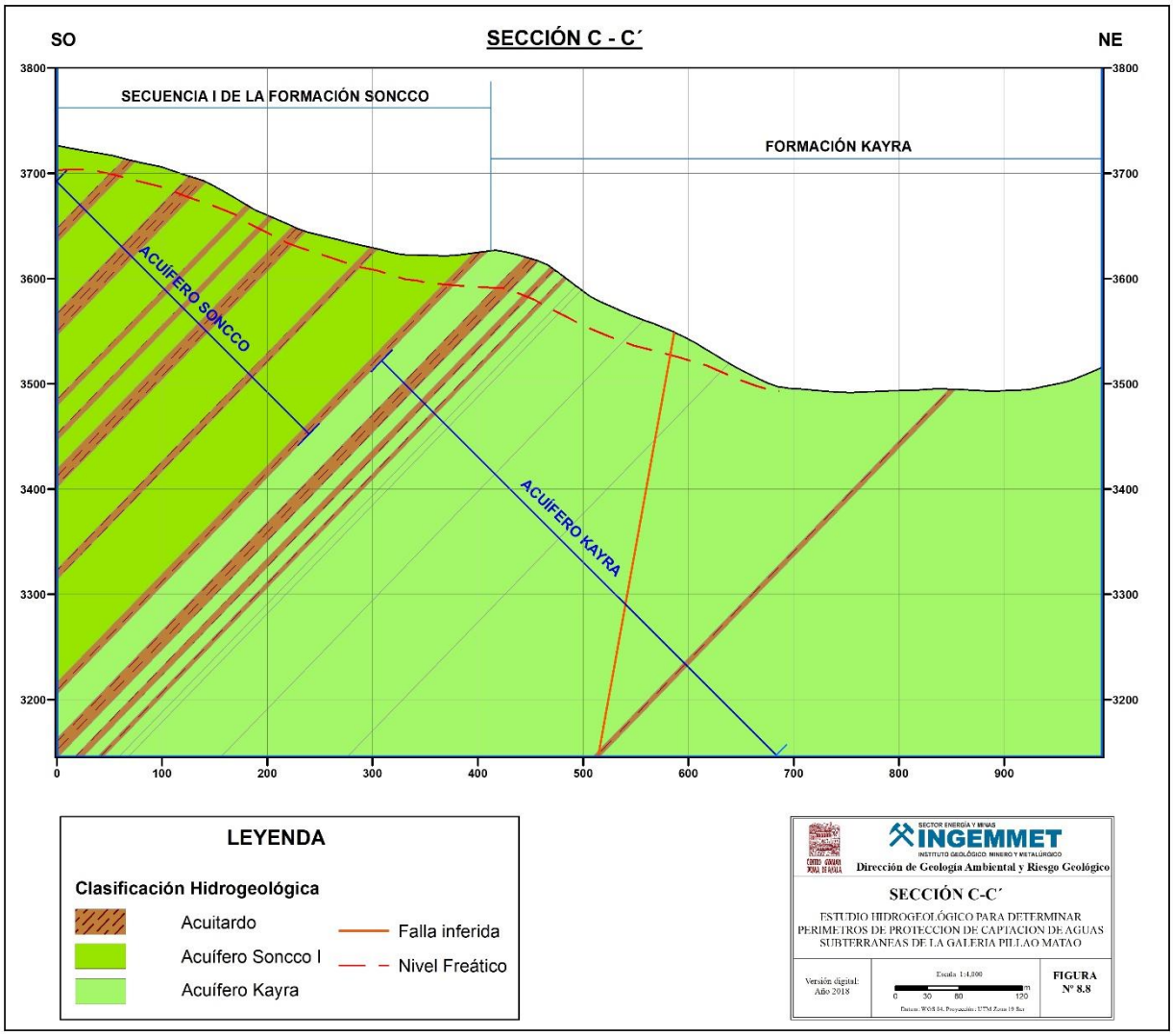


Figura 8.9. Sistema de flujos subterráneos en la microcuenca Pillao Matao

Los flujos de agua subterránea en la microcuenca de Pillao Matao, concretamente en la galería Filtrante de Pillao Matao son de carácter local, esto se puede comprobar con el diagrama de Scatter, donde el agua de la lluvia es el único elemento de alimentación y recarga. Estas aguas de lluvia infiltran en forma natural y también procedentes de las obras de recarga artificial mediante zanjas de infiltración.

8.3.7. Análisis Isotópico

Durante el año 2017 se ha establecido un monitoreo de las aguas subterráneas que proceden de las captaciones de aguas subterráneas mediante galerías filtrantes seis (6) y una (1) Pantalla de regulación de Huasao, adicionalmente también se tomaron muestras de la precipitación pluvial en épocas de lluvia (mayo 2017), en donde se intenta entender la dinámica de recarga natural y artificial que tiene los acuíferos. Para tal sentido, se ha realizado la colecta de muestras de agua para análisis hidroquímico e isotópico en dos periodos hidrológicos diferentes. El primer muestreo se realizó en el mes de mayo del 2017, el cual es el periodo natural de recarga de los acuíferos debido a la infiltración de lluvias meteóricas durante la fase madura del sistema de monzón sudamericano (Vera et al., 2006; Marengo et al., 2012). El segundo muestreo se realizó en el mes

de octubre del 2017, el cual es parte del periodo de estiaje regional debido a la falta de precipitación en respuesta a la estacionalidad de las lluvias producto de la insolación austral.

La colección de muestras en ambos periodos de tiempo, permiten tener una visión de la dinámica de los acuíferos, y comprender si existe la recarga efectiva durante los periodos de lluvias. No obstante, es ideal tener un monitoreo continuo mensual durante al menos dos periodos hidrológicos a fin de tener una mejor caracterización de la dinámica temporal (Ej. Cruz et al., 2006; Gómez et al., 2014); aun durante eventos extremos de ser el caso.

La colecta se realizó en seis galerías filtrantes. Una pantalla de regulación y una muestra de aguas de lluvia (Figura 8.10), con el objetivo de tener una representación espacial adecuada de la captación de aguas para en los acuíferos aledaños a la ciudad del Cusco.

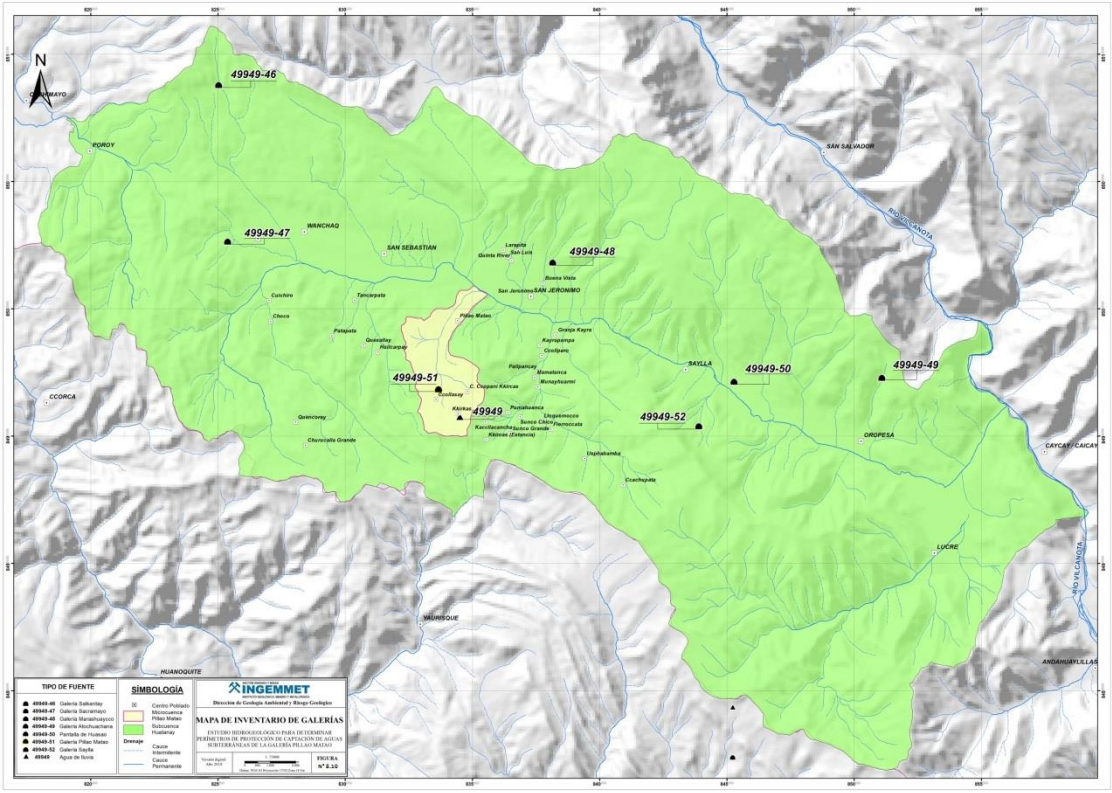


Figura 8.10. Localización los puntos de captación de aguas subterráneas (6 galerías, 1 pantalla de regulación y una muestra de aguas de lluvia) donde se colectaron las muestras trabajadas en el presente estudio. Los códigos asociados se observan en el cuadro 8.5.

La colecta de muestras de agua se realizó directamente un frasco de HDPE (polipropileno de alta densidad), para análisis isotópicos y frascos de polietileno para muestras de aniones y cationes mayoritarios y se preservo y filtro las muestras para análisis de metales disueltos. Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente y los frascos fueron colectados en su totalidad por agua subterránea. Es decir, se tomaron las muestras sin dejar ninguna burbuja de aire que alteraría la muestra debido al intercambio isotópico entre la fase gaseosa y liquida de la muestra. Dichas consideraciones fueron tomadas en cuenta y se recogieron frascos de 10 ml por cada muestra a modo de tener suficiente material para hacer réplicas de los análisis en caso hubiera algún

resultado analítico que exceda el error de estimación determinado por el espectrómetro y el protocolo analítico de los isotopos estables de interés.

Las muestras analizadas se detallan en el cuadro 8.5, en donde se observa la distribución espacial de las aguas colectadas. A su vez, es necesario mencionar que algunos análisis fueron realizados en triplicata, es decir, se analizaron tres veces en el espectrómetro a fin de confirmar la reproductibilidad de los análisis y mejorar la estadística de estimación de la señal isotópica, dado que se trabaja en partes por mil.

Cuadro 8.5

Código de muestreo y señal isotópica de las muestras colectadas en el presente estudio.

Codigo Laboratorio	Codigo muestreo	Tipo de agua	Fecha de colecta	$\delta_{18}O$	δD	Nombre
W-2351	4994946_0710	abastecimento	7/10/17	-16.8	-123.1	Galeria salcantay
W-2352	4994947_0710	abastecimento	7/10/17	-15.83	-119.2	Galeria Sacramayo - Santiago
W-2353	4994948_0710	abastecimento	7/10/17	-16.46	-123.3	Galeria Marashuaycco - San Jerónimo
W-2354	4994949_0610	abastecimento	6/10/17	-16.62	-123.9	Galeria Arohuachana - Oropesa
W-2355	4994950_0610	abastecimento	6/10/17	-15.42	-117.4	Pantalla de Huasao - Oropesa
W-2356	4994951_0610	abastecimento	6/10/17	-15.31	-117.1	Galeria Pilao Matao - San jerónimo
W-2357	4994952_0610	abastecimento	6/10/17	-16.7	-124	Galeria Saylla
W-2358	4994946_1803	abastecimento	18/03/17	-16.41	-120.2	Galeria salcantay
W-2359	4994947_1803	abastecimento	18/03/17	-15.72	-119.2	Galeria Sacramayo - Santiago
W-2360	4994948_1703	abastecimento	17/03/17	-16.4	-123.1	Galeria Marashuaycco - San Jerónimo
W-2361	4994949_1703	abastecimento	17/03/17	-16.68	-124.4	Galeria Arohuachana - Oropesa
W-2362	49949_1903	chuva	19/03/17	-14.35	-106.9	Pantalla de Huasao - Oropesa
W-2363	4994950_1703	abastecimento	17/03/17	-15.49	-117.8	Lluvia
W-2364	4994951_1803	abastecimento	18/03/17	-15.4	-117.5	Galeria Pilao Matao - San jerónimo
W-2365	4994952_1903	abastecimento	19/03/17	-16.66	-124	Galeria Saylla

Para el análisis isotópico en laboratorio se trabajó con un equipo PICARRO modelo I2110, el cual trabaja con la metodología CVR y presenta una precisión analítica de 0.05‰ de reproductibilidad entre muestras y estándares de análisis. Los estándares de análisis para las correcciones de la señal isotópica son aquellos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía Atómica y muestras de lagunas glaciares (Parón, Llanganuco) para calibrar las señales muy negativas o de alto fraccionamiento, tal como se registra en las señales isotópicas Andinas.

Los resultados del análisis de la señal isotópica de las aguas obtenidas de las muestras son presentados en cuadro 8.5, los resultados son otorgados usando la notación delta (□) con respecto a los isótopos de Oxígeno e Hidrógeno (Deuterio) y se expresan en partes por mil (‰) usando como referencia la señal estándar del agua de mar calibrada en los laboratorios del IAEA en Viena (VSMOW de las siglas en inglés Viena Standar Mean Ocean Water).

Un factor importante en la comprensión de la interacción entre las aguas meteóricas y subterráneas es la determinación de la señal isotópica de las aguas de lluvias. No obstante, estos monitoreos son complejos y requieren de colectores acondicionados para evitar la alteración de las muestras o evaporación después de las lluvias. Debido a que no existe una red de monitoreo isotópico en el país, ha sido pertinente la determinación de la señal isotópica del agua de lluvia a través de modelos de circulación global, con los cuales se ha establecido la señal isotópica de las precipitaciones a nivel mensual para un año promedio. Los valores modelados para la señal isotópica de la precipitación provienen del modelo ECHAM 4, y se encuentran disponibles a nivel

mensual y anual en la red de isotopos en precipitación propuesta por Bowen et al., 2008. Los datos y modelos de análisis son disponibles en formato mensual y anual de manera gratuita en la siguiente página:

http://wateriso.utah.edu/waterisotopes/pages/data_access/oipc.html

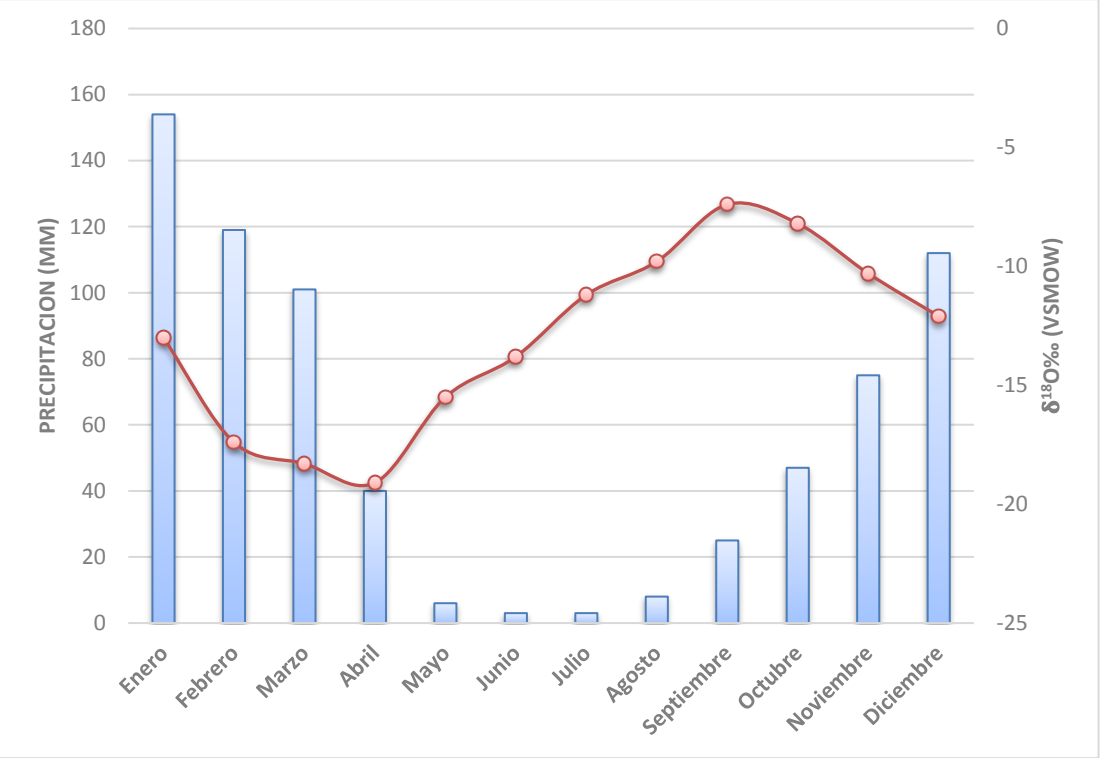


Gráfico 8.3. Comparación entre datos de precipitación y valores isotópicos de las lluvias.

El análisis comparativo entre la señal isotópica y la cantidad de lluvia nos muestra una relación lineal pobre cuando consideramos el mismo periodo temporal. No obstante, se consigue un ajuste optimo al relacionar la señal isotópica con el valor de la precipitación del mes anterior (r =0.77). Esto indica que, si bien el efecto de la cantidad de lluvia es importante en la interpretación de los datos isotópicos, existe el efecto del nivel de convección aguas arriba, lo que no genera un desfase en la relación isotópica. En otras palabras, la señal isotópica se refleja en las nubes como un efecto memoria que se traslada en el mes posterior al de la ocurrencia de la convección.

Los datos de precipitación para el valle del río Huatanay se ajustan a la línea meteorológica global (LMG) representada por la ecuación $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$ propuesta por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) la cual se presenta en la Grafico 8.4.

Los datos muestran una distribución natural de la variación isotópica en las precipitaciones, con valores más negativos durante el verano austral correspondiente a las lluvias representativas del sistema de Monzón sudamericano y valores menos fraccionados durante el invierno cuando hay ausencia de precipitaciones y las lluvias esporádicas presentan poco fraccionamiento isotópico (Grafico 8.3).

La representación de la señal isotópica de las muestras de aguas subterráneas colectadas se ajusta a la pendiente de la línea meteorológica global -LMG (Grafico 8.4), lo cual indica que estas se encuentran en condiciones de equilibrio de fraccionamiento isotópico como se determina en sistemas naturales. En tal sentido se constata que no existió alteración de la muestra y estas nos indican variaciones del agua en el sistema natural (Grafico 8.4); por lo tanto, es posible trazar las características de estas aguas en relación a los cambios de precipitación y otros parámetros físicos de interés.

La variación entre los datos isotópicos entre el verano el invierno, puede ser interpretado como un indicador de la eficiencia de la recarga de los acuíferos, desde la asunción de que la señal isotópica de las aguas meteóricas de infiltración será reflejada estacionalmente. No obstante, dichas interpretaciones deben ser complementadas con otros trazadores, como las señales geoquímicas.

Adicionalmente la variación estacional entre la señal isotópica puede ser un trazador de la eficiencia de transmisión hidráulica si se determina que en las galerías y pantalla de captación de agua actúa en régimen de flujo pistón, por ejemplo.

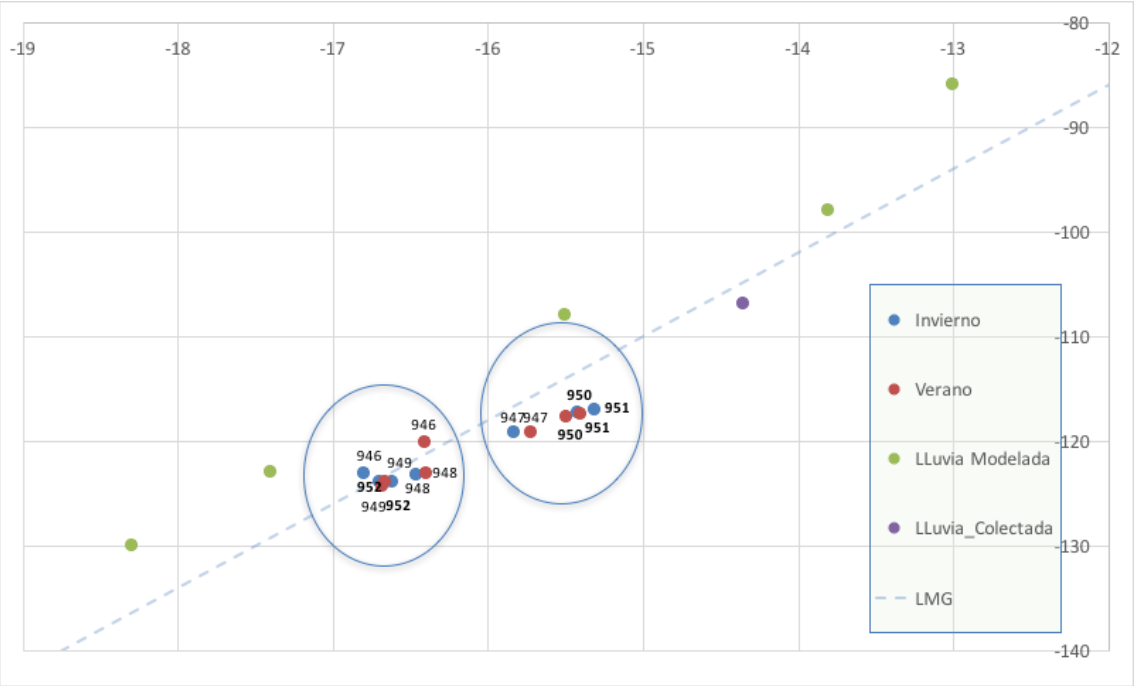


Gráfico 8.4. Línea meteorológica global y señales isotópicas de las lluvias modeladas y las aguas de las captaciones colectadas para el presente estudio. Los colores determinan las variaciones entre verano e invierno correspondientes.

De los resultados isotópicos obtenidos podemos determinar inicialmente que las muestras pueden ser agrupadas en dos conjuntos, el primero correspondiente a las señales de las fuentes: galería Sacramayo – Santiago (947), pantalla Huasao- Oropesa (950) y la Galería de Pillao Matao – San Jerónimo (951) las cuales muestran señales menos fraccionadas en comparación del siguiente grupo de análisis conformado por las fuentes: Galería Salkantay (946), Galería Marashuaycco - San Jerónimo (948), galería Atochuachana – Oropesa (949) y la galería de Saylla (952). Las variaciones en las señales entre ambos grupos de muestras nos indican orígenes similares entre los grupos reconocidos, los cuales pueden estar asociados a altitudes de infiltración similares y/o procesos de mezcla en el acuífero.

La galería de Saylla (952) no presenta variaciones en la concentración isotópica de Oxígeno (δ18O) entre las muestras colectadas en verano e invierno, lo cual indica un proceso eficiente de mezcla del acuífero. No obstante, sería importante de complementar este estudio con un seguimiento temporal continuo a fin de obtener resultados más robustos.

De manera opuesta, la muestra colectada en la galería Salkantay (946) muestra variaciones importantes en las razones isotópicas de interés a nivel estacional (Gráficos 8.4 y 8.5). No obstante, es interesante observar que las variaciones son negativas, es decir, que los valores obtenidos de las captaciones son más negativos durante el invierno que durante el verano, lo cual

representa una dinámica lenta de la recarga, es decir, que la infiltración de agua en el reservorio durante la época de lluvias es transmitida durante la época de estiaje.

De manera opuesta, las captaciones galería Atochuachana (949), La pantalla de regulación de Huasao (950) y la galería de Pillao Matao (951) muestran las respuestas más dinámicas reflejando directamente la variación isotópica de manera estacional (Grafico 8.5). Es decir, la señal isotópica de las captaciones muestra cambios relacionados a la recarga del acuífero durante la época de lluvias en la región.

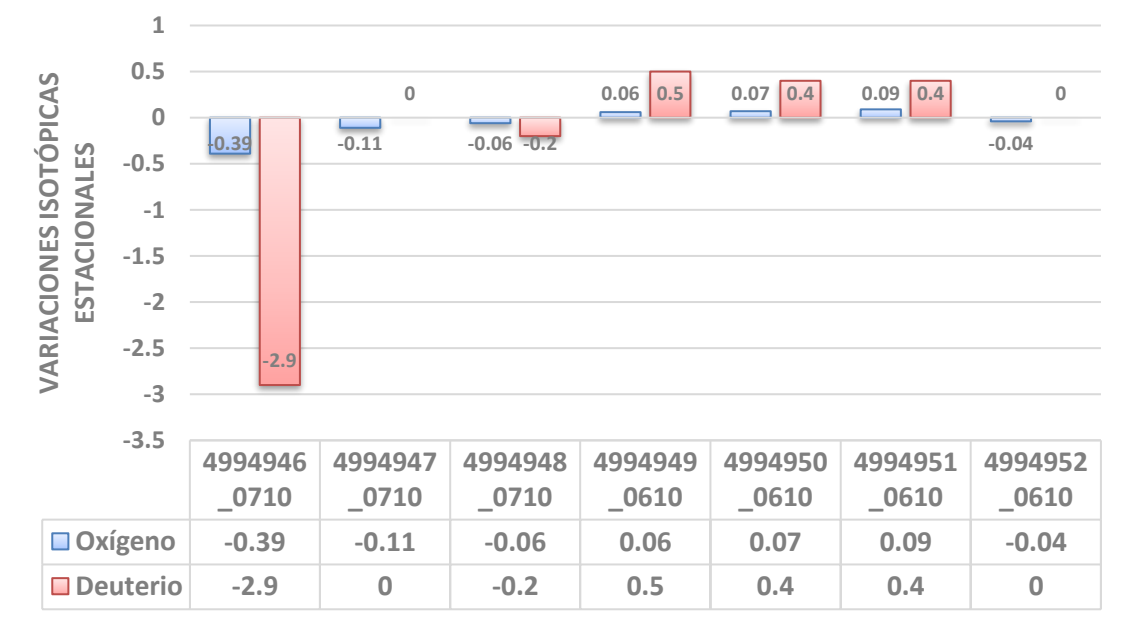


Gráfico 8.5. Variaciones estacionales en la señal isotópica de las aguas provenientes de las captaciones trabajadas en el presente estudio.

Es importante mencionar que desde que las muestras de agua se ajustan a las relaciones de la línea meteorológica global, es posible determinar de manera aproximada la altitud de infiltración de las aguas en estudio. No obstante, estas estimaciones serían más robustas si se cuenta con monitoreo continuo de las variables isotópicas.

Siguiendo las modelizaciones de la señal isotópica en la lluvia regional, se puede determinar un gradiente altitudinal de fraccionamiento isotópico el cual equivale en promedio anual a 1.9‰ por cada 1000 metros de altitud.

Considerando que se poseen muestras de agua de lluvias durante el mes de setiembre con valores del orden magnitud de $\delta^{18}O$= -14.35‰ δD= -106.9‰ y el gradiente altitudinal considerado para el mes de setiembre es de 1.5 ‰ por cada 1000 metros de altitud. Se puede estimar la altura de recarga para las diferentes captaciones en estudio, tomando especial interés en la captación de Pillao Matao – San Jerónimo, la cual se circunscribe en el área de toma de muestras de lluvia. De esta manera, considerando que la dinámica del acuífero que alimenta dicha captación es bastante dinámica como se han observado en las variaciones estacionales y usando el gradiente, podemos asumir que la infiltración de las aguas se realiza a una altitud aproximada de ˜700 – 800 metros por encima de donde se colectaron las muestras. Lo que indica diferentes regiones donde se podría experimentar con prácticas de cosecha de agua o infiltración directa del acuífero a través

de cochas u otro mecanismo con el objetivo de mejorar la disponibilidad del recurso hídrico en la región.

8.3.8. Interpretaciones

- Las muestras obtenidas de las diferentes captaciones del área de estudio muestran un ajuste coherente con la línea meteorológica global, lo cual indica procesos de fraccionamiento isotópico en equilibrio y permite la determinación de características naturales de las aguas colectadas dado que estas conservan señales naturales relacionadas a procesos físicos locales y regionales.
- En tal sentido, ha sido posible determinar que las captaciones poseen dos orígenes de recarga diferentes y que pueden ser agrupadas para estudio. De manera específica, ha sido posible inferir la dinámica del comportamiento hidráulico en algunas de las captaciones en estudio. Siendo más dinámicas las galerías Atochuachana – Oropesa (949), Pantalla Huasao-Oropesa (950) y la galería de Pillao Matao – San Jerónimo (951), debido a que mostraron variaciones estacionales en la señal isotópica indicando recarga rápida del sistema.
- A través del gradiente isotópico altitudinal de las precipitaciones ha sido posible determinar que la altura de recarga para el grupo de muestras 947 – 950 – 951, la posible altura de recarga se localiza entre los 700 – 900 metros por encima de los puntos de muestreo. Mientras que la recarga del otro grupo de muestras de estudio se presenta de manera muy variable entre 1200 – 1500 metros por encima de sus puntos de captación. Lo que indica de posibles regiones para implementar la recarga artificial de los acuíferos.
- Es necesario mencionar que resultados más robustos se obtendrán a través de monitoreo continuo de variables isotópicas en las aguas de lluvia ríos y de captaciones de aguas subterráneas a fin de tener un panorama regional que permita la utilización de nuevas técnicas analíticas en el estudio de las aguas y la disponibilidad del recurso hídrico.
- Finalmente es necesario mencionar que estas interpretaciones deben ser contrastadas con la información hidroquímica a fin de validar los resultados obtenidos y brindar un mayor soporte a las interpretaciones descritas. Adicionalmente a los indicadores hidroquímicos se debería incluir trazadores regionales para un correcto panorama de la dinámica de los acuíferos en la región Cusco.

8.4. Determinación de parámetros hidrogeológicos

8.4.1. Permeabilidad

Para conocer que formaciones geológicas tienen características permeables en la microcuenca Pillao Matao, se ha considerado la permeabilidad vertical, para ello se desarrollaron ensayos de infiltración puntual, que mide la conductividad hidráulica en las rocas y suelos.

Para dicho cálculo se realizó 06 ensayos de infiltración utilizando el método de Lefranc a carga constante, cuyos resultados comparados con la tabla convencional de permeabilidades (Benítez 1963 y Custodio 1996, (Cuadro 8.6), obtienen una correspondencia hidrogeológica a través de la conductividad hidráulica.

Esta prueba de campo se desarrolló sobre los materiales sedimentarios de las formaciones Kayra y Soncco.

Cuadro 8.6
Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)

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

8.4.1.1. Ensayos de infiltración.

Este ensayo consiste en provocar la infiltración del agua bajo una carga determinada, mediante un tubo de diámetro uniforme (permeámetro de 2”), clavado en el suelo para medir el volumen de agua absorbida (descenso) en función de la carga y del tiempo (Gráfico 8.6).

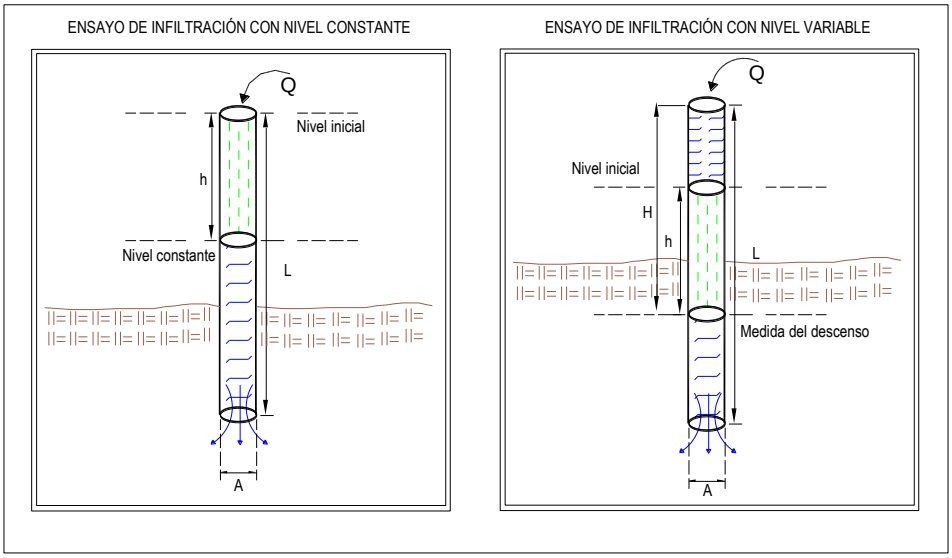


Gráfico 8.6. Esquema de ensayos de infiltración a carga constante y carga variable respectivamente.

Los ensayos de infiltración puntual realizados en la microcuenca Pillao Matao (Fotografías 8.7, y 8.8) se hicieron por el método del permeámetro de a carga constante. Este método se basa en considerar los descensos de agua en un tiempo determinado (5 minutos). Para magnitudes menores a 30 cm, los descensos se consideraron mínimos y que no influyen en la carga hidráulica del permeámetro, por lo tanto se utilizo un permeámetro de 60 cm, que incluye una carga hidraulica mínima.

Para este trabajo se ejecutaron 06 ensayos de infiltración para estimar la permeabilidad de los materiales sedimentarios que se ubican en la microcuenca Pillao Matao. Los cálculos y procedimento de estas pruebas se encuentran en el anexo del presente informe y el resumen se muestran en el cuadro 8.7 y Gráfico 8.4.

Cuadro 8.7

Permeabilidad de las formaciones geológicas utilizando el método del permeámetro de nivel constante

N°	CÓDIGO	UNIDAD GEOLÓGICA	COORDENADAS			K (m/día)
			X	Y	Z	
1	EI-01	Formación Kayra	184110	8497074	3511	0.214
2	EI-02	Formación Kayra	184212	8496740	3612	0.050
3	EI-03	Formación Kayra	184274	8496983	3506	0.125
4	EI-04	Formación Kayra	183974	8496666	3661	0.026
5	EI-05	Formación Soncco	184622	8495628	3850	0.142
6	EI-06	Formación Soncco	184593	8495400	3945	0.009

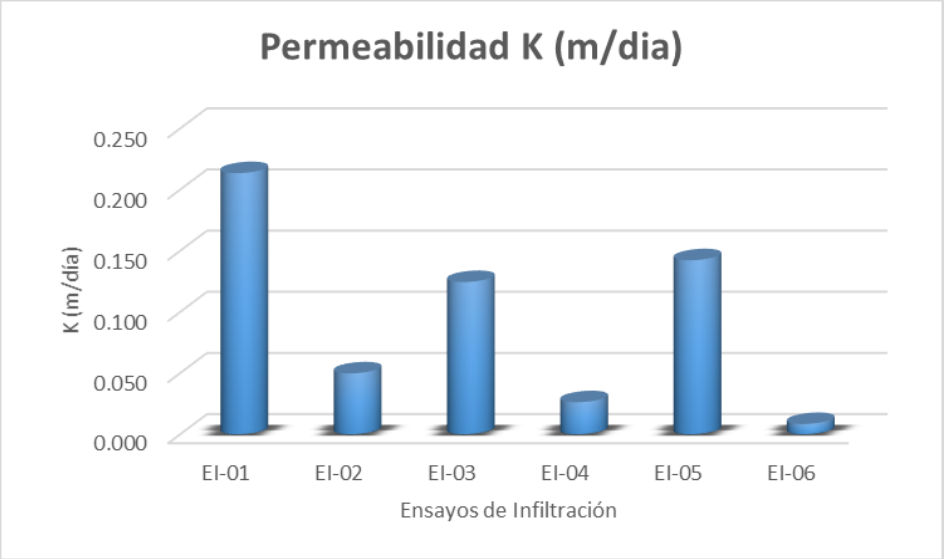
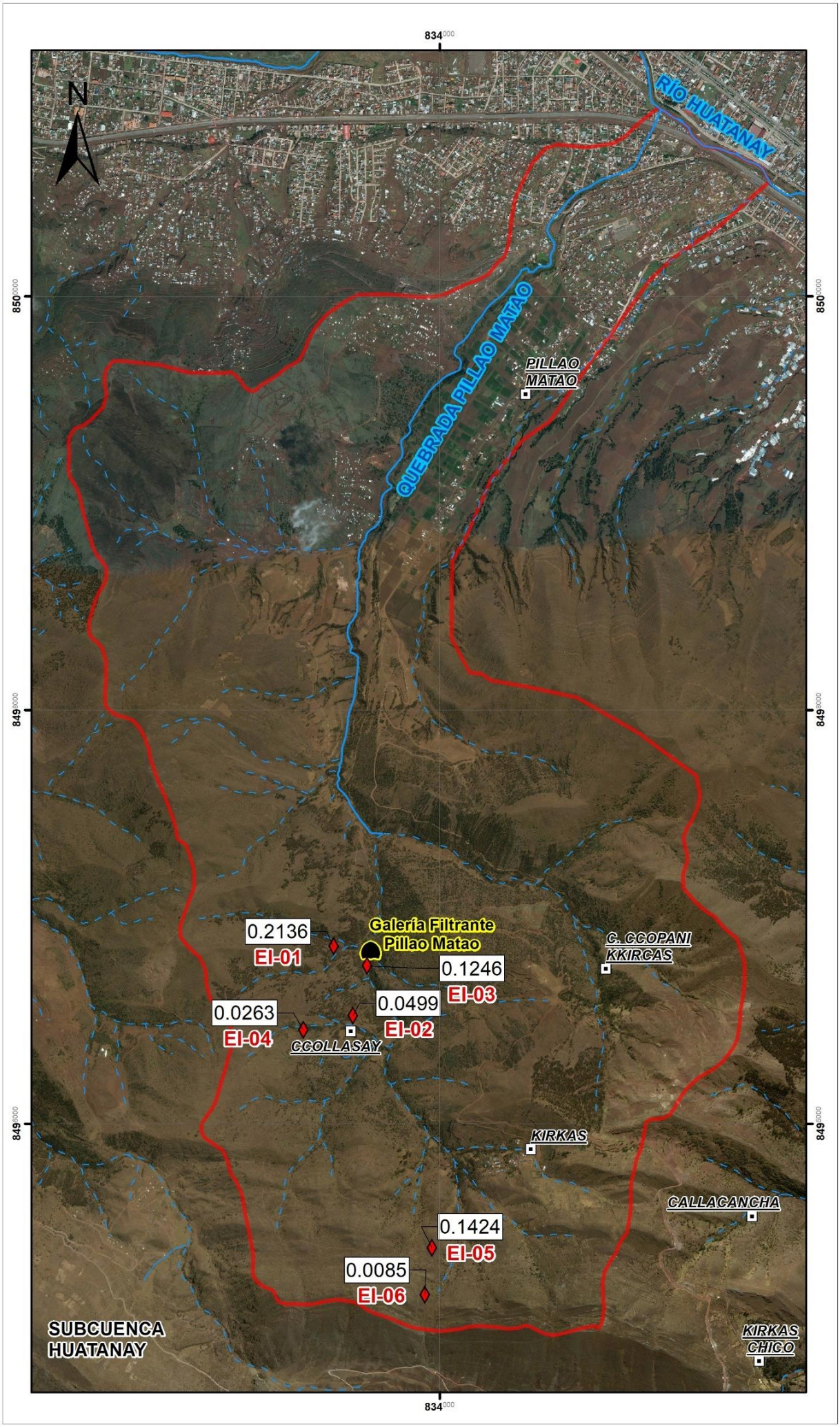
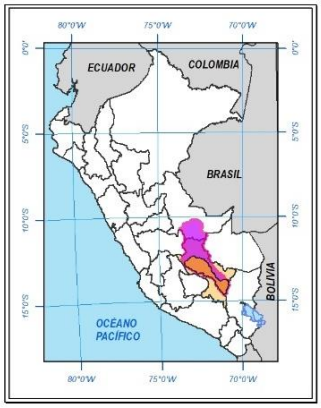


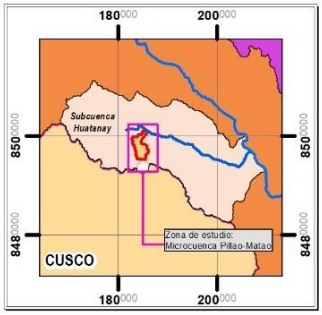
Gráfico 8.7. Valores de permeabilidad según ensayos de infiltración realizados a lo largo de la microcuenca Pillao Matao.

Fotografía 8.7. Ensayo de infiltración EI-01 realizado sobre areniscas cuarzo-feldespáticas

Fotografía 8.8. Ensayo de infiltración EI-05 realizado sobre areniscas en la parte alta de la microcuenca







SIMBOLOGÍA

- Centro Poblado
- Galería Filtrante Pillao Matao
- Microcuenca Pillao Matao

DRENAJE

- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente

Permeabilidad (m/día)

0.2136

EI-01

N° de Ensayo de Infiltración

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE UBICACIÓN DE ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA N° 8.11

8.4.2. Interpretaciones

Los ensayos de infiltración tienen una codificación asignada (Cuadro 8.7 y Figura 8.11), cuyos valores se utilizaron para investigar la permeabilidad o conductividad hidráulica de los materiales ubicados en microcuenca Pillao Matao.

Para calcular los valores de conductividad hidráulica se realizaron los ensayos en materiales sedimentarios (Anexos y Gráfico 8.7), los que se describen a continuación:

- Los ensayos EI-01, EI-02, EI-03 y EI-04 se realizaron sobre rocas sedimentarias (areniscas arcosas, areniscas cuarzo-feldespáticas) de la Formación Kayra, cuyos valores calculados son $2.13x10^{-1}$m/día $4.99x10^{-2}$m/día $1.24x10^{-1}$ m/día y $2.63x10^{-2}$ m/día respectivamente, clasificando a estos materiales como rocas algo permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de Acuífero Pobre (Cuadro 8.6).

- El ensayo EI-05, se realizó sobre rocas sedimentarias (areniscas cuarzo-feldespáticas), pertenecientes a la Formación Soncco cuyo valor calculado es de $1.42x10^{-1}$m/día, clasificando a estos materiales como rocas algo permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de Acuífero Pobre (Cuadro 8.6).

- El ensayo EI-06, se realizó sobre rocas sedimentarias (areniscas cuarzo-feldespáticas y lutitas), pertenecientes a la Formación Soncco cuyo valor calculado es de $0.85x10^{-2}$, m/día clasificando a estos materiales como rocas poco permeables y asignándole una calificación hidrogeológica de Acuitardo (Cuadro 8.6).

Los materiales evaluados corresponden a permebilidades variables, lo que indica y los clasifica como acuiferos pobres, que indican que la permebilidad de esto materiales permiten el paso del agua a su interior.

8.5. Determinación de zonas con mayor contenido de fracturas

Las rocas aflorantes en el área de estudio se encuentran fuertemente fracturadas, debido a la tectónica de la zona, el levantamiento de los andes y a la presencia de fallas como la falla Tancarpata y estructuras como el anticlinal de Saylla. Las fracturas presentes, les dan a las rocas una porosidad y permeabilidad secundaria, por fisuración y por ende mejora el flujo de las aguas en el subsuelo.

A continuación, se detalla la densidad de fracturas de las principales unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio.

8.5.1. Formación Kayra

a) Secuencia II (9.90 m.)

Estas rocas se encuentran muy fracturada, cuya densidad promedio de fractura es de 2.0 %. Siendo los sistemas principales: NE-SO (37°), y NO-SE (N 60°). Las fracturas se presentan separadas, presentan buena permeabilidad y transmisividad (Guamán Poma de Ayala, 2014).

b) Secuencia III (175.1 m.)

Las areniscas de esta secuencia se encuentran fuertemente fracturadas, siendo los sistemas de fracturas principales: N95°, N26°, N75° y N50°, la densidad máxima en esta secuencia es 3.0 % y la densidad promedio 2.4 % presentando buena permeabilidad y transmisividad. Considerándose a esta secuencia como un buen acuífero. La descarga de las aguas subterráneas se da en la parte media y superior de la secuencia de manera regular (Guamán Poma de Ayala, 2014).

8.5.2. Formación Soncco

a) Secuencia I (214 m)

Estas rocas se hallan débilmente fracturadas a muy fracturadas y presentando 4 familias de fracturas: N25°, N80°, N110° y N180°, la densidad de fracturas varía desde 1 hasta 3 %. Esta secuencia por la composición litológica que presenta (lutitas) se le considera como un sello (impermeable) que evita la circulación de las aguas subterráneas de los acuíferos que se ubican en la parte superior de esta secuencia. Los valores de permeabilidad y transmisividad son bajos (Guamán Poma de Ayala, 2014).

b) Secuencia II (105.5 m)

Esta secuencia presenta 4 familias de fracturas: N122°, N256°, N104° y N12°. La densidad promedio es de 2.3 %. Las fracturas de las rocas en esta secuencia nos indica que la descarga de las aguas subterráneas es regular a buena (Guamán Poma de Ayala, 2014).

c) Secuencia III (158.6 m)

Estas rocas presentan cuatro familias de fracturas: N155°, N35°, N110° y N185°. La densidad promedio es de 1.7 %. Las fracturas de las rocas en esta secuencia nos indica que la descarga de las aguas subterráneas es algo regular (Guamán Poma de Ayala, 2014).

d) Secuencia IV (168.5 m)

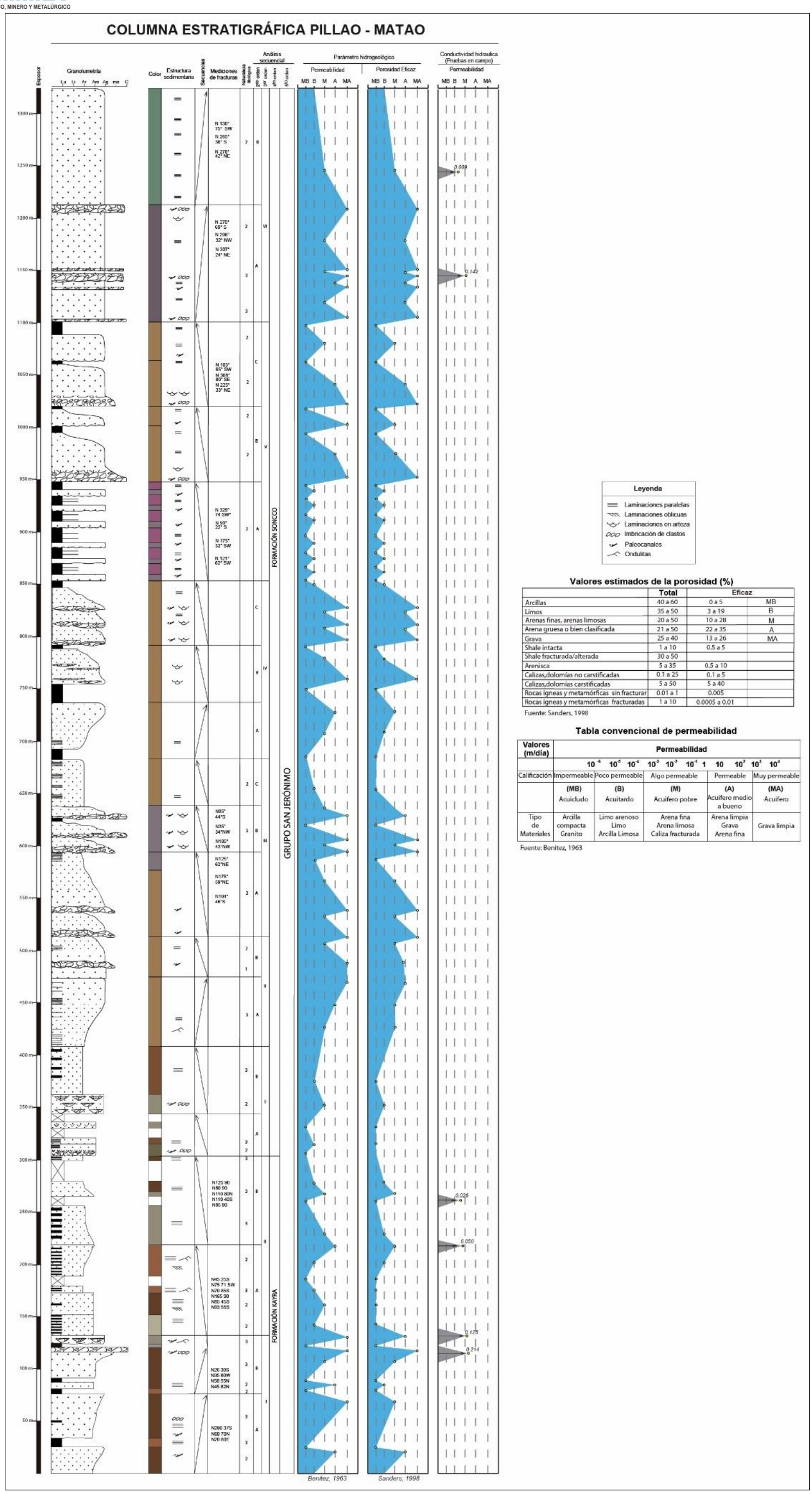
La cuarta secuencia está medianamente fracturada, con predominancia de los sistemas N84°, 107°, N78° y N110. La densidad promedio es de 4.5 %. Las fracturas de las rocas en esta

secuencia se encuentran semi abiertas a abiertas, lo cual favorece enormemente a la infiltración y circulación de las aguas subterráneas; sus características de porosidad y permeabilidad y almacenamiento muestran buenas condiciones (Guamán Poma de Ayala, 2014).

e) Secuencia V (235 m)

Estas rocas se hallan mediana a fuertemente fracturadas, las fracturas en su mayoría se encuentran abiertas, en la base presenta cuatro familias de estas: N329°, N90°, N175 y N121° y en la parte superior los sistemas de fracturas son de: N105°, N305°, N208 y N225°, la densidad promedio de fracturas es de 4.5 %. Esta secuencia favorece grandemente en la infiltración y circulación de las aguas subterráneas. Sus características de permeabilidad y transmisividad presentan excelentes condiciones (Guamán Poma de Ayala, 2014).

Las formaciones del Grupo San Jerónimo son las más importantes en cuanto a fracturas, permeabilidad y descarga de aguas subterráneas, lo cual se observa en la columna estratigráfica que se levantó en la zona (Gráfico 8.8)



Valores estimados de la porosidad (%)

	Total	Eficaz	
Arcillas	40 a 60	0 a 5	MB
Limos	35 a 50	3 a 19	B
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28	M
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35	A
Grava	25 a 40	13 a 26	MA
Shale intacta	1 a 10	0.5 a 5	
Shale fracturada/alterada	30 a 50		
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10	
Calizas,dolomías no carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5	
Calizas,dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40	
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0.01 a 1	0.005	
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0.0005 a 0.01	

Fuente: Sanders, 1998

Tabla convencional de permeabilidad

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
	(MB) Acuicludo	(B) Acuitardo	(M) Acuífero pobre	(A) Acuífero medio a bueno	(MA) Acuífero
Tipo de Materiales	Arcilla compacta Granito	Limo arenoso Limo Arcilla Limosa	Arena fina Arena limosa Caliza fracturada	Arena limpia Grava Arena fina	Grava limpia

Fuente: Benitez, 1963

Gráfico 8.8 Columna estratigráfica de la microcuenca Pillao Matao

8.6. Modelo hidrogeológico del funcionamiento dela galeria filtrante Pillao Matao

Las secuencias estratigráficas ubicadas en la parte alta de la galería Pillao Matao tiene permeabilidad variable. Para la Formación Kayra, los valores encontrados varían entre $2.13x10^{-1}$ m/día y $2.63x10^{-2}$ m/día, caracterizada como materiales algo permeables y clasificándola como acuífero pobre y para la Formación Soncco, se midieron permeabilidades entre $0.85x10^{-2}$m/día y $1.42x10^{-1}$m/día, caracterizada también como materiales algo permeables y clasificándola como acuífero pobre. Estos parámetros hidrogeológicos permiten caracterizar a las rocas fracturadas como acuíferos pobres, sin embargo, las obras de recarga realizadas en las inmediaciones superiores a la bocatoma de la galería optimizan la recarga artificial hacia el acuífero incrementando los volúmenes de recarga.

Según los resultados isotópicos e hidroquímicos las aguas de la precipitación alimentan al acuífero a alturas comprendidas entre 700 a 900 metros por encima de la bocatoma de la galería (lugar de la toma de muestra), donde adquieren su predominancia Sulfatada Cálcica (SO_4-Ca), aunque con valores bajos de concentración (inferior a 8 meq/L) en aniones y cationes mayoritarios. En consecuencia, el funcionamiento hidrogeológico de la galería Pillao Matao, se produce por infiltración de aguas de lluvia en las secuencias sedimentarias de la Formación Soncco y de la Formación Kayra, aunque con diferentes velocidades de infiltración pero que alimentan a la galería filtrante (Figura 8.12).

Las obras de recarga artificial incrementan los volúmenes de infiltración en la galería otorgándole una predominancia sulfatada cálcica (SO_4-Ca) que lo adquiere de la descomposición de sustancia orgánicas que tuvieron contacto con el agua (esto se produce en las zanjas de infiltración que arrastra sedimentos en la base de las zanjas), y su predominancia cálcica la adquiere de los procesos de reducción disolución y por el intercambio catiónico de las fases solidas de Sodio y Magnesio.

De acuerdo a estas afirmaciones el modelo hidrogeológico de la galería se observa en la Figura 8.12. tiene un funcionamiento hidrogeológico siguiente:

Las aguas subterráneas que salen de la parte más profunda de la galería, se alimentan de aguas de lluvia que inician su camino de infiltración a niveles superiores entre 700 a 900 metros, por encima de la bocatoma de la galería, este volumen se incrementa con aguas de recarga artificial producida en las zanjas de infiltración y la amuna ubicada en la zona inmediata superior de la galería filtrante. La información isotópica de O18 y Deuterio muestran un ajuste coherente con la línea meteorológica mundial, lo cual indica procesos de fraccionamiento isotópico en equilibrio y permite la determinación de características naturales de las aguas de lluvia colectadas en la galería.

Los suelos donde se ubican las zanjas de infiltración tienen permeabilidades bajas (por presencia de limos y arcillas), los cuales deben ser mejorados diseñando nuevas zanjas de infiltración en suelos más permeables y si es posible, zanjas en roca, los cuales optimizaría la infiltración de aguas de lluvia en la galería filtrante de Pillao Matao. En las zanjas de infiltración se observa valores mínimos de evaporación las mismas evidencian en la muestra isotópica de la galería.

- Los tramos iniciales de la galería filtrante tienen una dirección que intercepta perpendicularmente a los planos de estratificación y donde se ubican la mayor cantidad de fracturas; sin embargo, se dirige a zona de poca carga hidráulica, la zona de infiltración es de muy poco espesor, esta direccion se corrige en la parte interior donde la direcion de perforacion cambia a zonas con mayor carga hidrulica. Una posible profundización de la galería, debe dirigirse a lado derecho, tratando de perforar zonas de mayor volomen rocoso, donde se encontrará mayores volúmenes de agua en las fracturas y por consiguiente mayores volúmenes de drenado en la galeria.
- Es necesario mencionar que resultados más robustos se obtendrán a través de monitoreo continuo considerando las siguiente variables:
- Aforo constante en bocatoma de galeria para medir las variaciones temporales del caudal
- Monitoreo físico-químico mensual analizando iones mayoritarios y mateles disueltos en el agua.
- Monitoreo de variables isotópicas en las aguas de la galeria, de manatailes cercanos y sobre todo de aguas de a fin de tener un panorama regional que permita la utilización de nuevas técnicas analíticas en el estudio de las aguas y la disponibilidad del recurso hídrico.

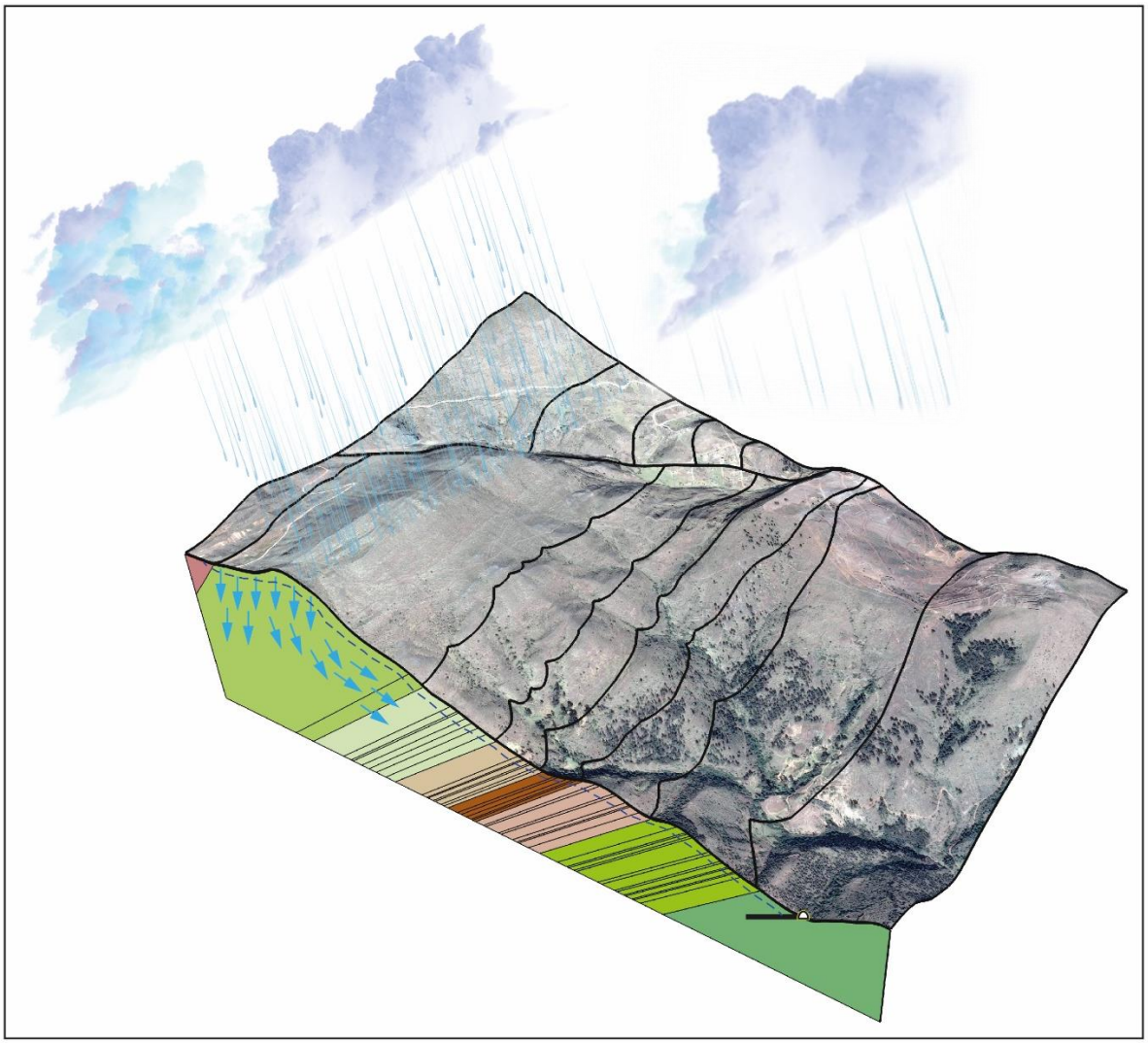


Figura 8.12 Modelo hidrogeológico conceptual del funcionamiento de la galería filtrante Pillao Matao.

IX. CRITERIOS USADOS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

9.1. Vulnerabilidad de acuíferos

Es importante mantener el cuidado de las fuentes de agua subterránea que presentan buena calidad, por lo que en el presente ítem conoceremos las características físicas de las rocas reservorio y las rocas relacionadas a los manantiales evaluando su estado actual, es decir cuan susceptibles pueden ser frente al peligro de contaminación.

Para este trabajo se ha elaborado un mapa de vulnerabilidad de acuíferos (Figura 9.1), usando el método GOD. Este mapa no pretende diagnosticar el peligro de contaminación que tenga la cuenca, pero sí exponer el estado actual y natural de las formaciones geológicas frente al peligro de contaminación.

El primer paso hacia la protección de las aguas subterráneas es tomar conciencia de la escala y seriedad del problema, para ello es necesario cuantificar la debilidad de los factores que están directamente relacionados con los acuíferos a contaminarse, investigar cuáles son los factores que aumentan el riesgo de contaminación y, acorde a esta información, tomar medidas de prevención para evitar problemas futuros (Foster *et al*., 1993).

La vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero es una propiedad intrínsica de cada material que establece la susceptibilidad a ser afectado adversamente por una carga contaminante, independientemente de la presencia de contaminantes (Foster & Hirata, 1988).

El riesgo de contaminación está determinado básicamente por las características del acuífero, las que, por lo general, son permanentes a escalas razonables de tiempo, y por la existencia de actividades potencialmente contaminantes, las que son esencialmente dinámicas.

Existen numerosas metodologías para determinar la vulnerabilidad de un acuífero, desde que Margat (1968) introdujera el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre lo mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica. Hasta la fecha, se considera la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) y la otra orientación, que agrupa los que sí le otorgan (además del comportamiento del medio) trascendencia al tipo y carga del contaminante (vulnerabilidad específica).

Para evaluar la vulnerabilidad específica de un acuífero a la contaminación, uno de los métodos más empleados es el índice DRASTIC, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (Aller *et al.,* 1987). La información generada mediante este índice se refiere al cálculo ponderado de la contaminación de un acuífero, según su característica intrínseca y la presencia de un contaminante. Sin embargo, en el área de estudio tenemos una serie de acuíferos de diferentes características, por lo que será necesario un método que se ajuste más a la realidad de la zona.

El presente trabajo de vulnerabilidad de acuíferos se desarrolla desde el punto de vista de la prevención. Con este mapa no se pretende diagnosticar el peligro de contaminación actual que

existe en el área de estudio, pero sí se busca describir el estado actual y natural de las formaciones geológicas e hidrogeológicas susceptibles o vulnerables frente al peligro de contaminación.

Para elaborar el mapa de vulnerabilidad en el área de estudio, se utilizó el método GOD. Este método fue propuesto por FOSTER (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables que son las que significan: G (*ground water occurrence* – tipo de acuífero) O (*overall aquifer class* – litología de la cobertura) D (*depth* – profundidad del agua o del acuífero) (Gráfico 9.1).

Para la cuantificación o ponderación de las unidades hidrogeológicas se utilizó el cuadro de caracterización hidrogeológica donde se asignaron valores de vulnerabilidad a cada una de las unidades hidrogeológicas según el método GOD (Cuadro 9.1)

GOD es un índice utilizado para determinar la vulnerabilidad intrínseca a nivel regional y local, por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante. Este método establece la vulnerabilidad del acuífero, como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Agüero y Pujol, 2002; Foster e Hirata, 1988; Vrba y Zoporozec, 1994).

Para una mejor lectura del mapa se ha establecido una leyenda que se detalla a continuación (Cuadro 9.2).

Cuadro 9.1
Valores de vulnerabilidad de acuíferos en la microcuenca Pillao Matao

CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA		UNIDAD GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	PONDERACIÓN	GRADO DE VULNERABILIDAD
ACUÍFERO	FISURADO SEDIMENTARIO	Formación Kayra	Areniscas cuarzosas y feldespáticas; con pequeños niveles de lutitas y limolitas	0.567	**ALTA**
		Formación Soncco, Secuencia I	Areniscas cuarzo-feldespáticas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas y limolitas	0.567	**ALTA**
		Formación Soncco, Secuencia V	Niveles de conglomerados, intercalado con niveles de limolitas y lutitas con bancos de areniscas feldespáticas.	0.6075	**ALTA**
		Formación Soncco, Secuencia VI	Areniscas y lutitas	0.567	**ALTA**
	POROSO NO CONSOLIDADO	Depósito Aluvial	Gravas envueltas en una matriz areno arcillosa	0.8	**EXTREMA**
		Depósito Fluvial	Bancos de arenas y gravas que forman terrazas	0.75	**EXTREMA**
		Formación San Sebastián	Areniscas fluviales y lutitas lacustres, con niveles diatomíticos y calcáreos en la parte superior	0.75	**EXTREMA**
ACUITARDO	SEDIMENTARIO	Formación Soncco, Secuencia III	Areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, algo compactas, con pocas intercalaciones de lutitas y limolitas	0.21	**BAJA**
		Formación Soncco, Secuencia IV	Intercalaciones de areniscas y lutitas de coloración rojiza bien estratificadas	0.21	**BAJA**
		Formación Punacancha	Lutitas y limolitas rojas de llanura de inundación	0.175	**BAJA**
		Formación Soncco, Secuencia II	Areniscas masivas cuarzo–feldespáticas, intercalados con pequeños niveles de lutitas y limolitas	0.21	**BAJA**

Fuente: Elaboración Propia 2018.

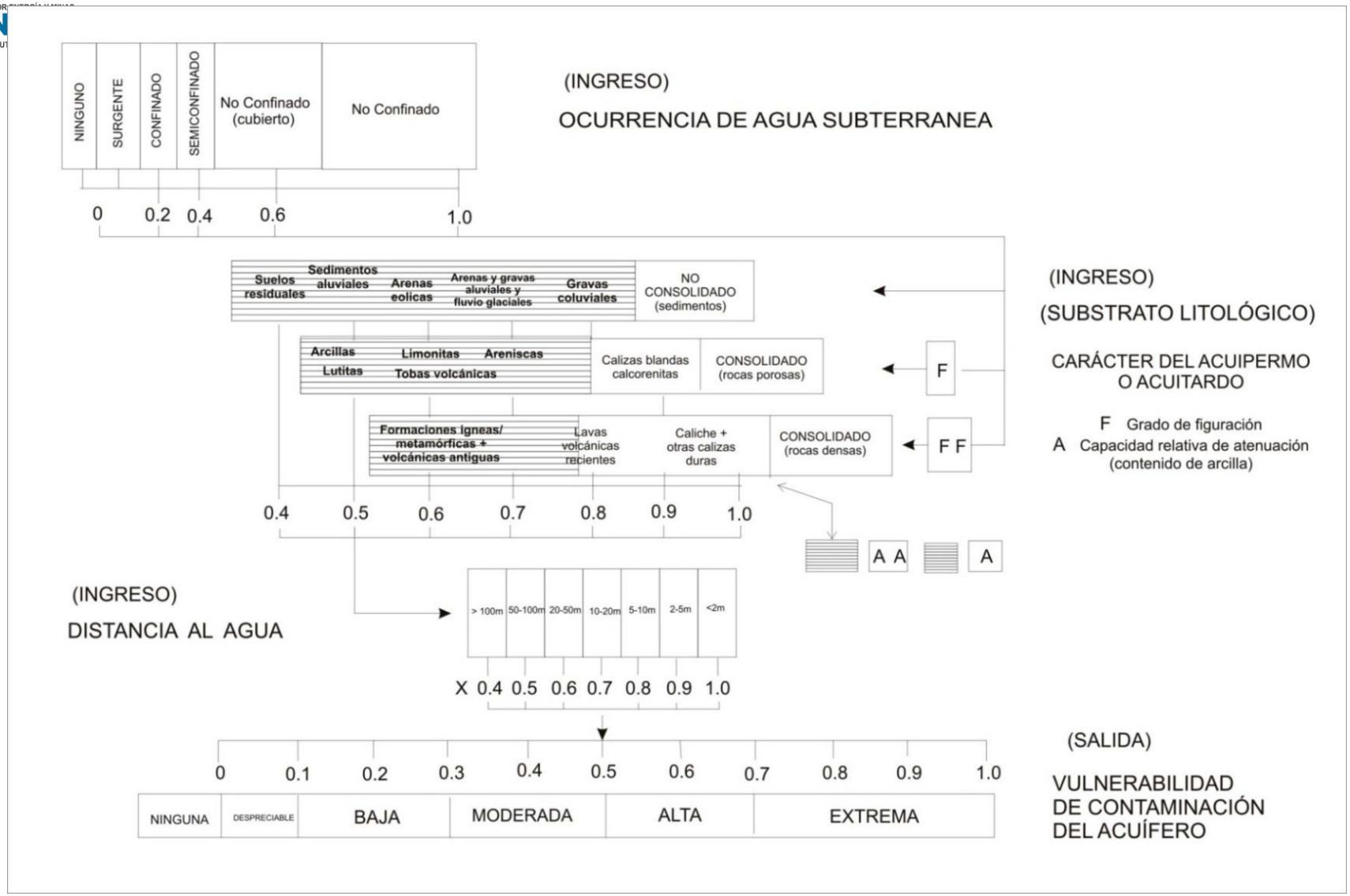


Gráfico 9.1 Patrón de parámetros y valores de ponderación, utilizados para la elaboración de mapa de vulnerabilidad, según el índice GOD (Foster, 1987).

Cuadro 9.2
Leyenda hidrogeológica establecida para el mapa de vulnerabilidad de acuíferos

Nro.	Característica de los materiales	Color	Categoría GOD
1	Materiales donde los acuíferos son muy vulnerables. Zonas donde es necesario extremar las medidas preventivas. Materiales donde la contaminación puede propagarse velozmente y a grandes distancias.		**EXTREMA**
2.	Materiales con acuíferos vulnerables, terrenos donde la circulación subterránea es rápida y la filtración y o atenuación natural escasa.		**ALTA**
3.	Materiales donde los acuíferos se encuentran parcialmente protegidos, de la entrada o de la propagación de agentes contaminantes, por ciertas características específicas de los materiales.		**MODERADA**
4.	Materiales donde la contaminación puede revestir características variables, por ser poco extenso y de tipo muy diversificado.		**BAJA**
5.	Materiales impermeables, en rocas intrusivas, donde la contaminación es nula, no se excluye la existencia de pequeños acuíferos libres, muy vulnerables, asentados en áreas de alteración.		**DESPRECIABLE**

Fuente: IGME, 1976.

Considerando las características propias de las formaciones geológicas, apoyados con el mapa hidrogeológico (fundamentalmente valores de permeabilidad y litología), se han clasificado y ponderado las unidades geológicas de acuerdo a su estado natural.

Esta ponderación nos ha permitido valorar cuatro categorías de vulnerabilidad, representadas en el mapa de vulnerabilidad de acuíferos (Figura 9.1). No se ha considerado la ubicación de agentes contaminantes, pues para ello se necesita otra metodología más detallada.

9.1.1. Vulnerabilidad extrema

Están considerados los acuíferos directamente expuestos a la contaminación, aquellos que son permeables desde el contacto con la superficie. Los acuíferos porosos no consolidados fluviales y aluviales, y los pertenecientes a la Formación San Sebastián, se encuentran dentro de esta categoría, con valores ponderados de 0.75 Y 0.8.

Se han considerado de vulnerabilidad extrema porque se trata de depósitos muy permeables y de acuíferos potenciales, porque en ellos existe explotación de aguas subterráneas. Sobre estos depósitos se desarrolla el centro poblado Pillao Matao, y áreas agrícolas y ganaderas que mueven a esta parte de la ciudad del Cusco, por lo tanto, se producen con mayor frecuencia agentes de contaminación antrópica.

9.1.2. Vulnerabilidad Alta

En esta categoría se consideran todos aquellos afloramientos con litología fracturada y fallada que corresponden a los acuíferos fisurados sedimentarios. Estos acuíferos, tienen surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales. Las fisuras de estos materiales se encuentran expuestas directamente a la infiltración de agentes contaminantes sin ningún tipo de filtración o retención. Se les ponderó con valores entre 0.57 y 0.61, según el método GOD.

9.1.3. Vulnerabilidad moderada

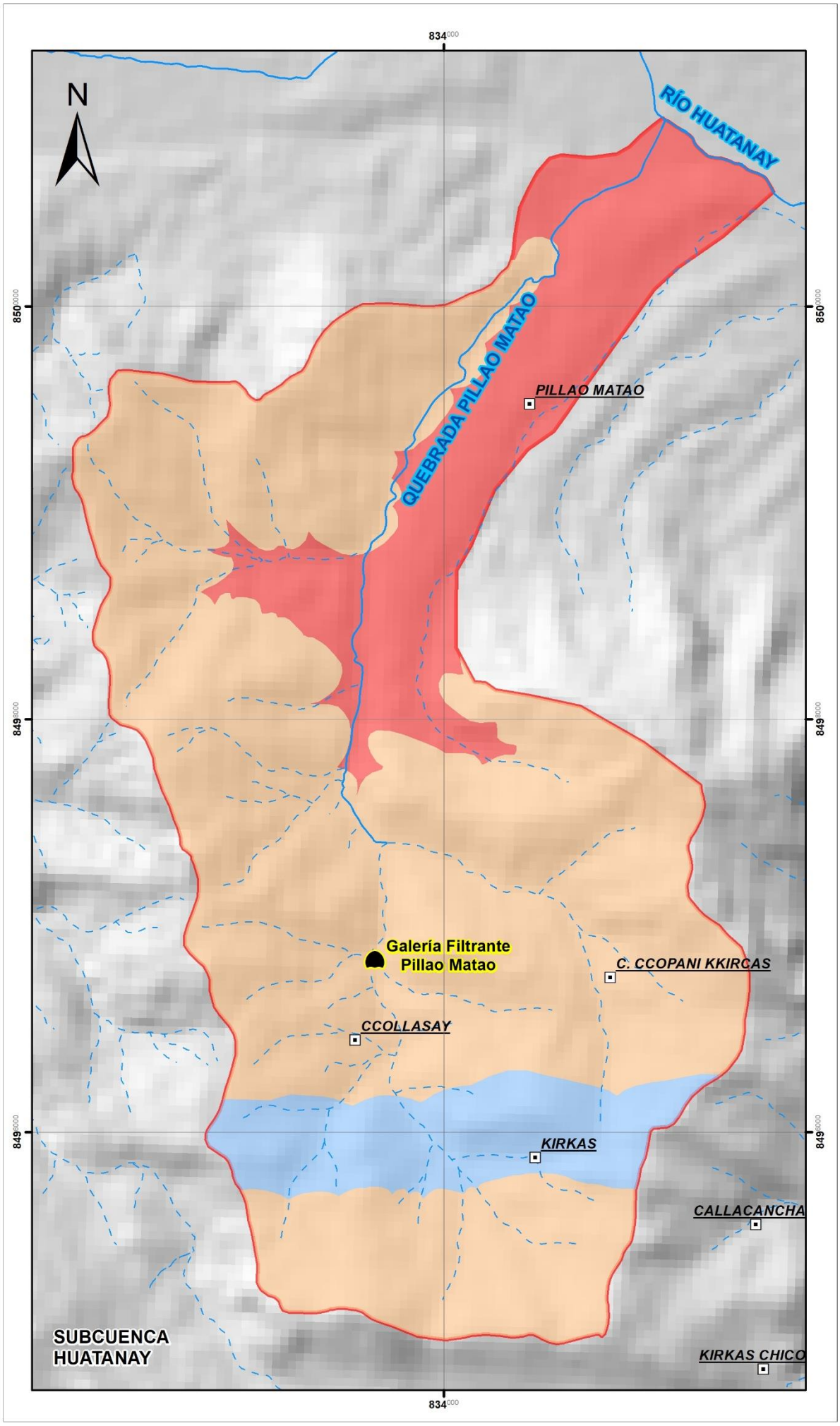
En estos materiales, los acuíferos se encuentran parcialmente protegidos, de la propagación de agentes contaminantes. No tenemos ninguna unidad en esta categoría.

9.1.4. Vulnerabilidad baja

Están considerados los acuitardos sedimentarios, compuestos por limolitas, lutitas y areniscas; estos acuitardos tienen baja permeabilidad y fueron ponderados con valores entre 0.17 y 0.21, el riesgo de contaminación en estos materiales es bajo, pero si se encuentra en contacto directo con agentes contaminantes el riesgo se eleva, debido a la elevada porosidad que posee.

9.1.5. Vulnerabilidad despreciable

En estos materiales las permeabilidades son, en general, bajas y no existen acuíferos. El grado de exposición a la contaminación es muy relativo, en proporción a la escasa importancia de los acuíferos. No tenemos ninguna unidad en esta categoría, puesto que son casi impermeables.


N
RÍO HUATANAY
QUEBRADA PILLAO MATAO
PILLAO MATAO
Galería Filtrante
Pillao Matao
C. CCOPANI KKIRCAS
CCOLLASAY
KIRKAS
CALLACANCHA
KIRKAS CHICO
SUBCUENCA
HUATANAY
834000
850000
849000
ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
BOLIVIA
OCÉANO
PACÍFICO
Subcuenca
Huatanay
Zona de estudio:
Microcuenca Pillao-Matao
CUSCO
180000
200000
848000
SIMBOLOGÍA
Centro Poblado
Galería Filtrante
Pillao Matao
Microcuenca
Pillao Matao
DRENAJE
Cauce
Permanente
Cauce
Intermitente
VULNERABILIDAD
ALTA
BAJA
EXTREMA
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
MAPA DE VULNERABILIDAD
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR
PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO
Versión digital:
Año 2018
Escala 1:25,000
Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur
FIGURA
N° 9.1

9.2. Delimitación de los perímetros de protección de la zona de recarga de la galería filtrante Pillao Matao.

La galería filtrante de Pillao Matao constituyen una de las fuentes principales para el abastecimiento de aguas de consumo humano y riego del Centro Poblado de Pillao Matao. Las aguas subterráneas que se captan en la galería filtrante se originan de la infiltración de aguas de lluvia en las inmediaciones del centro poblado de Kirkas, hacia la parte alta de la montaña de donde inicia la cuenca hidrográfica. Estas aguas de infiltración circulan en profundidad a través de los materiales volcánicos permeables y llagan a la galería filtrante con recorridos de flujos locales y posiblemente intermedios. Los materiales por donde circula el agua corresponden a las areniscas cuarzo-feldespáticas de las Formaciones Kayra y Sonco, cuyo límite superior se encuentra en contacto con rocas impermeable de la Formación Punacancha, a la altura del centro poblado de Punacancha, cruzando la microcuenca hidrográfica, la misma que vendría ser el límite hidrogeológico superior del acuífero.

9.2.1. Perímetros de protección de la zona de recarga

Desde el punto de vista hidrogeológico se considera a la zona de alimentación y recarga como áreas de restricciones moderadas. Actualmente el área delimitada (Figura 9.2) cubre el afloramiento de las rocas sedimentarias de las Formaciones Kayra y Soncco, cuyo límite este y oeste corresponden a la divisoria hidrográfica y el límite superior el contacto con las rocas impermeables de la Formación Punacancha.

El perímetro calculado para la protección de la zona de recarga es de 7.53 km y que comprende un área total de 3.82 km^2 (Figura 9.2)

Debido a la configuración geológica de la zona de recarga, las restricciones moderadas se plantean basándose en criterios hidrogeológicos (presencia de fracturas, heterogeneidad del medio y mayor precipitación pluvial. En estos lugares se pueden intervenir en construir obras de recarga artificial de acuíferos, como: reforestaciones, amunas, zanjas de infiltración, etc., que además serviría para incrementar el volumen de agua en la galería filtrante de Pillao Matao y por ende incrementar la oferta hídrica en el valle.

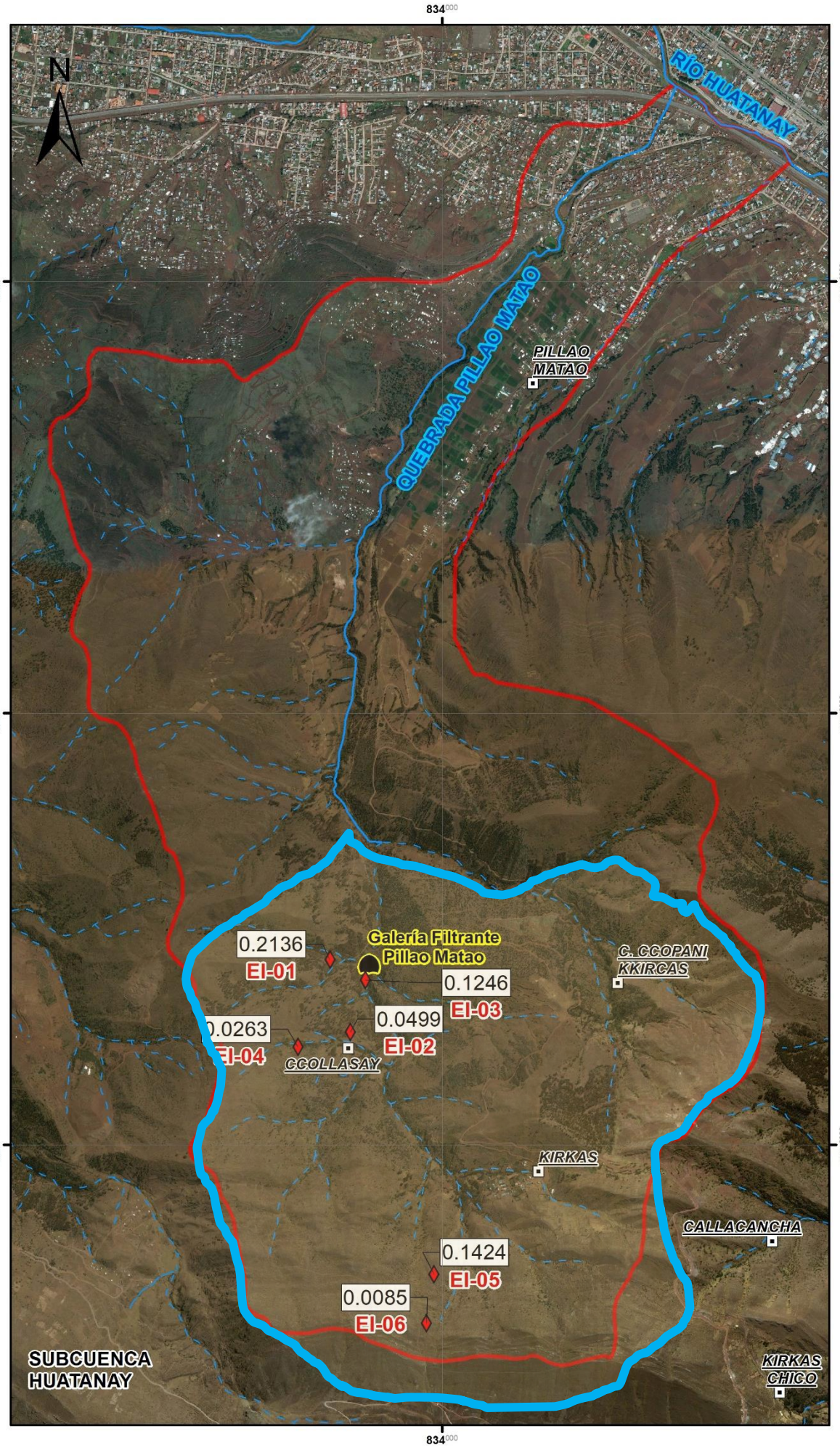
La zona de recarga neta de los acuíferos, donde las restricciones sean mayores deberá delimitarse en base a estudios más detalladas, considerando la divisoria hidrogeológica a través de contactos geológicos e hidrogeológicos de acuíferos con materiales menos permeables (bordes hidrogeológicos), su geometría y el régimen hidráulico de los acuíferos.

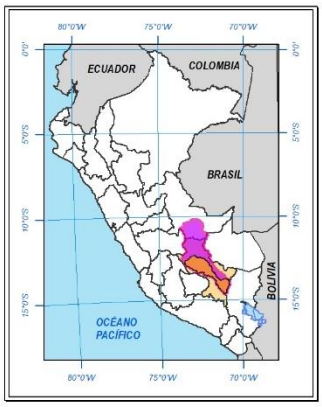
La galería filtrante de Pillao Matao, se encuentran en la parte inmediata inferior de la zona delimitada como zona de alimentación y recarga, si bien, las pruebas de campo nos permitieron medir permeabilidades heterogéneas (06 ensayos con valores para la Formación Kayra, entre $2.13x10^{-1}$ m/día y $2.63x10^{-2}$ m/día y para la Formación Soncco entre $0.85x10^{-2}$ m/día y $1.42x10^{-1}$ m/día), estas variaciones corresponden a un solo rango de clasificación hidrogeológica conocida como “Algo Permeable” y corresponde a un “Acuífero Pobre”. Este último término no menosprecia las cantidades de agua subterránea que puede tener el acuífero, porque de ello dependerá de su geometría considerando su potencia y sus límites horizontales; además, dentro de la caracterización hidrogeológica las variaciones de permeabilidad son mínimas y corresponden a un acuífero que se incrementa sus volúmenes de agua con las obras de recarga artificial (zanjas de

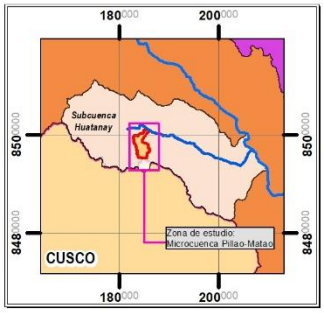
infiltración y amunas presentes en el área de estudio). A pesar de su heterogeneidad, el agua subterránea fluye por medio de estos materiales otorgándole propiedades de un medio continuo con variaciones mínimas de velocidad de flujo. Por lo tanto, el dimensionamiento de las zonas de perímetros de protección se basó en zonificar el medio sedimentario considerando la permeabilidad promedio en m/día, y tomando el tiempo necesario para que el agua subterránea alcance el nivel freático o el tiempo en que un contaminante pueda llegar a la galería filtrante.

Los acuíferos fisurados sedimentarios no se explotan en su total dimensión la carga hidráulica que ofrece la parte más elevada de la microcuenca corresponde a que a mayor profundidad puede existir mayores volúmenes de agua subterránea.

Instalar centros poblados mayores, urbanizaciones, establecimientos de ganadería y agricultura intensiva por encima de la galería filtrante de Pillao Matao representaran un factor de riesgo importante para la circulación del agua subterránea, el mismo que tiene que debe ser regulado.







SIMBOLOGÍA

- Centro Poblado
- Galería Filtrante Pillao Matao
- Microcuenca Pillao Matao

Leyenda

- DRE Área de protección
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente

Permeabilidad (m/día)

0.2136

EI-01

N° de Ensayo de Infiltración

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

MAPA DE UBICACIÓN DE ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Versión digital: Año 2018

Escala 1:25,000

0 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 Km

Datum: WGS 84, Proyección: UTM Zona 19 Sur

FIGURA 9.2

CONCLUSIONES:

- Las zonas identificadas para protección corresponden a la parte alta de la microcuenca de Pillao Matao cuyo perímetro aproximado para la protección de la zona de recarga es de 7.53 km y que comprende un área total de 3.82 km^2
- Las secuencias estratigráficas ubicadas en la parte alta de la galería Pillao Matao tiene permeabilidad variable, para la Formación Kayra los valores encontrados varían entre $2.13x10^{-1}$ m/día y $2.63x10^{-2}$ m/día, caracterizada como materiales algo permeables y clasificándola como acuífero pobre y para la Formación Soncco, se midieron permeabilidades entre $0.85x10^{-2}$m/día y $1.42x10^{-1}$m/día, caracterizada también como materiales algo permeables y clasificándola como acuífero pobre. Estos parámetros hidrogeológicos permiten caracterizar a las rocas fracturadas como acuíferos pobres, sin embargo, las obras de recarga realizadas en las inmediaciones superiores a la bocatoma de la galería optimizan la recarga artificial hacia el acuífero incrementando los volúmenes de recarga.
- El acuífero Kayra es considerado uno de los mejores acuíferos de la subcuenca Huatanay, puesto que presenta grandes superficies de afloramiento y alta producción de aguas subterráneas. Esta unidad presenta valores de porosidad que van de 6 a 16% y permeabilidad medida en campo de hasta 0.213 m/día (para el presente reporte), su espesor, es variable, cuyo límite es de 300 metros. Las características físicas e hidrogeológicas de esta formación indican que se pueden encontrar considerables reservas de agua subterránea en su interior.
- Según los resultados de análisis de rocas, en las cuatro (4) muestras analizadas, el contenido de minerales no tiene ningún elemento que puedan alterar la calidad de las aguas, por lo tanto, las aguas subterráneas que procedan de estos acuíferos tendrán aguas de calidad para consumo humano y riego.
- La galería filtrante Pillao Matao (49949-51), tiene una predominancia sulfatada cálcica y es de recorrido local a intermedio, su predominancia sulfatada (SO_4) lo adquiere de la descomposición de sustancia orgánicas que tuvieron contacto con el agua, y su predominancia cálcica (Ca) lo adquiere de los procesos de reducción disolución y por el intercambio catiónico de las fases solidas de Sodio y Magnesio, con los recorridos del agua subterránea. Su fuente de alimentación proviene de la infiltración del agua de lluvia en los materiales sedimentarios de las formaciones Kayra y Soncco, en la parte alta de la microcuenca Pillao Matao.
- Las muestras obtenidas para análisis de las diferentes captaciones del valle del Huatanay muestran un ajuste coherente con la línea meteorológica global, lo cual indica procesos de fraccionamiento isotópico en equilibrio y permite la determinación de características naturales de las aguas colectadas dado que estas conservan señales naturales relacionadas a procesos físicos locales y regionales.
- Las captaciones poseen dos orígenes de recarga diferentes y que pueden ser agrupadas para estudio. De manera específica, ha sido posible inferir la dinámica del comportamiento hidráulico en algunas de las captaciones en estudio. Siendo más dinámicas las galerías

Atochuachana – Oropesa (949), Pantalla Huasao- Oropesa (950) y la galería de Pillao Matao – San Jerónimo (951), debido a que mostraron variaciones estacionales en la señal isotópica indicando recarga rápida del sistema.

- A través del gradiente isotópico altitudinal de las precipitaciones ha sido posible determinar que la altura de recarga para el grupo de muestras 947 – 950 – 951, la posible altura de recarga se localiza entre los 700 – 900 metros por encima de los puntos de muestreo. Mientras que la recarga del otro grupo de muestras de estudio se presenta de manera muy variable entre 1200 – 1500 metros por encima de sus puntos de captación. Lo que indica de posibles regiones para implementar la recarga artificial de los acuíferos.
- Los suelos donde se ubican las zanjas de infiltración tienen permeabilidades bajas (por presencia de limos y arcillas), los cuales deben ser mejorados diseñando nuevas zanjas de infiltración en suelos más permeables y si es posible, zanjas en roca, los cuales optimizaría la infiltración de aguas de lluvia en la galería filtrante de Pillao Matao.
- Finalmente es necesario mencionar que estas interpretaciones deben ser contrastadas con la información hidroquímica de monitoreo constante, a fin de validar los resultados obtenidos y brindar un mayor soporte a las interpretaciones descritas. Adicionalmente a los indicadores hidroquímicos se debería incluir trazadores regionales para un correcto panorama de la dinámica de los acuíferos en la región Cusco.

RECOMENDACIONES

- La presencia de la galeria filtrante de Saylla, nos permite interpretar que la cantidad de descarga, proviene de un reservorio importante, para el cual es recomendable identificar sus características hidrogeológicas regionales, dimensionar su geometría y cuantificar su volumen. Este trabajo podría determinarse a través de un estudio hidrogeológico completo (que incluya un programa de perforaciones, logeo hidrogeológico y pruebas hidráulicas).
- Los tramos iniciales de la galería filtrante tienen una dirección que intercepta perpendicularmente a los planos de estratificación y donde se ubican la mayor cantidad de fracturas; sin embargo, se dirige a zona de poca carga hidráulica, la zona de infiltración es de muy poco espesor, esta direccion se corrige en la parte interior donde la direcion de perforacion cambia a zonas con mayor carga hidrulica. Una posible profundización de la galería, debe dirigirse a lado derecho, tratando de perforar zonas de mayor volomen rocoso, donde se encontrará mayores volúmenes de agua en las fracturas y por consiguiente mayores volúmenes de drenado en la galeria.
- Es necesario mencionar que resultados más robustos se obtendrán a través de monitoreo continuo considerando las siguiente variables: Aforo constante en bocatoma de galeria para medir las variaciones temporales del caudal, Monitoreo físico-químico mensual analizando iuones mayoritarios y mateles disueltos en el agua. Monitoreo de variables isotópicas en las aguas de la galeria, de manatailes cercanos y sobre todo de aguas de a fin de tener un panorama regional que permita la utilización de nuevas técnicas analíticas en el estudio de las aguas y la disponibilidad del recurso hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H. & Hackett, G. (1987) – DRASTIC and standardized system for evaluating groundwater pollution them potential using hydrogeology settings, In Environmental Protection Agency, EPA. Chicago 641 p.

Benítez, A. (1963) - *Captación de Aguas Subterráneas, nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales*. Madrid. Dossat. 157 p.

Cabrera, J. (1988) - Néotectonique et sismotectonique dans la Cordillère Andine au niveau du changement de géometrie de la subduction: la région de Cusco. Pérou. Thése Docteur 3éme cycle. Université Paris-Sud. Centre d'Orsay. 275 p.

Carlotto, V.; Pumayali, R.; Peña, F.; Yábar, R.; Oviedo, M., et al. (2008a) - Una nueva experiencia de galería filtrante en Cusco: Pillao Matao-San Jerónimo (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú. 6 p.

Carlotto, V., Cardénas, J. et Carlier, G. (2011) - Geología del cuadrángulo del Cusco 28s – 1:50000 *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional,* 138, 258 p.

Custodio, E. (1996) – Las aguas subterráneas como elemento básico de la existencia de numerosos humedales. En Ingeniería del Agua, Vol. 17, Nro. 2, Junio 2010. En Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua. Barcelona. España, p 120 – 135.

Foster, S. & Hirata, R. (1988) - *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes* (en línea). Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – OMS/OPS, 42 p. (consulta: junio 2009). Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind46/riego/riego.html>

Foster, S., Ventura M. & Hirata, R. (1993) - Poluiçao das aguas subterráneas: um documento executivo da situaçao da América Latina e Caribe com relaçao ao abastecimiento de água potáve. Sao Paulo: Instituto Geológico, 55 p.

Frezze, R. & Cherry, A. (1980) – Groundwater. Prentice-Hall. 604 p.

Guamán Poma de Ayala (2014) – *Mejoramiento del sistema de riego en la comunidad campesina Pillao Matao - San Jerónimo - Cusco*. Cusco. 174 p.

Mifflin, M. D. (1988). Region 5, Great Basin. In W. Back, J. S. Rosenshein & P. R. Seaber (Eds.), Hydrogeology, Geological Society of America (pp.69-78).

Musy, A. (2001). Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d´Hydrologie et Aménagement. Capítulo 3. La precipitación.

Peña, F. Sánchez, M. Pari, W. (2010) – Hidrogeología de la cuenca del río Ica. En INGEMMET. Boletín Serie H, Numero 3.

Peña, F. (2001) - *Estudio hidrogeológico del acuífero poroso no consolidado entre Saylla y Choquepata*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad, Cusco, 170 p.

Peña, F. & Cotrina, G. (2006) - Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Caplina: Región Tacna. En: Congreso Peruano de Geología, 13. Lima, 2006, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 459-462.

Peña, F. & Luna, C. (2004) - Captación de aguas subterráneas mediante pantalla de regulación: caso de Huasao (Cusco-Perú). En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, Resúmenes extendidos, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 359-362.

Proyecto Especial PENAR. (2015). Plan maestro del Parque Ecológico Nacional Antonio Raimondi, MINAM, Lima, Perú.

Rivera, M., *et al*., (2016) – Geología y mapa de peligros del volcán Misti. *INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 60, 170 p.

Rosenzweig, A. (1953) - Geología de la Isla San Lorenzo. *Instituto Nacional de Inversión y Formación Minera.* Boletín. 7.

Salazar, H. (1983) – Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochiri. Hojas 24-k y 25-k. *INGEMMET. Boletín. Serie A. Carta Geológica Nacional*. vol. 36, 68 p.

Sanders, L. (1998) - A manual of field hydrogeology. 381 p.

Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995) – Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. International Association of Hydrogeologists. Hannover. 193 p.

ANEXOS

- **Cuadros con resultados hidroquímicos de las muestras de aguas**
- **Diagramas de cálculo de permeabilidad, según los ensayos de infiltración**

Anexo: Fuentes de agua inventariadas en el área de estudio.

FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS INVENTARIADAS															
N°	CÓDIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM			TIPO DE FUENTE	PARÁMETROS HIDRAÚLICOS Y FISICOQUÍMICOS							
			X	Y	Z		Caudal (l/s)	Temp. de la Fuente (°C)	Temp. Ambiente (°C)	pH	CE (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinidad (psu)	Resistividad (k ohm/cm)
1	49949-46	Galería Salkantay - Cusco	175362	8508792	3873	Galería Filtrante	10.00	9.00	-	7.40	170.50	84.12	0.13	5.85
2	49949-47	Galería Sacramayo - Santiago	175869	8502646	3509	Galería Filtrante	-	15.10	-	7.20	930.70	456.50	0.50	1.07
3	49949-48	Galería Marashuaycco - San Jerónimo	188654	8502138	3404	Galería Filtrante	38.00	13.20	-	7.50	472.10	231.80	0.27	2.12
4	49949-49	Galería Atochuachana - Oropesa	201695	8497929	3579	Galería Filtrante	-	12.90	-	7.00	914.30	448.50	0.49	1.09
5	49949-50	Pantalla de Huasao - Oropesa	195893	8497633	3145	Galería Filtrante	42.00	-	15.70	7.00	979.60	480.50	0.53	1.02
6	49949-51	Galería Pillao Matao - San Jerónimo	184290	8497057	3430	Galería Filtrante	2.80	17.60	-	6.80	474.30	232.90	0.28	2.11
7	49949-52	Galería Saylla - Saylla	194554	8495855	3414	Galería Filtrante	22.80	18.40	-	7.00	1377.00	655.80	0.71	0.75
8	49949	Aguas de lluvia	185159	8495998	3786	Punto de Control	-	11.70	-	6.80	90.50	44.84	0.10	11.05

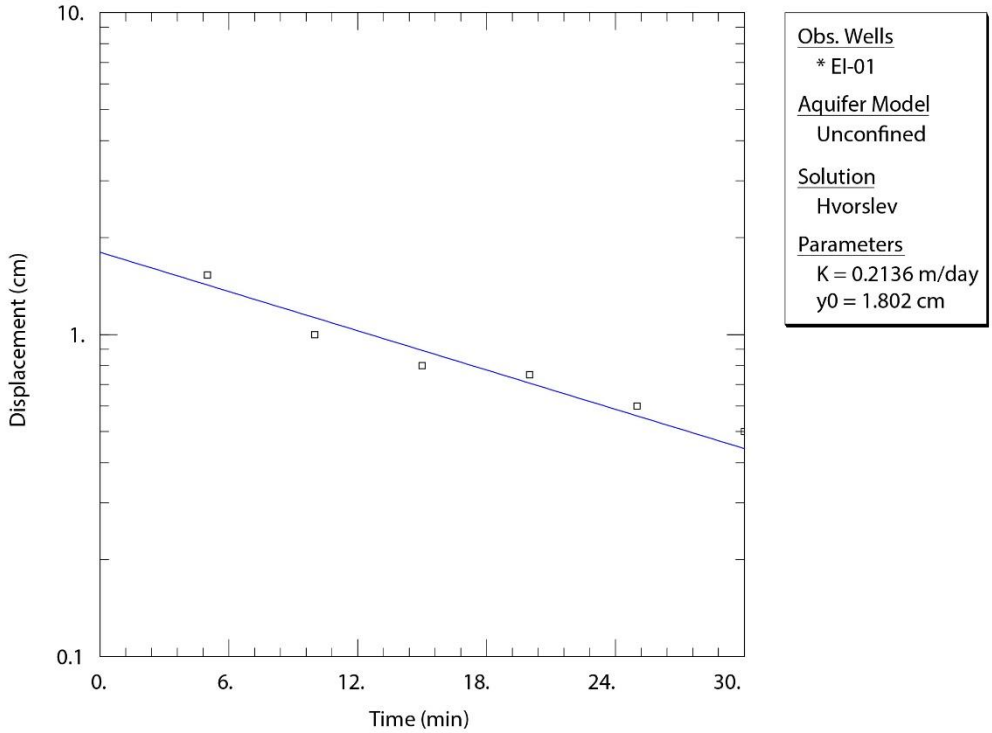
Anexo: Resultado de los elementos mayoritarios, en las fuentes de agua muestreadas en el área de estudio – época de avenidas.

FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MUESTREADAS EN ÉPOCA DE AVENIDAS																		
N°	CÓDIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM			TIPO DE FUENTE	FECHA DE MUESTREO	CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS									
			X	Y	Z			Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Li (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)
1	49949-46	Galería Salkantay - Cusco	175362	8508792	3873	Galería Filtrante	18/03/2017	28.60	2.10	3.00	0.003	0.40	0.30	75.00	<1	25.00	1.70
2	49949-47	Galería Sacramayo - Santiago	175869	8502646	3509	Galería Filtrante	18/03/2017	111.30	7.90	66.90	0.092	4.10	31.20	146.00	2.00	265.80	30.10
3	49949-48	Galería Marashuaycco - San Jerónimo	188654	8502138	3404	Galería Filtrante	17/03/2017	39.30	3.40	32.10	0.006	0.80	36.80	110.00	<1	29.90	1.60
4	49949-49	Galería Atochuachana - Oropesa	201695	8497929	3579	Galería Filtrante	17/03/2017	148.70	12.10	9.70	0.010	0.70	1.20	82.00	<1	406.00	2.00
5	49949-50	Pantalla de Huasao - Oropesa	195893	8497633	3145	Galería Filtrante	17/03/2017	83.50	24.90	66.70	0.031	4.20	80.50	307.00	<1	118.70	30.80
6	49949-51	Galería Pillao Matao - San Jerónimo	184290	8497057	3430	Galería Filtrante	18/03/2017	66.90	4.10	18.50	0.009	0.20	0.40	71.00	<1	162.10	0.80
7	49949-52	Galería Saylla - Saylla	194554	8495855	3414	Galería Filtrante	19/03/2017	268.20	5.20	18.30	0.021	1.20	3.60	59.00	<1	727.70	0.90
8	49949	Aguas de lluvia	185159	8495998	3786	Punto de Control	19/03/2017	10.20	2.30	4.60	<0.0004	<0.2	<0.2	48.00	<1	<1.0	<0.5

Anexo: Resultado de los elementos mayoritarios, en las fuentes de agua muestreadas en el área de estudio – época de estiaje.

FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MUESTREADAS EN ÉPOCA DE ESTIAJE																		
N°	CÓDIGO	NOMBRE	COORDENADAS UTM			TIPO DE FUENTE	FECHA DE MUESTREO	CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS									
			X	Y	Z			Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Li (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)
1	49949-46	Galería Salkantay - Cusco	175362	8508792	3873	Galería Filtrante	7/10/2017	26.65	2.00	3.08	0.006	0.43	<0.2	78.00	<1	14.33	2.34
2	49949-47	Galería Sacramayo - Santiago	175869	8502646	3509	Galería Filtrante	7/10/2017	124.73	8.41	55.05	0.093	3.95	21.87	132.00	2.00	328.88	19.76
3	49949-48	Galería Marashuaycco - San Jerónimo	188654	8502138	3404	Galería Filtrante	7/10/2017	35.16	3.07	26.32	0.009	0.74	21.60	112.00	2.00	17.26	1.69
4	49949-49	Galería Atochuachana - Oropesa	201695	8497929	3579	Galería Filtrante	6/10/2107	90.33	12.19	23.04	0.023	1.46	0.95	74.00	<1	287.40	2.57
5	49949-50	Pantalla de Huasao - Oropesa	195893	8497633	3145	Galería Filtrante	6/10/2107	100.85	29.78	69.14	0.043	4.54	76.52	302.00	5.00	124.05	30.83
6	49949-51	Galería Pillao Matao - San Jerónimo	184290	8497057	3430	Galería Filtrante	7/10/2017	84.13	5.16	20.50	0.015	0.28	0.55	64.00	<1	242.61	0.60
7	49949-52	Galería Saylla - Saylla	194554	8495855	3414	Galería Filtrante	6/10/2107	302.52	5.28	19.24	0.031	1.07	2.98	60.00	<1	791.12	<0.5

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set: G:\...\Pillao_Matao.aqt
Date: 08/03/18 Time: 08:50:23

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-01
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas, intercaladas con limolitas y lutitas y niveles conglomerádicos (Fm. Kayra)

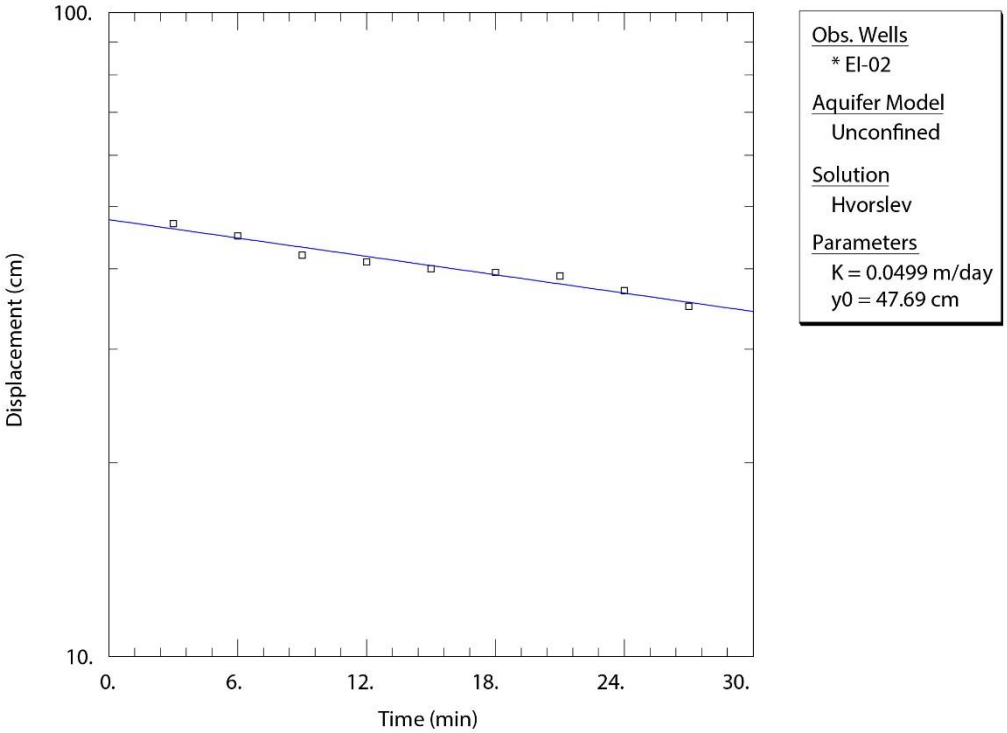
WELL DATA (EI-01)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.2136 m/day y0 = 1.802 cm

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set: G:\...\Pillao_Matao.aqt
Date: 08/03/18 Time: 08:53:45

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-02
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas, intercaladas con limolitas y lutitas y niveles conglomerádicos (Fm. Kayra)

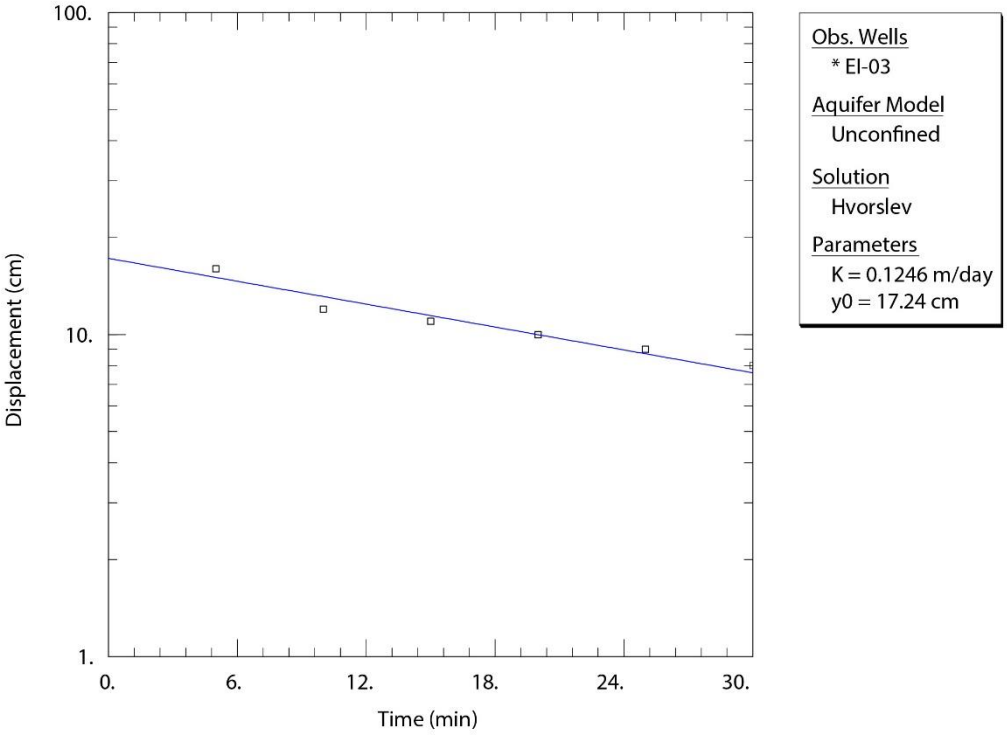
WELL DATA (EI-02)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.0499 m/day y0 = 47.69 cm

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set:
Date: 08/03/18 Time: 09:12:39

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-03
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas, intercaladas con limolitas y lutitas y niveles conglomerádicos (Fm. Kayra)

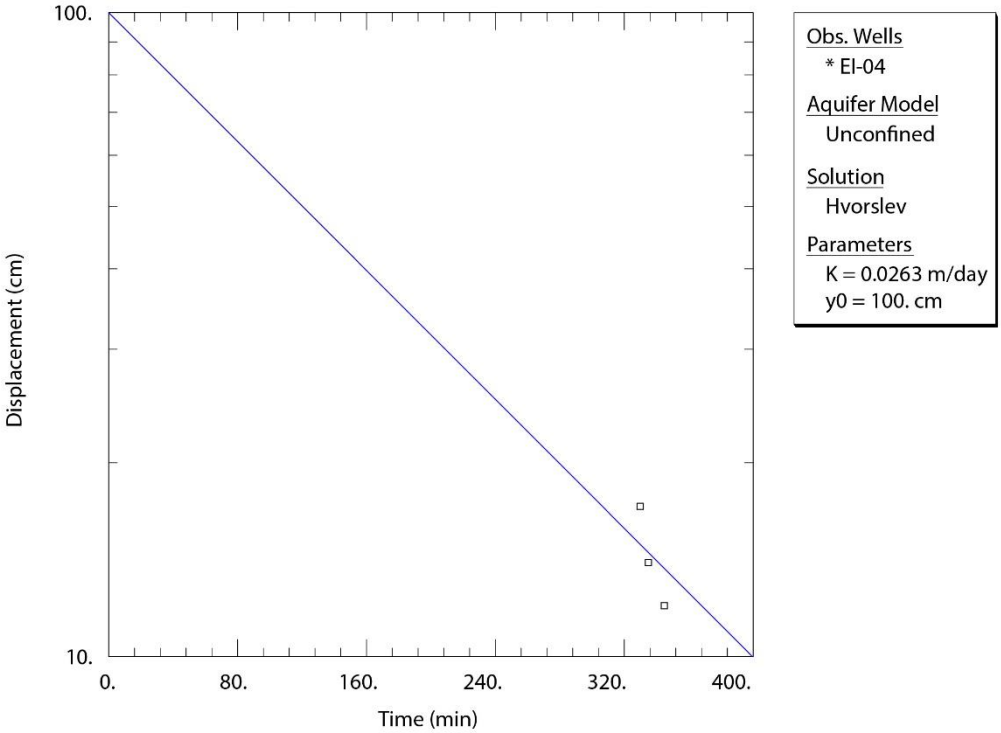
WELL DATA (EI-03)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.1246 m/day y0 = 17.24 cm

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set: G:\...\Pillao_Matao.aqt
Date: 08/03/18 Time: 09:15:23

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-04
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas, intercaladas con limolitas y lutitas y niveles conglomerádicos (Fm. Kayra)

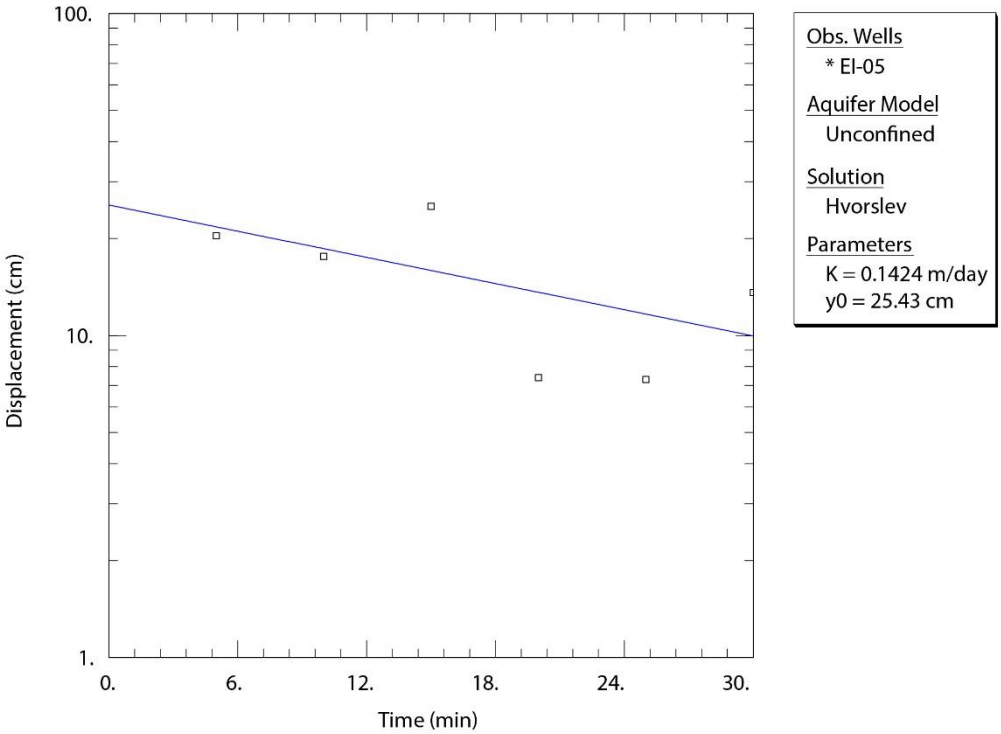
WELL DATA (EI-04)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.0263 m/day y0 = 100. cm

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set: G:\...\Pillao_Matao.aqt
Date: 08/03/18 Time: 09:18:24

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-05
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas intercaladas con niveles volcano-sedimentarios, volcánicos, limolitas y lutitas (Fm. Soncco)

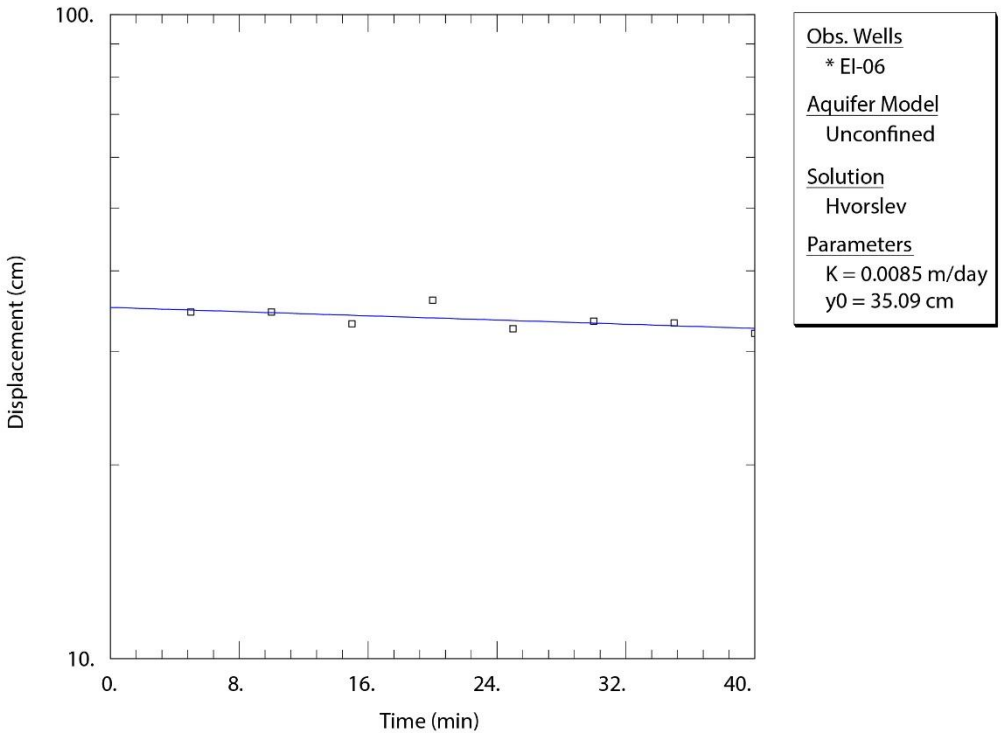
WELL DATA (EI-05)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.1424 m/day y0 = 25.43 cm

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA GALERÍA PILLAO MATAO

Data Set: G:\...\Pillao_Matao.aqt
Date: 08/03/18 Time: 09:20:32

PROJECT INFORMATION

Company: INGEMMET
Project: ACT-01
Location: Cusco
Test Well: EI-06
Test Date: 15-03-2017

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 60. cm Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.
Lithology: Areniscas feldespáticas intercaladas con niveles volcano-sedimentarios, volcánicos, limolitas y lutitas (Fm. Soncco)

WELL DATA (EI-06)

Initial Displacement: 0. cm Static Water Column Height: 60. cm
Total Well Penetration Depth: 1. cm Screen Length: 1. cm
Casing Radius: 2.54 cm Well Radius: 5.08 cm

SOLUTION

Aquifer Model: Unconfined Solution Method: Hvorslev
K = 0.0085 m/day y0 = 35.09 cm