

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco para  
caracterizar el funcionamiento hidrodinámico en el tajo Raúl Rojas –  
2022**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. William Edson SANTIAGO DELGADO**

**Asesor:**

**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco – Perú - 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco para  
caracterizar el funcionamiento hidrodinámico en el tajo Raúl Rojas –  
2022**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Eder Guido ROBLES MORALES**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 068-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“Determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco  
para caracterizar el funcionamiento hidrodinámico en el tajo  
Raúl Rojas - 2022”**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

**Bach. SANTIAGO DELGADO, William Edson**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. CALSINA COLQUI, Vidal Victor**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**

Índice de Similitud

**20%**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 28 de febrero del 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villar Reguis Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

En memoria a mí Apreciada Madre y  
Abuela: La Sra. Eva Delgado Soto y la Sra.  
Escolástica Soto Mendoza por su apoyo  
denodado, sin cesar hasta el día de su  
reciente partida.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios por guiar e iluminar mi camino en cada día de mi vida, a **mis padres y tíos** por su ejemplo de perseverancia, a mi hermano Anthony por estar siempre acompañándome y su apoyo moral e incondicional.

A los Ingenieros de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, con mención especial al **Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN**.

Del mismo modo, agradezco a los jurados calificadores por brindarme las facilidades y orientación para la realización de este trabajo.

## RESUMEN

La presente tesis se centra en la UM Cerro de Pasco, donde se recopiló y actualizó la información previa relacionados con las disciplinas de geología, hidrología e hidrogeología; a partir de esta información antecedente, se actualizó el nivel de información mediante investigaciones hidrogeológicas realizadas en el transcurso del presente trabajo de investigación, con el objetivo de determinar las propiedades hidrogeológicas, con la finalidad de caracterizar el funcionamiento hidrodinámico del entorno al área de estudio que permita dar soporte a la estimación de flujo y recarga del Tajo Raúl Rojas.

Como parte de la caracterización hidrogeológica del entorno del área de estudio se desarrollaron una serie de actividades las cuales estuvieron orientadas a mejorar el conocimiento de la hidrodinámica subterránea. Dichas actividades consistieron en realizar trabajos de mapeo hidrogeológico e hidrológico, implementación de piezómetros tipo Casagrande dentro de los componentes, Botaderos y el Tajo Raúl Rojas; distribuidos dentro de las propiedades de la UM Cerro de Pasco. Donde se interpretaron ocho unidades hidrogeológicas y dos sistemas hidrogeológicos a nivel profundo y somero.

La presente tesis obedece a las necesidades actuales de la operación minera, requiriendo dar continuidad a sus operaciones en la UM Cerro de Pasco, para lo cual tiene planificada la ampliación de la zona suroeste del Tajo Raúl Rojas, estimándose minar 1 600 toneladas por día para explotar una reserva cubicada de 1, 206. 478 TMS de mineral de oro y plata. Este proyecto de investigación concluye que debido a la influencia del bombeo de las labores mineras subterráneas; han deprimido los niveles de agua subterránea del sistema profundo hasta niveles más bajos que la máxima profundización de la extensión del Tajo Raúl Rojas, sin embargo, el sistema somero se presume que en

la parte más profunda de la extensión del tajo podría interceptar este sistema somero, generando unas filtraciones hacia el tajo, desde la zona oeste.

**Palabras claves:** Funcionamiento hidrodinámico, caracterización hidrogeológica, piezómetros, estimación de flujo, unidades hidrogeológicas.

## **ABSTRACT**

The present study compiled and updated information from previous studies related to the technical disciplines of geology, hydrology and hydrogeology; Based on this background information, the level of information was updated through hydrogeological investigations carried out in the course of this research work, with the aim of achieving an understanding of the hydrodynamic functioning of the Cerro de Pasco MU environment that allows supporting the flow and recharge estimation of the Raúl Rojas Pit.

As part of the hydrogeological characterization of the environment of the study area, a series of activities were developed which were aimed at improving knowledge of underground hydrodynamics. These activities consisted of carrying out hydrogeological and hydrological mapping work, implementation of Casagrande-type piezometers within the Pampa Seca Stock Pile, Miraflores Botadero, Tajo Raúl Rojas and distributed within the properties of the UM Cerro.

This thesis responds to the current needs of the mining operation, requiring continuity of its operations at the Cerro de Pasco MU, for which the expansion of the southwest area of the Raúl Rojas Tajo is planned, estimating to mine 1,600 tons per day to exploit a cubic reserve of 1,206,478 TMS of gold and silver ore. With this production rate of 1,600 tons of mineral per day (576,000 MT/year), it is projected to increase the useful life of the pit by approximately three (03) years. The expansion of the Raúl Rojas Pit will have a maximum depth of 50 m, approximately to a bottom level of 4,265 meters above sea level; while, the Raúl Rojas Tajo currently has a bottom level of 4063 meters above sea level and the underground works are at a minimum level of 3527 meters above sea level.

**Keywords:** Hydrodynamic functioning, hydrogeological characterization, piezometers, flow estimation, hydrogeological units.

## INTRODUCCIÓN

La UM Cerro de Pasco se encuentra ubicada en el distrito Simón Bolívar de la provincia y Región Pasco a 295 km al Este de la ciudad de Lima, en la meseta de los andes con una altitud promedio de 4450 msnm. Para llegar a la zona de estudio, se utiliza la Carretera Central que cubre la ruta Lima –La Oroya – Cerro de Pasco, que es en totalidad asfaltada, recorriendo 306 Km. Otra alternativa de acceso es la ruta Lima – Canta – Cerro de Pasco, con un kilometraje de 270 Km, de los cuales 140 Km son asfaltados.

Geográficamente se localiza en la cadena occidental del territorio peruano de la meseta Bombón en el valle interandino de la Cordillera de los Andes. (ver Figura 1).

A fin de sustentar la evaluación geológica e hidrogeológica necesaria para el desarrollo del Estudio Hidrogeológico de la UM Cerro de Pasco, la presente tesis desarrolló investigaciones de campo en temporada húmeda y seca; a nivel superficial para fortalecer su entendimiento del funcionamiento del sistema de flujos presentes en torno a la UM Cerro. Toda la información colectada en campo fue contrastada y complementada con información previa del lugar permitiendo la formulación del análisis hidrológico e hidrogeoquímico apropiado. A su turno, el procesamiento de la data validada permitió el modelamiento hidrogeológico del sector de interés, cuyos resultados se reportan en el presente estudio.

# ÍNDICE

**Página.**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y Planteamiento del Problema .....	1
1.2.	Delimitación de la Investigación .....	2
1.3.	Formulación del Problema.....	2
1.3.1.	Problema general .....	2
1.3.2.	Problemas específicos.....	2
1.4.	Formulación de Objetivos .....	2
1.4.1.	Objetivo general .....	2
1.4.2.	Objetivos específicos.....	2
1.5.	Justificación de la Investigación .....	3
1.6.	Limitaciones de la Investigación .....	3

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de Estudio.....	4
2.1.1.	Antecedentes Internacionales .....	4
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	6
2.1.3.	Antecedentes locales .....	7
2.2.	Bases teóricas – científicas .....	10
2.3.	Definición de Términos .....	35
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	38

2.4.1.	Hipótesis General .....	38
2.4.2.	Hipótesis Específicas .....	39
2.5.	Identificación de Variables .....	39
2.5.1.	Variable Independiente .....	39
2.5.2.	Variable Dependiente .....	39
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	39

### CAPITULO III

#### METODOLOGÍA

3.1.	Tipo de Investigación .....	40
3.2.	Métodos de Investigación .....	41
3.3.	Diseño de la Investigación .....	41
3.4.	Población y Muestra .....	42
3.4.1.	Población .....	42
3.4.2.	Muestra .....	42
3.5.	Técnicas e Instrumentos de la Recolección de Datos .....	42
3.5.1.	Técnicas .....	42
3.5.2.	Instrumentos .....	42
3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos .....	42
3.7.	Tratamiento Estadístico .....	42
3.8.	Orientación ética .....	43

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de Campo .....	44
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	62
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	137
4.4.	Discusión de resultados .....	138

#### CONCLUSIONES

#### RECOMENDACIONES

#### BIBLIOGRAFÍA

#### ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página.</b>
Figura 1. Se Encuentran Representados Ambos Tipos De Acuíferos. J. Bear (1972). .....	11
Figura 2. Acuífero Según Litología. E. Custodio y M. Llamas (1983).....	11
Figura 3. Tipos de Acuíferos. F. Javier Sanchez (2017) .....	14
Figura 4. Superficies Freáticas y Piezométrica. Needham J. (1970).....	16
Figura 5. Red de flujo de agua subterránea en una sección transversal vertical bidimensional a través de un sistema isotrópico homogéneo delimitado en el fondo por un límite impermeable. (Hubbert, 1940).....	17
Figura 6. (a) y (b) Efecto de la topografía en los patrones regionales de flujo de agua subterránea. Freeze y Witherspoon (1967).....	20
Figura 7. Sistemas locales, intermedios y regionales de flujo de agua subterránea. Toth (1963).....	21
Figura 8. Efecto de la geología en los patrones regionales de flujo de agua subterránea. Freeze y Witherspoon (1967).....	22
Figura 9. Medida de permeabilidad por inyección de agua TYPs (2011) .....	24
Figura 10. Esquema de un sondeo en que se inyecta súbitamente un volumen V de agua. Cooper (1967) .....	26
Figura 11. Ensayo a régimen permanente. Luis I. González de Vallejo (1991).....	27
Figura 12. Ensayo a régimen variable. Luis I. González de Vallejo (1991) .....	28
Figura 13. Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad. Olalla y Sopena (1991).....	29
Figura 14. Desagüe de excavaciones (a) drenajes horizontales; (b) drenaje galería con orificios de drenaje radiales; (c) sistema de puntos de pozo de tres etapas. Sharp (2012) .....	31
Figura 15. Diagrama esquemático del sistema de una mina a cielo abierto. Seweryn (1984) .....	32
Figura 16. Valores referenciales para la conductividad hidráulica k (m/d). F. J. Sánchez San Román (2017).....	35
Figura 17. Ubicación de la UM Cerro de Pasco .....	45
Figura 18. Plano Geológico de la UM Cerro de Pasco.....	48

Figura 19. Plano Estructural de la UM Cerro de Pasco.....	61
Figura 20. Sección A' – A'' .....	61
Figura 21. Puntos de inventario y muestreo del nivel 800. ....	76
Figura 22. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1000. ....	76
Figura 23. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1200. ....	77
Figura 24. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1400. ....	77
Figura 25. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1600. ....	78
Figura 26. Conductividad hidráulica de la UH Depósitos No Consolidados .....	88
Figura 27. Conductividad hidráulica de la UH rocas intemperizadas .....	89
Figura 28. Conductividad hidráulica de la UH Pocobamba – Calera.....	91
Figura 29. Conductividad hidráulica de la UH rocas intrusivas.....	92
Figura 30. Conductividad hidráulica de la UH rocas intrusivas en la perforación FS22-CV01 .....	94
Figura 31. Conductividad hidráulica de la UH Pucará.....	96
Figura 32. Conductividad hidráulica de la UH Cabanillas.....	98
Figura 33. Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro FS22-CV01-II (sensor instalado a 25 m de profundidad).....	103
Figura 34. Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro FS22-CV01-I (sensor instalado a 294 m de profundidad).....	103
Figura 35. Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro de tubo abierto FS22-PZ02.....	104
Figura 36. Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro de tubo abierto FS22-PZ10.....	104
Figura 37. Datos históricos de flujos de agua en labores mineras subterráneas (datos proporcionados por Volcan) .....	107
Figura 38. Finalmente, ploteando estas relaciones se obtiene las curvas IDF (Curvas Intensidad – duración – periodo de retorno).....	112
Figura 39. Distribución de la recarga asignada para el área de estudio hidrogeológico .....	115
Figura 40. Distribución de la precipitación media mensual (tomado de WSP, 2023) .	120
Figura 41. Puntos de evaluación de control flujo base .....	121
Figura 42. Evolución de los flujos de la mina subterránea.....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página.</b>
Tabla 1. Resumen de inventario de fuentes de agua superficial y subterránea .....	69
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de campo en labores subterráneas.....	75
Tabla 3. Muestras de agua superficial y subterránea, parámetros fisicoquímicos en estación húmeda 2022 .....	80
Tabla 4. Muestras de agua superficial y subterránea, parámetros fisicoquímicos de campo en estación seca 2022 .....	82
Tabla 5. Resumen de pruebas hidráulicas y detalles constructivos de piezómetros. ....	84
Tabla 6. Resumen de pruebas de conductividad hidráulica en perforaciones ejecutadas. ....	86
Tabla 7. Conductividad hidráulica relativa (Groundwater Manual. US Department - Bureau of Reclamation, 1977 .....	87
Tabla 8. Caudales promedio anuales del sistema de bombeo de las labores subterráneas (datos proporcionados por Volcan) .....	107
Tabla 9. Precipitación de años secos y húmedos.....	110
Tabla 10. Precipitación máxima en 24 horas para varios periodos de retorno.....	111
Tabla 11. Relaciones intensidad-duración-periodo de retorno.....	112
Tabla 12. Distribución de la recarga en porcentaje por unidad litológica.....	117
Tabla 13. Distribución de la recarga en mm por unidad litológica .....	118
Tabla 14. Recarga Promedio Mensual del Área Hidrogeológica de la MEIA .....	119
Tabla 15. Estaciones de monitoreo de flujos – Época seca 2022 .....	121
Tabla 16. Rango de flujo base estimado en los puntos de control .....	123
Tabla 17. Se resume las características y propiedades de cada unidad hidrogeológica (UH).....	132

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página.</b>
Anexo 1. Mapa Hidrogeológico de la UM Cerro de Pasco	
Anexo 2. Sección Hidrogeológica A – A”	
Anexo 3. Sección Hidrogeológica B – B”	
Anexo 4. Sección Hidrogeológica D – D”	
Anexo 5. Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual	
Anexo 6. Mapa de Inventario de Fuentes de Agua Superficial y Subterránea - Época Seca	
Anexo 7. Mapa de Inventario de Fuentes de Agua Superficial y Subterránea - Época Húmeda	
Anexo 8. Mapa de niveles y dirección de flujo de agua subterránea	
Anexo 9. Mapa de isopropundidades de agua subterránea	
Anexo 10. Estaciones Meteorológicas	

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y Planteamiento del Problema**

En el presente proyecto de investigación se recopiló y revisó la información disponible de estudios anteriores relacionados a la caracterización de las condiciones geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas, en la zona de la UM Cerro de Pasco – Tajo Raúl Rojas donde se han realizado estudios hidrogeológicos con la finalidad de determinar las características del funcionamiento hidrogeológico.

La caracterización hidrogeológica obedece a las necesidades actuales de la operación minera, requiriendo dar continuidad a sus operaciones en la UM Cerro de Pasco, para lo cual tiene planificada la ampliación de la zona suroeste del Tajo Raúl Rojas.

Uno de los problemas primordiales es elaborar una caracterización hidrogeológica, con la finalidad de representar la situación del sistema

hidrogeológico en condiciones actuales, y que la unidad minera pueda continuar su ampliación sin interrupciones en su producción minera.

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

Como es un proyecto realizado en una unidad minera, es espacial porque solamente se delimita su aplicación para la zona de estudio, y temporal ya que el proyecto tuvo una duración desde 01/11/2022 hasta 31/07/2023; además servirá como información de consulta en temas similares.

## **1.3. Formulación del Problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo la determinación hidrogeológica de la UM Cerro de Pasco, describirá el funcionamiento hidrodinámico en el Tajo Raúl Rojas – 2022?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera las características geológicas de la UM Cerro de Pasco, influirán en la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas?
- ¿En qué grado las características hidrogeológicas de la UM Cerro de Pasco, influirán en el funcionamiento hidrodinámico del Tajo Raúl Rojas?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades hidrogeológicas, con el propósito de describir el funcionamiento hidrodinámico en el Tajo Raúl Rojas – 2022.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir las características geológicas de la UM Cerro de Pasco, que influirán en la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas.

- Determinar las características hidrogeológicas de la UM Cerro de Pasco, que influirá en el funcionamiento hidrodinámico del Tajo Raúl Rojas,

### **1.5. Justificación de la Investigación**

Se justifica la determinación hidrogeológica de la UM Cerro de Pasco, porque se requiere evaluar y caracterizar el conocimiento hidrogeológico, para entender el funcionamiento del sistema hidrogeológico a escala local y regional del Tajo Raúl Rojas, la cual nos permitirá representar el comportamiento hidrodinámico desde su condición actual y predictivo de la interacción del agua subterránea con los componentes de la unidad minera, para poder garantizar que la empresa minera continúe con sus operaciones de producción.

### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

Las limitaciones que se tiene son: El uso del software es de carácter privado, asimismo los datos de laboratorio, solamente es de uso para la zona de estudio.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Estudio

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**José Enrique Herrera Salazar (2014)**, *“Evaluación de la hidrodinámica de una mina a cielo abierto mediante un modelo de simulación, utilizando diversos enfoques de modelación basados en los atributos geológicos del acuífero”*, La hidrodinámica de los acuíferos fracturados se encuentra sujeta a la alta heterogeneidad hidráulica dominada por fallas, fracturas y su interacción con la matriz rocosa, cuya caracterización representa un alto grado de complejidad hidrogeológica. La comprensión y modelación se ha vuelto de vital importancia para los sectores humanos que interactúan con estos acuíferos, siendo uno de los más importantes el sector minero, cuya necesidad primordial es el desagüe de las zonas mineralizadas para permitir el acceso a los minerales de mena.

**Virginia María Robles (2007)**, “*Caracterización hidrogeológica de la sierra de Cartagena - La Unión (se de la península ibérica), impacto de la minería abandonada sobre el medio hídrico*”, En este proyecto de investigación se define el modelo de funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Sierra de Cartagena - La Unión (SE Península Ibérica). Geográficamente se encuentra en los términos municipales de Cartagena y La Unión, y geológicamente forma parte de las Zonas Internas de la Cordillera Bética.

**Cadena Vaca, Alisson Nathaly (2017)**, “*Caracterización hidrogeológica y análisis de vulnerabilidad de la Unidad Hidrogeológica La Concordia, NNW Ecuador*”, con la finalidad de caracterizar La Unidad Hidrogeológica La Concordia (UHLC), el presente trabajo utiliza criterios hidrometeorológicos, geológicos, geofísicos e hidrogeoquímicos. Se elaboró el balance hídrico, donde se establece que la precipitación media es de 3004,42 mm/año y la escorrentía superficial es de 1989,0 mm/ año. La interpretación geofísica, indicó los posibles acuíferos libres ubicados al occidente de la UHLC, los mismos que están a una profundidad que varía de 10.0 a 40.0 m., con espesores que no superan los 25,0 m. (De La Cruz & David, 2015) (Cabello, 2008)

**Burcu Ünsal (2013)**, “*Evaluación de los requisitos de deshidratación a cielo abierto y formación de lagos a cielo abierto para la mina de oro Kışladağ, Uşak-Turquía*”, El modelo calibrado se utiliza como herramienta para la determinación de los caudales de agua subterránea en el pit, aplicando dos enfoques de simulación diferentes: estado estacionario y transitorio.

**Ninanya De La Cruz, Hugo David (2015)**, “*Análisis numérico de flujo subterráneo: Caso Mina Subterránea de Vazante – Brasil*”, Esta tesis busca contribuir a una mejor comprensión de soluciones numéricas que representan el

comportamiento de flujo subterráneo a través de un estudio de caso de una mina subterránea que presenta problemas de infiltración en su interior. Una implementación apropiada y eficiente de estas actividades dependen de los estudios hidrogeológicos de grande porte, que permiten evaluar los sistemas de control de agua más adecuados, necesarios en las actividades mineras.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Cristian Cabello (2008)**, *“Caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la unidad minera a cielo abierto Comarsa - Perú aplicando tecnologías geomáticas”*, El objetivo de esta tesis es la caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la unidad minera Santa Rosa (UMSR). Para lograrlo se ha empleado información de cartografía geológica, hidrogeológica, datos mineros y diferentes mapas temáticos, así como mapas derivados obtenidos con técnicas geomáticas y modelos numéricos. En diferentes campañas de campo fueron inventariados 270 puntos de agua, cuatro tajos abiertos, dos tipos de residuos mineros en un área de 878 Ha.

**Guzmán Álvarez, Kevin Edson (2023)**, *“Estudio hidrogeológico de aguas subterráneas en el Balneario Pojpoquilla distrito de Ayaviri - Puno”*, el presente proyecto de investigación toca los aspectos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos y geofísicos, orientados a la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del sistema termal Pojpoquilla-Ayaviri, para dar explicación de los problemas de descenso del caudal de la fuente termal.

**Sarango Olaya, Isrrael (2019)**, *“Evaluación hidrogeológica para determinar la disponibilidad hídrica subterránea en el sector Punta Arena, distrito de Castilla, provincia y departamento de Piura – Perú”*, En la presente

investigación ha permitido poder determinar la existencia de recursos hídricos subterráneos, así como la disponibilidad hídrica subterránea para el aprovechamiento responsable de dichos recursos sin afectar los reservorios acuíferos encontrados. Las características Lito-estratigráficas de las unidades geológicas, los rasgos geomorfológicos, el desarrollo de la cuenca hidrográfica y la hidrogeología relacionada a la zona de investigación determinan condiciones favorables para la existencia de recursos hídricos subterráneos.

**Quinde Barrientos Karen (2018)**, *“Investigación hidrogeológica para explotación de agua subterránea en el sector 84 bajo – San Isidro, distrito de Tambogrande, provincia y departamento de Piura – Perú”*, El desarrollo del presente proyecto de investigación describe la información necesaria como las Características Geológicas y Geomorfológicas, Exploración Geofísica, Características Hidrogeológicas., Relacionando de esta manera toda la información y poder interpretar de manera más concisa la presente.

**Huaraya Ocsa, Jorge Washington (2020)** *“Caracterización hidrogeológica mediante ensayo de bombeo en medios fracturados Zona Alto Andina - Región Puno sur del Perú”*, el trabajo de investigación involucra el reconocimiento geológico estructural en la zona de estudio, identificación de afloramiento de agua en superficie (10 manantiales) e identificación de quebradas permanentes y efímeras. Asimismo, se realizaron 21 perforaciones, las cuales sirvieron como implementación para poder caracterizar la zona de estudio mediante la ejecución de pruebas hidráulicas en cada una de ellas, obteniendo rangos de valores de conductividad hidráulica para cada una de las litologías, así como, para los grupos de materiales presentes en la zona de estudio.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

**Rojas Delgado, Katherine Noemi (2016)**, *“Estimación de las propiedades hidrodinámicas e identificación de las fuentes de recarga del acuífero Vinchos”*, El presente trabajo tuvo como finalidad caracterizar hidrogeológicamente el acuífero de Vinchos ubicado en el distrito de Pachanchacra, provincia y departamento de Pasco; la caracterización morfológica del sistema acuífero se ha realizado mediante el uso de la técnica isotópica, a través de la toma de muestras de agua superficial y subterránea, para el posterior análisis de los isotopos ambientales, los cuales fueron complementados con los análisis físico-químicos de dichas muestra de agua.

**Nolasco Ibia, Mariela (2020)**, *“Caracterización hidrogeológica en la estimación del caudal de las aguas subterráneas - Mina Raura”*, El propósito de este trabajo es determinar el comportamiento del caudal de las aguas subterráneas y su influencia en las labores subterráneas. El incremento en el caudal de las aguas subterráneas en la unidad minera eleva el costo de producción, por lo tanto, es imprescindible cuantificarlo. Asimismo, es necesario determinar la influencia de la litología y las estructuras geológicas en el aumento del caudal en profundidad. El incremento del caudal se produce por: Infiltración estacional (alta precipitación), “flujo en conducto” (en cársticos interconectados) e Infiltración a través de fracturas y permeabilidad del macizo rocoso. Toda la caracterización hidrogeológica nos permitirá determinar las soluciones adecuadas para disminuir los costos. (Quintana Huaricapcha, 2021) (Ramos & Ramos Espinoza, 2018)

**Vizcarra Alponente, Wilbert Juan (2017)**, *“Caracterización hidrogeológica del área de emplazamiento del depósito de relaves de la mina Alpamarca, Yauli – Junín”*, En la presente tesis se enfatizó en conocer las condiciones hidrogeológicas que se presentan en dicha quebrada, y la dinámica

del flujo subterráneo existente en dicho sector. Las investigaciones ejecutadas en esta quebrada, han determinado que existe un acuífero libre con una potencia estimada de 15 m., subyaciendo se encuentra un acuífero fracturado y fisurado. Para la construcción del nuevo depósito de relaves, se recomienda la impermeabilización del sector del vaso, a fin de controlar la infiltración de flujos no deseados al acuífero existente y su conexión aguas abajo.

**Quintana Huaricapcha, Marita Eddy (2021)**, *“Estudio hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca Hércules de la Compañía Minera Lincuna S.A. – Huaraz”*, La contaminación ambiental, muestra grandes impactos al medio ambiente, para ello las diferentes formas de averiguarlo permite enfocarnos en un objetivo de que al efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca Hércules de la Minera Lincuna S.A. establece una gran diversidad de métodos para ejecutarlo.

**Ramos Espinoza, Evelin Miriam (2018)** *“Estudio hidrogeológico para la proyección de pozos de drenaje en el tajo abierto de la mina Colquijirca”*, El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general realizar el estudio hidrogeológico para la proyección de los pozos de drenaje y que por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca. Se trata de una investigación hidrogeológica que conlleva a la caracterización hidrogeológica del Tajo Abierto de la Mina Colquijirca y que, bajo ciertos criterios hidrogeológicos, hidrológicos y geológicas se ubicaron, diseñaron y perforaron los pozos de drenaje para mantener el nivel freático por debajo del nivel del piso de minado y tener las condiciones de minado seco, asegurando condiciones adecuadas de trabajo.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **Conceptos de hidrogeología**

“Es el conocimiento que investiga el principio y la creación de las aguas subterráneas, los tipos de reserva, extensión, flujo, regulación y almacenamiento, su interconexión con rocas y suelos, propiedades: químicas, físicas, radiactivas y bacteriológicas, estados: sólido, líquido y gaseoso; como también las situaciones que establecen las normas de su explotación, reglamentación y desocupación”. (citado por Glok, M., 2015, Mijailov, L., 1985,)

Reina en la naturaleza una extensa formación de gamas geológicas con reservas de agua, con diferencias grandes de capacidad y difusión. En lo que respecta hidrogeológicamente, estas creaciones se ordenan en cuatro géneros: acuíferos acuicludo, acuitardo y acuífugo. L. Gonzales de (2002).

Se puede contemplar a los acuíferos como estanques de reservas subterráneas que se rellenan normalmente a través de la pluviosidad y ríos dominantes o a través de pozos y relleno artificial con diversos sistemas. Un acuífero es una creación geológica, con contenido de agua y facultada moverse por medio de él en situaciones naturales in situ. J. Bear (1972).

Se les llama acuíferos libres, freáticos o no confinados, cuando estas se encuentran en una superficie con presencia del agua en libertad, que están conectadas directamente con el viento, a presión atmosférica, por consiguiente.

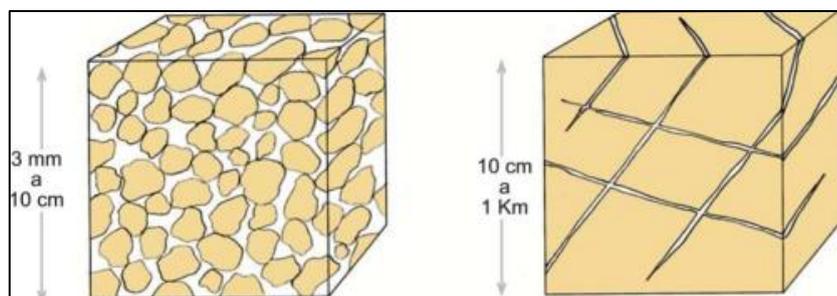
Asimismo, se les llama acuíferos cautivos, a presión o confinados, cuando el contenido de agua en estos acuíferos, se encuentra dominada a una fuerza más alta que la atmósfera, ocupando y sobrecargándola totalmente a los huecos o poros de la creación geológica en donde se encuentra.

**Figura 1.** Se Encuentran Representados Ambos Tipos De Acuíferos. J. Bear (1972).



Se les llama acuíferos a las formaciones geológicas, que son posibles de reservar y trasladar agua, que permiten contar con diversos elementos hidrogeológicos en función a sus aspectos litológicos. estas podrían manifestarse con porosidad intergranular que posibilita filtración del agua por medio de estas mismas caso contrario se manifiestan con rajaduras o fallas que también posibilita la filtración del agua. La imagen 2 señala un acuífero con porosidad y un acuífero fracturado que transmite agua a través de sus fracturas. E. Custodio y M. Llamas (1983)

**Figura 2.** Acuífero Según Litología. E. Custodio y M. Llamas (1983)



El desplazamiento del agua en los acuíferos filtrables es un suceso físico que fue contemplado por la ley de Darcy en el año 1856 que seguidamente detallaremos.

Determina esta ley, preliminar, que la corriente de agua que corre en medio de los puntos a y b mediante una forma poroso saturado, es equivalente al área o sector de paso A, al gradiente hidráulico ( $\Delta h/L$ ) y la conductividad hidráulica K del medio. E. M. Llamas y Custodio (1983)

Es planteada la función matemática en la ley Darcy en la ecuación siguiente:

$$\text{Donde: } Q = K \cdot A \cdot (\Delta h / \Delta l)$$

Q [ $L^3 / T$ ] es el caudal

$\Delta h$  [L] es la diferencia de potencial entre los puntos a y b

$\Delta l$  [L] es la distancia entre a y b A

[ $L^2$ ] es el área de paso

K [L/T] es la conductividad hidráulica del medio poroso

El volumen o magnitud en la transmisión de agua a través de vías porosas es la conductividad hidráulica y la pérdida completa de energía mecánica por la unidad de distancia transitada por el agua se determina como el gradiente hidráulico.

Es aplicable la ley de Darcy para corrientes de agua en direcciones laminares, en la que detalla cada partícula, un trayecto con rapidez simultánea al flujo.

Se debe recurrir al número de Reynolds Para precisar si es o no aplicable la ley de Darcy, que plantea la conexión de las viscosas de un fluido entre la energía de inercia. L. Gonzalez de Vallejo (2022).

La ecuación (2) presenta la fórmula del número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

$v$  [L/T] es la velocidad de flujo

$d$  [L] el tamaño medio de las partículas

$\rho$  [M/L<sup>3</sup>] densidad del fluido

$\mu$  [M/T L] la viscosidad dinámica

Se precisa si la ley de Darcy es o no aplicable en función al valor de  $Re$ . Será laminar el flujo si  $Re < 1-10$  aun cuando para incrementar la exactitud se usa  $Re < 4$ . E. Custodio y M. Llamas (1983)

Resulta una ecuación en derivadas parciales cuando la ley de Darcy se mezcla con una ecuación de continuidad que especifica la conservación de la Masa y de una Dimensión Elemental Representativo de medio poroso por intermedio de la fuerza de la corriente.

En la modelación de corriente de agua subterránea bajo la ley de Darcy, esta ecuación es la manera más aplicada que interpreta el balanceo de un fluido monofásico (agua) de un flujo a un medio poroso de una constante densidad, llevando a cabo en un medio continuo, las normativas de preservación de masa y energía. M. P. Anderson (2015)

### **Tipos de acuíferos: libres, confinados y semiconfinados**

**Acuíferos Libres:** Se llama así porque la superficie freática o su tope máximo se encuentra a presión atmosférica. Si sacamos agua, mermara la superficie freática lo mismo que al sacar agua de una piscina merma el agua.

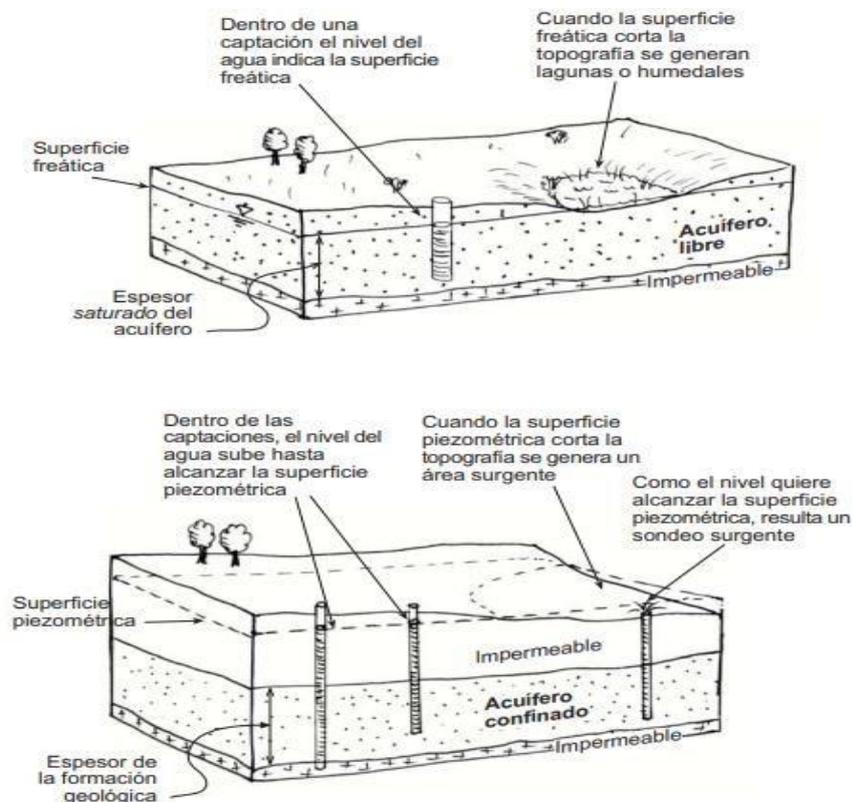
**Acuíferos Confinados:** es lo contrario al acuífero libre, su tope máximo se encuentra a presión más alta a la atmosfera, es una capa porosa; si retiramos agua de él ninguno de los poros se vaciará, la descomprensión comienza al retirar o extraer el agua y de la comprensión de la matriz sólida en baja magnitud. Si es evidente y no es alterable esa compresión del acuífero, los terrenos alcanzaran a generar subsidencia y asentamientos.

Si se taladra un sondeo y al perforar consigue la superficie freática de un acuífero libre, en la perforación la magnitud del agua se mantiene en su lugar en que se cortó la magnitud de la misma. Es muy parecido como al abrir un hueco con las manos en la playa y suele emerger agua por debajo, debido a que en las playas del mar estas arenas se encuentran abarrotadas hasta el nivel máximo de altura.

Sin embargo, a través de la perforación, la altura del agua puede aumentar muchos metros alcanzando el límite de un acuífero confinado durante una perforación.

Entretanto que el espesor es fijo en los acuíferos confinados (espesor que constituye el acuífero de la formación geológica), se dice en los acuíferos libres del espesor saturado que alcanza la superficie freática, pudiendo cambiar si asciende o desciende la superficie mencionada. F. Javier Sanchez (2017).

**Figura 3. Tipos de Acuíferos. F. Javier Sanchez (2017)**



Se denomina superficie piezométrica [piezometric surface], a la superficie virtual compuesto por puntos determinados que podrían alcanzar el agua si se realizaran en el acuífero perforaciones ilimitadas, en un hoyo, se dice del nivel o altura piezométrico que en griego quiere decir: piezo = presión.

Los sondeos surgentes se generan [well flowing], Si, es superior la superficie piezométrica de la topográfica.

Es una confusión la designación “pozo o sondeo artesiano” [well artesian]. Para varios escritores artesiano es similar de confinado, pero, para otros diversos escritores de surgente, por lo mismo eludir es lo mejor.

No es el que señala la surgencia el rendimiento de la atracción: una exploración surgente alcanza suministrar al ser bombeado un flujo reducido y pasa sin explotar. La surgencia evidencia el nivel de la fuerza del agua (sin embargo, más bien es el "potencial hidráulico" y no es precisamente la fuerza), en tanto que, el flujo que alcanza suministrar la exploración es dependiendo de la Transmisibilidad y del índice de reservas, que detallaremos en la sección siguiente.

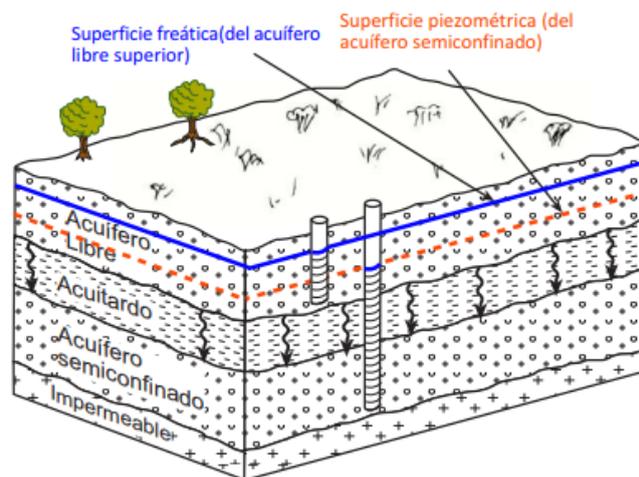
Acuífero Semiconfinado: [leaky aquifer]. es muy común los acuíferos semiconfinados que un acuífero confinado perfecto. Los acuíferos semiconfinados son a presión, por consiguiente, se unirían al concepto previo de acuíferos confinados, sin embargo, una de estas capas confinante es acuitados, semipermeable, mediante ellas pasan rezumes (en inglés) o filtraciones. Podemos ver en el bosquejo siguiente que por un acuitado un acuífero semiconfinado es separado de un acuífero libre. Se observa que la altura del agua en el libre es muy superior a que en el acuífero profundo que corta el sondeo (en el acuífero inferior de este sondeo la tubería esta fisurada). En consecuencia, aun cuando del

acuitardo la permeabilidad es muy bajísimo, se origina un derrame de agua por debajo, dentro del mismo.

Si se conservaría permanente el sistema, por un apropiado tiempo sin distorsiones dadas del exterior, el derrame mediante el acuitardo estabilizaría la cantida. La piezométrica y la zona freática se tapanían y calmaría el derrame (no ocurriría gradiente hidráulico que exige el tránsito del agua). Sin embargo, dada a la explotación del acuífero inferior podría permanecer ilimitadamente a causa de la afluencia de agua al máximo por penetración de las lluvias. el bosquejo siguiente muestra esta situación dada.

No todo el tiempo el suministro tiene que llegar de arriba: por lo que se originaria una filtración ascendente recta, si debajo del semiconfinado estaría un nuevo acuitardo y más abajo un acuífero con una fuerza superior. Needham J. (1970).

**Figura 4.** Superficies Freáticas y Piezométrica. Needham J. (1970)



### **Flujo de agua subterránea regional en estado estacionario**

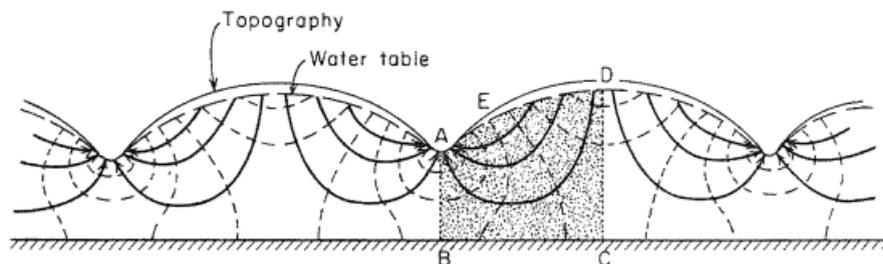
Tener conocimientos en estudios de simulación y construcción de redes de flujo en posición estacionaria, entonces estaremos en situación de analizar el

flujo innato de las aguas subterráneas en el cauce hidrogeológico. Freeze, R Allan (1972).

### **Áreas de Recarga, Áreas de Descarga, y divisiones de aguas subterráneas**

La sección se capta en trayecto perpendicular a la dirección de un grupo con largas y paralelas cordilleras y cañadas con humedecidas regiones. Son uniformes e isotropos los materiales geológicos y el método se encuentra restringido por un tope impermeable en el cimient. Considerando de la Figura 5 la sección transversal vertical bidimensional.

*Figura 5. Red de flujo de agua subterránea en una sección transversal vertical bidimensional a través de un sistema isotrópico homogéneo delimitado en el fondo por un límite impermeable. (Hubbert, 1940)*



La efectividad de la carga hidráulica en todas las líneas equipotenciales discontinuas es lo mismo al incremento del nivel freático exactamente en su línea equipotencial con la intersección. Las líneas equipotenciales y los diagramas de flujo se esbozaron de acuerdo con las reglas habituales para gráficos de red de flujo Construcción en medios homogéneos e isotrópicos. Concuenda el nivel freático con la superficie del suelo en las cuencas y modela tenuemente una copia de las colinas topografiadas.

De la red de flujo se desprende claramente que el flujo de agua subterránea se produce por los altiplanos con dirección a las llanuras. El campo de flujo necesita estar cargado completamente a través de la red de flujo, y el resultado de

esta acción es con la aparición de una corriente de agua subterránea ascendente debajo de las llanuras. El equilibrio del método construye demarcaciones rectas debajo de crestas y llanuras mediante la cual carecen de flujos, (los puntos de las líneas AB y CD).

Son conocidas como confín de aguas subterráneas estos imaginativos límites impermeables. concuerdan con exactitud con el método de simetría las divisiones de aguas superficiales, tal como se indica en la Fig. 5, y exactamente verticalmente es su dirección. Dado en entornos complicados topográficamente e hidrogeológicamente, estas características pueden pasar por perdido. (Hubbert, 1940).

Un área de recarga se puede definir como aquella parte de la cuenca de drenaje en la que el flujo neto saturado de agua subterránea se dirige lejos del nivel freático. En una zona de descarga hay un componente para la dirección del flujo de agua subterránea cerca de la superficie que es hacia arriba una descarga el área puede definirse como aquella porción de la cuenca de drenaje en la que la red está saturada.

Se encamina al nivel freático el flujo de agua subterránea. El nivel ya mencionado generalmente se encuentra en áreas de recarga un poco profundo; generalmente las áreas con descargas están exactas o en torno al suelo. Toth (1962, 1963)

Amerita un poco de controversia para el entendimiento del flujo regional en la aplicación de la red de flujo de condición permanente. De manera técnica, su perspectiva es permitido en algún suceso utópico por lo que se mantiene en estado estacionario el nivel freático a lo largo del año entero. En los sucesos verídicos mayormente, en el nivel freático las fluctuaciones sumergen cambios

provisionales efectos en los métodos de flujo. pero, si en el nivel freático las fluctuaciones son escasas a diferencia con la densidad vertical del sistema completo. Freeze, R Allan (1972)

La configuración del nivel freático sigue siendo la misma durante todo el ciclo de fluctuaciones (es decir, los puntos altos permanecen más altos y los puntos bajos permanecen más bajos).

Respecto al estado estacionario, uno debería razonar como un suceso de simetría enérgico, que, mediante la zona no desbordada de la superficie, el flujo de agua suministrado a la capa freática, es únicamente el flujo requerido para conservar el nivel freático en su postura de simetría en toda su extensión, en todo punto y en cada instante. Freeze, R Allan (1972)

Según Toth (1962, 1963) Estas condiciones se cumplen aproximadamente en muchas cuencas hidrogeológicas, a raíz de esto, el examen de las redes de flujo estacionario puede ser muy instructivo.

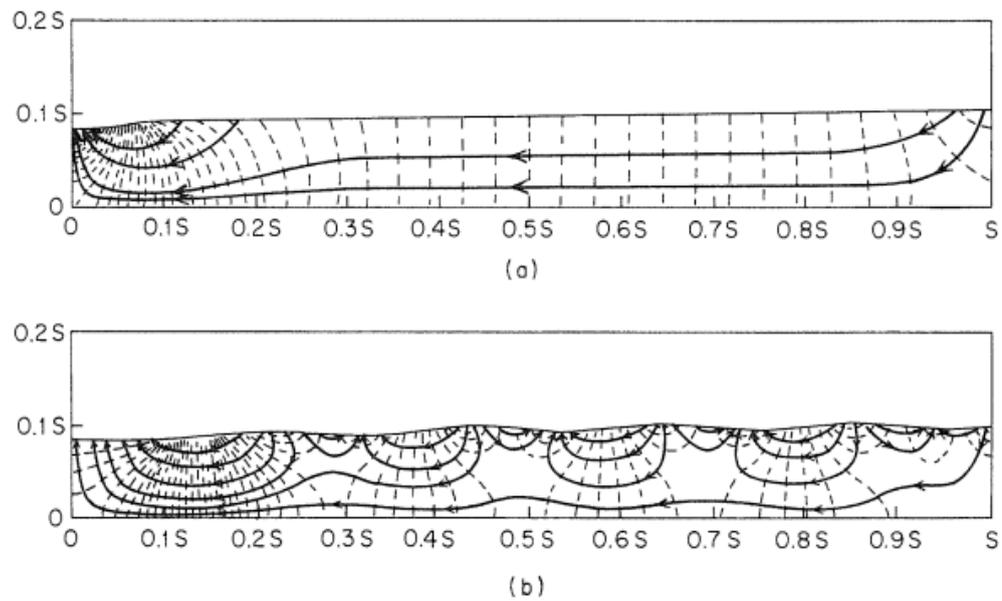
### **Efecto de la topografía en los sistemas de flujo regionales**

Importante que discurre perpendicularmente a la página en el lado izquierdo del del bosquejo 6, donde indica dos secciones o puntos transversales verticales similares en extensión lateral y profundidad en las redes de flujo. Las dos situaciones tienen una llanura sistema, y una meseta montañosa a la derecha. Freeze y Witherspoon (1967)

Ver bosquejo 6 (a), Se supone que, continuando la topografía, con la estructura del nivel freático del altiplano, teniendo pendiente dócil y homogéneo, igual que se puede localizar un valle lacustre. Ver bosquejo 6 (b), por otro lado, teniendo un nivel freático accidentado de tierras altas configuración similar a la que se podría encontrar en un terreno glaciario. Genera un estado de flujo único el

nivel freático homogénea, en la pared de la llanura mayor es ubicado la línea de la bisagra; la planicie en total es una zona de recarga. Freeze y Witherspoon (1967)

**Figura 6.** (a) y (b) Efecto de la topografía en los patrones regionales de flujo de agua subterránea. Freeze y Witherspoon (1967)

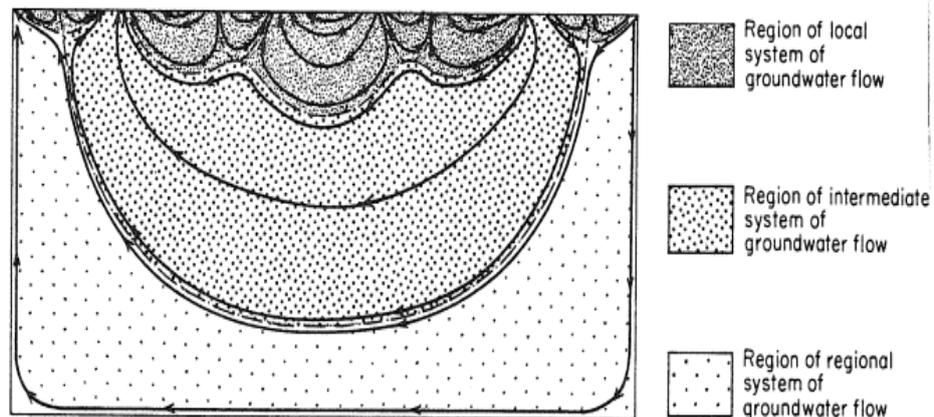


Genera la topografía accidentada, innumerables subsistemas a través del método importante de flujo. El ingreso del agua al proceso de flujo en una zona de recarga determinada podría descargarse en la caída topográfica muy alejada o podría transmitirse a la zona de descarga regional en lo profundo de la llanura mayor. (1963, Toth)

Toth (1963) es quien ha demostrado, que se vuelve más pequeña hasta la dimensión lateral del sistema completo de acuerdo a la profundidad y de acuerdo con la magnitud de las colinas se vuelven muy grandes, es casi seguro que el mecanismo local obtenga el tope básico, originando secuencias reducidas con celdas separadas. Tal como se ve en el bosquejo 7.

Sugerimos que mayormente de zonas de campo y de la red de flujo, uno se podría distinguir dentro del método local, intermedio o regional de flujo de aguas subterráneas, donde se indica detalladamente. Toth (1963).

**Figura 7.** *Sistemas locales, intermedios y regionales de flujo de agua subterránea. Toth (1963)*

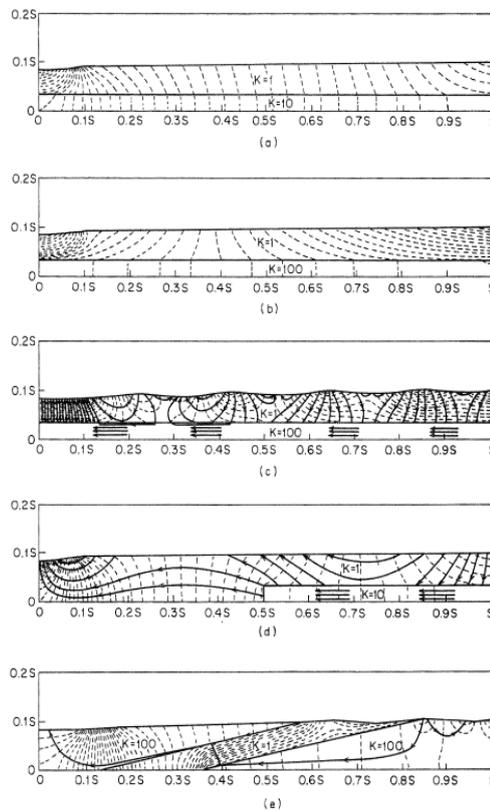


### **Efecto de la geología en los sistemas de flujo regionales**

La demostración del bosquejo 8 es una muestra de simulación numérica de redes de flujo para metodos distintos, el contraste de los bosquejos 8 (a) muestra el efecto de la introducción de una capa en profundidad con una permeabilidad 10 veces mayor que la de los lechos suprayacentes. Freeze y Witherspoon (1967)

La estructura profunda es un acuífero de flujo principal transversal que desde arriba se encuentra siendo recargado. Observe en el maximo geológico el impacto de la ley tangente. bosquejo 8 (b), Si caso contrario la comparación de conductividad hidráulica la vertical se incrementa, en el acuitardo suprayacentes las gradientes se incrementan y en el acuífero se reducen las gradientes transversales. Freeze y Witherspoon (1967)

**Figura 8.** Efecto de la geología en los patrones regionales de flujo de agua subterránea. Freeze y Witherspoon (1967)



En terreno con montículos bosquejo 8 (c) para el flujo que corre por debajo del método local suprayacentes la existencia de un acuífero base forma una autopista. Con la presencia de un canal de permeabilidad superior impulsando así las probabilidades de un método regional inclusive en sectores locales con notables relieves. Freeze y Witherspoon (1967)

Es de particular importancia la postura del interior de las llanuras de los restos enterrados con una conductividad alta de cuerpo lenticular. Con la aparición de un básico acuífero fragmentado en el centro aguas encima del valle. Bosquejo 8 (d) siendo el efecto, una zona de descarga sucediendo dentro de la inclinación homogénea en el altiplano en torno a la secuencia estratigráfica. No podría suceder la zona de descarga únicamente de manos topográficos. Si en la base incompleta el acuífero se encuentra en el medio aguas abajo del método, no

se presentaría la zona de descarga central; en realidad, en dicha zona se focalizará la recarga. Freeze y Witherspoon (1967)

Se muestra en el bosquejo 8 (e), el complicado procedimiento geológico y topográfico. Que demuestran la forma del intervalo en las dos líneas de flujo, que tan sólo con un pequeño trayecto como puede marcar la divergencia en el sitio de la recarga entre el ingreso de la recarga del agua a una zona de sistema inferior o un importante procedimiento regional. Estas posiciones poseen intervenciones inquietantes para localizar esquemas de eliminación de residuos que puedan adquirir contaminación en la dirección de los flujos subterráneos. Freeze y Witherspoon (1967)

### **Medidas puntuales de permeabilidad (“slug tests”)**

Nos facultan los bombeos de ensayo evaluar de un acuífero, el factor de almacenamiento (S) y la transmisividad (T) realizando bombeos en un sondeo y en otro cercano sondeo calculando caídas. Sin embargo, esto es carísimo y trabajoso, como también hay casos que son imposibles, puesto que no pueden existir casi juntos dos sondeos o por otras razones en el nivel acuífero mismo.

La longitud del punto de permeabilidad es la opción más simple. Puesto que, aparte de divergencias diversas no remplazan a los bombeos de ensayo, en acuíferos de profundidad que se podrían llevar a cabo, en tanto la medida del punto de permeabilidad comunmente se llevan a cabo excavaciones de tramos cortos. Estas en

La Geotecnia es muy utilizado.

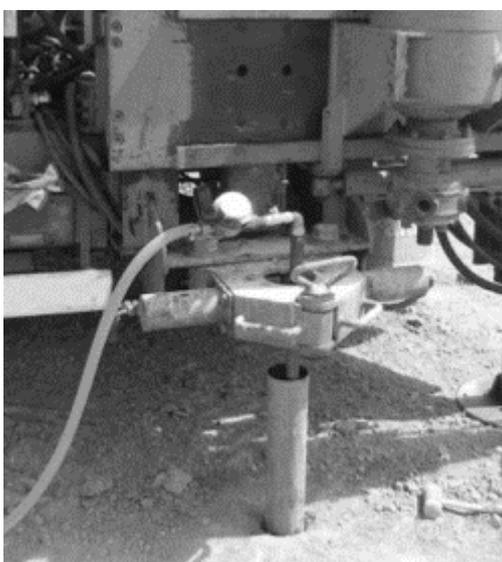
### **Tenemos dos clases:**

**Nivel constante:** Insertamos un sabido caudal y poder permanecer el nivel constante en el interior de la excavación. permaneciendo el procedimiento. Se

estima la permeabilidad en función del mencionado río, el diámetro y longitud de la perforación.

**Nivel variable:** Se inserta (o se extrae) abruptamente a un sondeo (normal con diámetro pequeño de 5 a 10 cm) a un caudal de agua, por lo cual eso genera una rápida subida (o bajada) del nivel del agua en el interior de la excavación. Se evalúan las disminuciones y lapsos adaptándose al nivel inicial de recuperación.

*Figura 9. Medida de permeabilidad por inyección de agua TYPs (2011)*



Si, en un nivel variable, en vez de inyectar agua hay intención de aumentar repentinamente la altura del agua reiteradamente, se inserta una barra dejando ascender el nivel pareciendo que se introdujo una cantidad de agua similar al de un cuerpo denso. Probablemente es muy práctico (se rescata la barra y para otras medidas es reutilizado) y realmente el aumento es momentáneo. Por lo mismo se les llama, en inglés: slug que quiere decir barra o lingote. Tanto más es la permeabilidad del área, el nivel rápidamente es recuperada. Si está relacionada con gruesas gravas o areniscas, en un instante el nivel inicial será recobrado. Pero con limos o arcillas podría retrasarse días o también horas. En la permeabilidad

es indispensable un sensor automático con registro, porque es dificultoso que docenas de niveles se tome notas y medidas de forma manual en unos cuantos minutos. Por otra parte, en la formación poco permeable con un hidronivel típico pueden efectuarse la medida, y anotar de forma manual.

En el total de los libros de Hidrogeología del nivel variable son de los sistemas mencionados: para acuíferos libres. - Hvorslev (1951) y Bower y Rice (1976), para acuíferos confinados. - Cooper et al. (1967).

Generalmente en Ingeniería Geológica y la Geotecnia los experimentos de Lefranc y Lugeon son los más utilizados y el de GilgGavard es muy poco utilizado. Los experimentos de Lugeon son ejecuciones complicadas, se ejecuta introduciendo agua a presiones muy altas en rocas duras. Posteriormente se describira los sistemas de Gilg-Gavard y Lefranc. los dos métodos se ejecutan con el nivel variable o constante.

### **Slug Test**

Concebido inicialmente para formaciones de mayor permeabilidad por Cooper, Bredehoeft y Papadopulos (1967), es aplicable a los medios de baja permeabilidad. El método requiere teóricamente una penetración completa de la formación y proporciona el valor de la transmisividad T y del coeficiente de almacenamiento S. Cooper (1967)

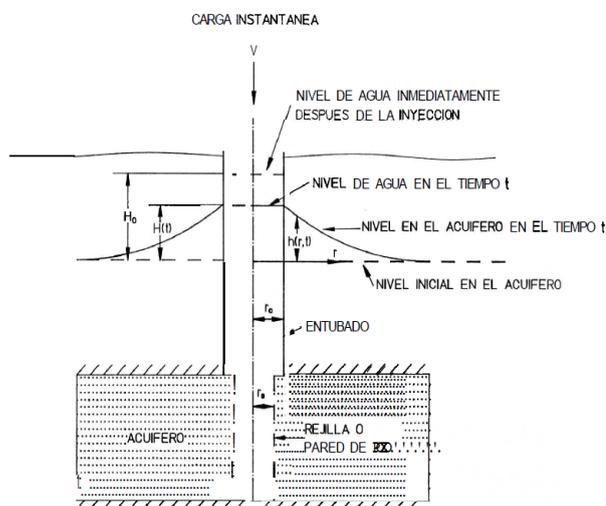
### **Fundamentos del método**

Cooper, Papadopulos y Bredehoeft (1967), al principio se proyecta para composiciones de alta absorción que son adaptables a los que tienen permeabilidad deficiente. Necesita el sistema conceptualmente una filtración total de la formación aportando la valoración del coeficiente de almacenamiento S y la transmisividad T. Cooper (1967)

## Fundamentos del método

Suponiendo que el sondeo es cargado inmediatamente con un volumen  $V$  de agua (considerando una inyección como carga positiva y una extracción como carga negativa). Teniendo en cuenta un sondeo entubado alcanzando el techo de un acuífero isótropo y en rejilla o abierto en el total del grosor del acuífero. En el sondeo la altura del agua se corre inmediatamente a una altura  $H_0 = V/\pi r^2 \cdot c$  por debajo o encima de su nivel inicial por lo que a su nivel inicial instantáneamente empieza a regresar en conformidad a una función del tiempo  $H(t)$ . En tanto que, cambia el nivel en el acuífero similar a una función  $h(r, t)$  bosquejo 10. Puesto que la determinación de dichas funciones se podría disponer con algunas situaciones iniciales, se puede racionalizar la problemática aceptando que el nivel inicial es homogénea y continuo. Cooper (1967)

*Figura 10. Esquema de un sondeo en que se inyecta súbitamente un volumen  $V$  de agua. Cooper (1967)*



## Ensayos Lefranc y Lugeon

### Ensayo Lefranc

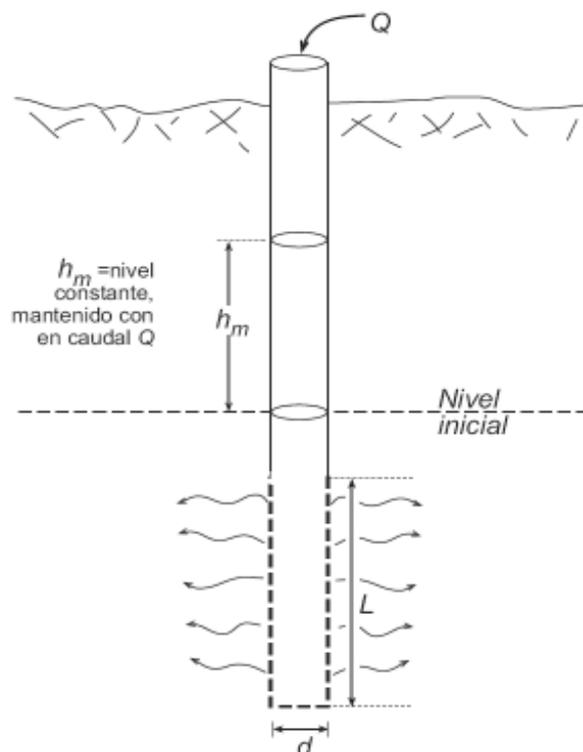
Es empleado el mencionado ensayo para calcular en suelos semipermeables o en suelos permeables el coeficiente de permeabilidad, de forma granular, ubicado en rocas bastantes fisuradas por debajo del nivel freático.

Se lleva a cabo el ensayo en la profundidad de sondeos y esta se realiza mientras se ejecuta la perforación o después que esta finaliza. El sistema implica en recargar de agua sondeo, sostener el nivel constante (ensayo a régimen permanente) y calcular el caudal requerido

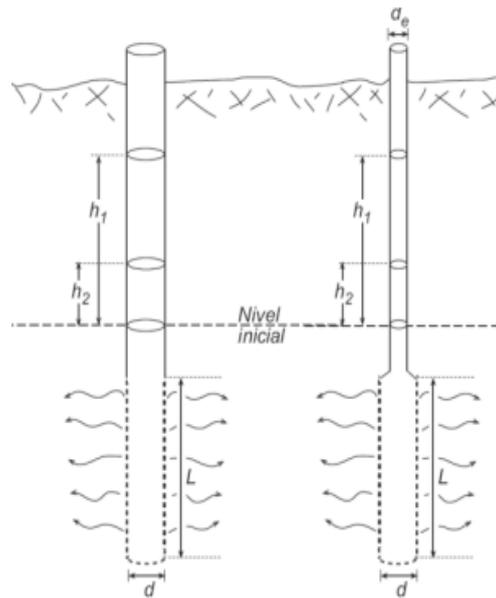
O también calcular el nivel de agua la reducción y velocidad (ensayo a régimen variable). El cálculo del caudal de ingreso se tiene que realizar cada 5 minutos, conservando el nivel constante en la embocadura del sondeo por 45 minutos. Si el ingreso es elevadísimo, tiene que ser calculado por minuto los primeros 20 y posteriormente llegando a los 45 minutos por/cada 5 minutos.

Luis I. González de Vallejo (1991).

**Figura 11.** Ensayo a régimen permanente. Luis I. González de Vallejo (1991)



**Figura 12.** Ensayo a régimen variable. Luis I. González de Vallejo (1991)



### **Ensayo Lugeon**

Se lleva a cabo el ensayo en lo interno del sondeo facilitando medir la permeabilidad de los rocosos macizos semicuantitativamente, en una determinada fase de fracturación y clase de litología. El análisis radica en meter agua en el sondeo a presión constante ( $10 \text{ kp/cm}^2$ ), por lo general se calcula el ingreso por el tiempo de 10 minutos, Si el análisis se ejecuta en el interior del sondeo (5m final) únicamente el uso de un obturador se requiere. se analizan sondeos con segmentos de 5m, a través de dos obturadores al aislar el segmento de análisis al restante del sondeo. Luis I. González de Vallejo (1991)

Efectuando el ensayo a 10 atmosferas de presión por 10 minutos. Una unidad lugeon representa al coeficiente de permeabilidad de  $10^{-5} \text{ cm/s}$ . La unidad de medida del análisis es el lugeon que pertenece a una filtración de agua por minuto de 1 litro por metro de sondeo Luis I. González de Vallejo (1991)

**Figura 13.** Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad.  
Olalla y Sopeña (1991)

Tipo de macizo	Unidades Lugeon	Presión (kp/cm <sup>2</sup> )
Muy impermeable	0-1	10
Prácticamente impermeable	1-3	10
Permeable	> 3	10
	1,5-6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5

### **Entradas de agua subterránea en las excavaciones**

Cualquier excavación de ingeniería que deba realizarse debajo del nivel freático encontrará acceso de agua subterránea. El acceso depende de la profundidad de la perforación y dimensión de las tasas con respecto a las características hidrogeológicas de rocas y suelos que se están excavando. En sitios donde el suelo o las formaciones rocosas tienen conductividades hidráulicas bajas, sólo se producirán pequeñas afluencias, que normalmente pueden manejarse fácilmente mediante bombeo desde un sumidero o zanja colectora. En tales casos, un sofisticado análisis hidrogeológico rara vez se requiere análisis. En otros casos, particularmente en limos y arenas, la deshidratación de excavaciones puede convertirse en un aspecto importante de la construcción de ingeniería y diseño. Freeze, R Allan (1972).

Los sistemas de drenaje también sirven para otros fines, además del descenso del agua y la interceptación de filtraciones. Reducen las presiones de elevación y la elevación pendientes en el fondo de una excavación, proporcionando así protección contra el fondo levantamiento y tuberías. Una excavación deshidratada también conduce a presiones de poros reducidas en sus

pendientes para mejorar la estabilidad de las mismas. En el diseño de minas a cielo abierto, esto es un factor de cierta importancia; si la disminución de la presión de los poros puede conducir a un aumento en el diseño de la pendiente del pozo de incluso uno, los ahorros creados por la reducción de la excavación pueden ser muchos millones de dólares. Freeze, R Allan (1972)

### **Drenaje y deshidratación de excavaciones**

El control del flujo de agua subterránea a las excavaciones se puede lograr de varias maneras. Sharp (2012) enumera los siguientes métodos como de uso generalizado actual: 1.- perforación en la cara de una pendiente con orificio horizontal de drenaje; 2.- atrás de la cresta de la pendiente excavación de fosos rectos o desde los bancos la cara de la pendiente; 3.- atrás de la pendiente túneles de drenaje, teniendo o no drenaje radial excavado desde un túnel y 4.- Zanjas edificadas de drenaje en toda la extensión de la cara del talud o por debajo de la misma Figura 14, esquemáticamente ilustra cómo las primeras tres de estas técnicas pueden ser efectivas para disminuir el nivel freático aledañas a una perforación. Sharp (2012)

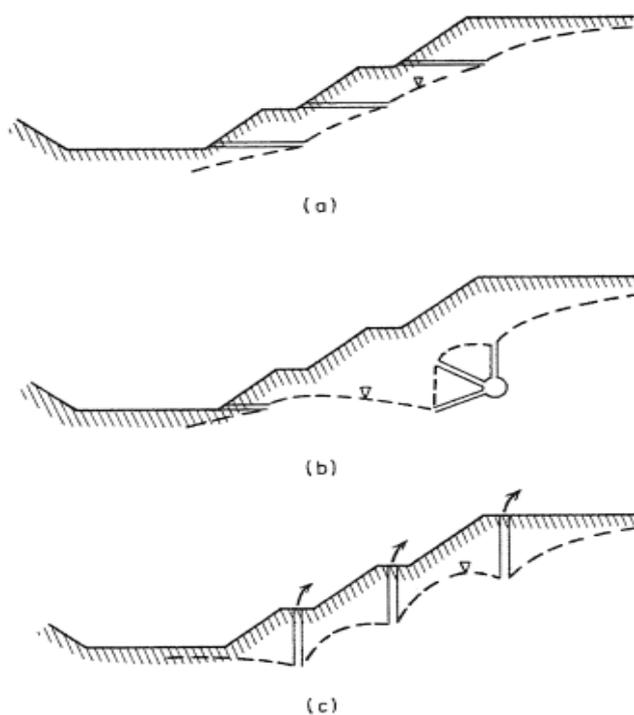
El método de drenaje horizontal es muy barato, rápido y flexible. Piteau y Peckover (en prensa) brindan varias ideas factibles para su modelo y rocas colocadas en laderas. Los pozos o túneles es muy carísimo, sin embargo poseen el beneficio de no obstaculizar con el funcionamiento de la cara del talud. La deshidratación se puede realizar con estos métodos antes de romper terreno para que la excavación pueda realizarse "en seco". Freeze, R Allan (1972)

El diseño de una deshidratación el sistema basado en un patrón de pozos o puntos de pozo. En la perforación el cono de descenso del nivel freático crea

por alteracion de ambos a través de los conos de descenso individual respectivamente al punto de/o cada pozo. Freeze, R Allan (1972)

Las transmisividades y almacenamientos generalmente se determinan en las primeras instalaciones y el modelo del método restante se basa en valor común. Cedergren (1975) Fiedler y Briggs (1966) y proporciona polemicas exhaustivas en los factores viables de la deshidratación de sistemas. En la práctica se ha encontrado que la reducción máxima que se puede lograr con una etapa de puntos de pozo es de aproximadamente 5 m. Algunas excavaciones profundas han ha sido deshidratado con hasta ocho etapas de pozos. Freeze, R Allan (1972)

**Figura 14.** Desagüe de excavaciones (a) drenajes horizontales; (b) drenaje galería con orificios de drenaje radiales; (c) sistema de puntos de pozo de tres etapas. Sharp (2012)

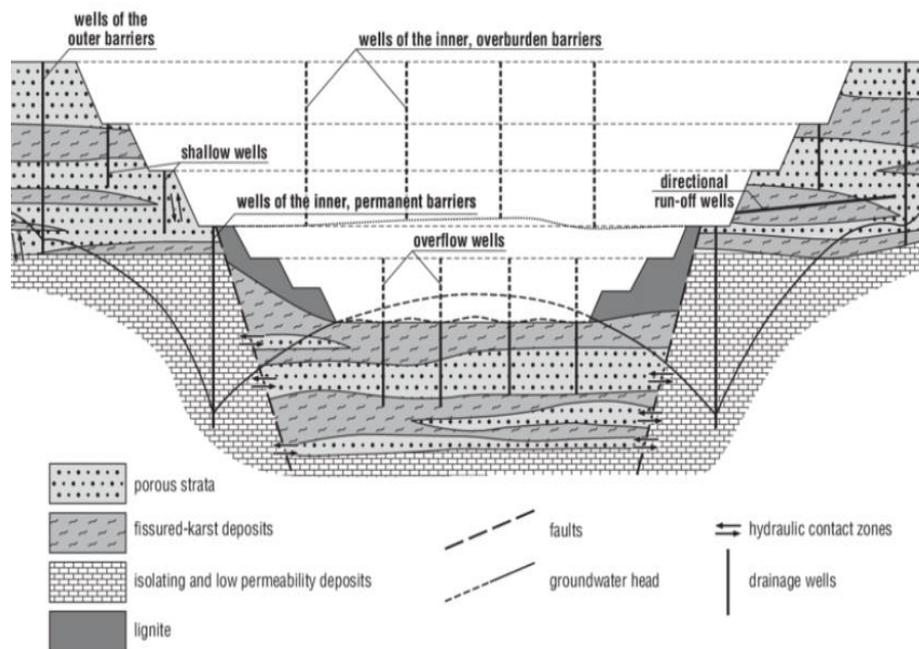


### Tajos abiertos

Asimismo el agua subterránea emerge de manera forzada en la profundidad de varias minas a cielo abierto causado por el proceso de perforación o socavado, por lo tanto al atravesar la profundidad de la capa freática llamado

también como superficie o área piezométrica, originando el surgimiento de aguas subterráneas Figura 15, en forma de reducidos pozos localizados en las vertientes de la mina a cielo abierto, por lo tanto también señala el movimiento del agua subterránea que sucede de manera radial entre el contorno hasta lo profundo de la misma. Seweryn (1984).

**Figura 15.** Diagrama esquemático del sistema de una mina a cielo abierto. Seweryn (1984)



### Modelización hidrogeológica

Los periodos de las simulaciones hidrogeológicas son compilados y analizados con informaciones tópicos y simulaciones numérico, teórico y matemático. (2012) C. Wels Seguidamente, los periodos de la modelación hidrogeológica serán detalladas como:

#### Modelo conceptual

La elaboración de una modelación teórica hidrogeológica es incorporada por informaciones importantes usando hipótesis racionales. La modelación facilita la integración solamente de los principales elementos con una finalidad

determinada. sin embargo, todavía pueden tener la dificultad apropiada para interpretar el funcionamiento del mecanismo. M. P. Anderson, W. W. Woessner and R. J. Hunt, Applied (2015)

La modelación teórica está basada en informaciones mineras, climatológicas, hidrológicas, geológicas, y geomorfológicas.

En la simulación teórica se elabora basada a suposiciones teoricas, determinando un control geográfico y transitorio, detalla las situaciones aledañas y las características materiales del método, tal como es detallado seguidamente. La modelación conceptual necesita utilizar hipótesis simplificados y poder disminuir las dificultades de la verdad hidrogeológica a un grado controlable y poder integrarse a una modelación. La hipótesis racional se realiza debido a que una restauracion total del sistema in situ no es viable, asimismo, raras veces existen informaciones adecuadas y detallan por completo el método. C. Wels (2012)

La observabilidad de la modelación acata la pretensión de la modelación, la confusión en el sistema de flujo y de la hidrogeología. Al momento de laborar en 2 escalas, las modelaciones de zona ejercen el método de agua subterránea observada en planta como única capa y el modelo de visibilidad plantea el flujo en un sector horizontal. Ingresan totalmente en el acuífero los impactos hidráulicos del total de las propiedades interpretadas en la modelación tales como: manantiales internos de agua, situaciones de límites perimétricos, someras aguas y pozos de bombeo, por lo tanto, en lo profundo del acuífero estas se expanden. Se precisa la dimensión adecuada de la modelación para fijar la física y dificultad de la problemática, en sistemas permanentes o temporales, a través de un flujo

poroso o una red de fisuras desapercibidas, flujo en un sector recargado o no recargada, flujo con dimensionalidad multifásico o monofásico.

### **Unidades Hidrogeológicas**

En el modelo conceptual de las conductas naturales pueden interpretarse los límites hidráulicos o físicos según las situaciones del perfil. Los límites hidráulicos son divisiones de agua subterránea o son delineados por líneas de corriente, de masas de agua o líneas equipotenciales como el mar, lagos o ríos. Los límites físicos son fricciones con cuerpos rocosos de elementos estructurales con poca conductividad hidráulica.

De dichas situaciones de contorno, se ubica la interpretación matemática en el bosquejo 15. La fórmula de la modelación conceptual tiene que tener en cuenta el planteamiento del suministro espacial de las importantes propiedades hidráulicas y de sus Unidades Hidrogeológicas (UH). Es uno o un conjunto de equipos geológicos especializados que poseen características hidráulicas con capacidades parecidas y poder tener en cuenta una unidad hidráulica con el objetivo de ensayo UH.

La estimación de los indicadores hidrogeológicos tiene que puntualizarse toda Unidad Hidrogeológica empleando informes de in-situ. Pero dado el caso que la información de campo se encuentra inaccesible, las estimaciones podrían considerarse previamente con inicios de labores de superficies aledañas al lugar y del ensayo literario lo seleccionado de UH tendrán que estar fundamentados y demostrados. C. Wels (2012).

**Figura 16.** Valores referenciales para la conductividad hidráulica  $k$  (m/d). F. J. Sánchez San Román (2017)

Materiales no consolidados	Schwartz [27]	Domenico [27]	Smith & W	Freeze [28]	Sanders
Grava	49-183	25-2500	$100 \cdot 10^5$	$10^2 \cdot 10^6$	
Arena gruesa	24-41	0,1-500	$10^2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$
Arena media	20-29	0,1-50	$10^2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	
Arena fina	8-16	0,02-20	$10^2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$10^2 \cdot 1$
Arena arcillosa	6-29			$10^2 \cdot 10^2$	$10^2 \cdot 1$
Silt, loess	0,3-1,2	$10^{-4} \cdot 2$	$10^{-4} \cdot 1$	$10^{-4} \cdot 1$	$10^{-4} \cdot 1$
Arcilla	$3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-4}$	$10^{-7} \cdot 10^{-3}$		$10^{-6} \cdot 10^{-3}$
Arcilla marina inalterada		$10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-4}$		$10^{-11} \cdot 10^{-7}$	
<b>Rocas sedimentarias</b>					
Calizas carstificadas		0,1-2000	0,05-0,5	$0,1 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^7$
Calizas dolomías		$10^{-4} \cdot 0,5$	$10^{-3} \cdot 0,5$	$10^{-4} \cdot 1$	$10^{-4} \cdot 1$
Areniscas		$3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5$	$10^{-5} \cdot 1$	$10^{-5} \cdot 1$	
Argilitas		$10^{-6} \cdot 10^{-3}$			
Pizarras sedimentarias intactas		$10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8} \cdot 10^{-4}$	$10^{-8} \cdot 10^{-4}$	$10^{-8} \cdot 10^{-4}$
Pizarras sedimentarias fracturada/alterada			$10^{-4} \cdot 1$		
<b>Rocas cristalinas</b>					
Basalto inalterado, sin fracturar			$10^{-6} \cdot 10^{-3}$		$10^{-6} \cdot 10^{-3}$
Basalto fracturado/ vesicular cuaternario			$10 \cdot 10^3$		$0,1 \cdot 10^6$
Escorias basálticas			$10^{-3} \cdot 10^3$		
Basalto permeable		0,03-2000		$0,02 \cdot 10^3$	
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturas		$10^{-9} \cdot 10^{-5}$	$10^{-9} \cdot 10^{-5}$	$10^{-9} \cdot 10^{-5}$	$10^{-9} \cdot 10^{-5}$
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas		$10^{-3} \cdot 25$	$10^{-5} \cdot 1$	$5 \cdot 10^{-4} \cdot 20$	$10^{-5} \cdot 1$
Granito alterado		0,3-5			

### 2.3. Definición de Términos

**Hidrogeología:** Rama de las ciencias de la Tierra que, poniendo especial interés en los aspectos geológicos, trata del origen, localización, movimiento y características biológicas, físicas y químicas de las aguas subterráneas y de su relación con el medio ambiente, teniendo en cuenta las modificaciones producidas por el hombre.

**Piezometría:** Medida de los potenciales hidráulicos de las aguas subterráneas, mediante la realización de piezómetros y la medida de los niveles de agua en ellos.

**Piezómetro:** Pozo de observación de pequeño diámetro (menor de 10 cm), realizado con objeto de medir el nivel freático o la altura piezométrica. Está constituido por un tubo (metálico o de plástico) ranurado a la profundidad del nivel permeable que se quiere medir.

**Permeabilidad (K):** Capacidad de un medio para permitir el flujo de un fluido a través de él. Las magnitudes que determinan la permeabilidad pueden ser intrínsecas (son propias del acuífero y dependen del tamaño de los poros), o extrínsecas (son las que dependen del fluido, principalmente su viscosidad y su peso específico). Los valores de ambas magnitudes dependen de la temperatura. La permeabilidad puede ser primaria o secundaria, según sea producida en el momento de la formación del medio sólido, o después de ella.

**Hidrodinámica:** Rama de la mecánica que estudia los fluidos en movimiento y sus interacciones con las superficies o cuerpos que los limitan.

**Recarga:** Cantidad de agua infiltrada que alcanza un sistema de aguas subterráneas (Custodio, 1993), o bien, la entrada de agua a la zona saturada procedente de la superficie del terreno y asociada al flujo descendente de las aguas hacia la zona saturada (Freeze and Cherry, 1979).

**Flujo de agua subterránea:** Movimiento del agua en un acuífero, que tiene lugar desde puntos de mayor potencial hidráulico a puntos de menor potencial hidráulico, en dirección perpendicular a las superficies equipotenciales.

**Porosidad:** Propiedad de un medio de contener intersticios o poros, interconectados o no. Se define como la relación entre el volumen de poros (ocupados por aire o agua) de una muestra dada y su volumen total. Suele expresarse en porcentaje. Está íntimamente ligada a la textura y estructura del suelo y/o roca.

**Nivel freático:** Superficie de la zona de saturación en un acuífero libre en la que la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.

**Acuífero:** Formación geológica, porosa, fisurada o ambas cosas a la vez, suficientemente permeable como para permitir un flujo de agua en cantidades

significativas hacia los manantiales que la drenan o hacia captaciones artificiales. El acuífero incluye tanto la zona saturada como la no saturada del conjunto permeable, siendo la circulación del agua con tendencia a la horizontal en la primera y a la vertical en la segunda. Los acuíferos presentan dimensiones muy variables: desde pocas hectáreas de superficie, a miles de kilómetros cuadrados; y desde escasos metros de espesor, a cientos de metros.

**Transmisividad (T):** Caudal a través de una sección de un acuífero de anchura unidad bajo un gradiente hidráulico unitario.

**Ensayo slug test:** Consiste en la inyección (o extracción) instantánea de un volumen de agua conocido, que provoca una sobrepresión (o depresión) en la sección de ensayo en condiciones atmosféricas. Después de la perturbación, la evolución del nivel de agua es registrada hasta volver a la posición de estabilidad. La formulación básica fue establecida por Cooper et al (1967).

**Descarga de agua subterránea:** Volumen de agua subterránea que sale de un acuífero de forma natural mediante evapotranspiración o a través de manantiales o áreas de surgencia, o de forma artificial mediante bombeos; siempre referido a un periodo de tiempo determinado.

**Drenaje:** Evacuación y recogida del agua superficial o subterránea mediante bombeo o por gravedad. Movimiento del agua subterránea hacia las áreas de descarga del acuífero.

**Karst:** Región de rocas calcáreas o dolomíticas, u otras rocas solubles (yesos y sales), en que los procesos de erosión y disolución debidos al agua cargada en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por la infiltración de aguas superficiales y/o por la circulación de las aguas subterráneas, han generado un conjunto de

formas específicas, exokársticas y endokársticas, entre las que destacan las simas y cuevas, que condicionan la circulación subterránea del agua.

**Coefficiente de almacenamiento (S):** Índice que representa el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura equivalente al espesor saturado del acuífero, cuando se produce un descenso unidad del nivel piezométrico o de la carga hidráulica.

**Bombeo de ensayo preliminar:** Bombeo de corta duración en un pozo o sondeo, para determinar tasas de descarga y composición química del agua, con el fin de realizar un estudio hidrogeológico previo y determinar los parámetros hidráulicos de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y caudal específico.

**Modelo hidrogeológico:** Descripción simplificada de los sistemas acuíferos reales que facilitan el cálculo y la predicción de procesos hidrogeológicos.

**Parámetros hidrogeológicos:** Características de los acuíferos que rigen su comportamiento frente a la circulación hídrica y a influencias externas (alimentación, extracción, etc). Parámetros fundamentales son la porosidad, el coeficiente de almacenamiento y la permeabilidad o conductividad hidráulica.

**Filtración (en aguas subterráneas):** Movimiento lento del agua en un medio poroso.

**Caudal:** Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo a través de una sección determinada de un cauce, acuífero o conducción artificial de agua.

## 2.4. Formulación de Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis General

La determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco, tendrá como propósito describir el funcionamiento hidrodinámico del Tajo Raúl Rojas – 2022.

#### 2.4.2. Hipótesis Específicas

- a) Las características geológicas de la UM Cerro de Pasco, si influirán en la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas
- b) Las características hidrogeológicas de la UM Cerro de Pasco, si influirán en la caracterización hidrodinámica del Tajo Raúl Rojas - 2022

### 2.5. Identificación de Variables

#### 2.5.1. Variable Independiente

Determinación hidrogeológica de la UM Cerro de Pasco.

#### 2.5.2. Variable Dependiente

El funcionamiento hidrodinámico en el Tajo Raúl Rojas – 2022.

### 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR
<b>Independiente:</b> Determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco – Tajo Raúl Rojas.	Serie de características físicas y hidráulicas que permiten un análisis de permeabilidad.	Clasificación de permeabilidad Clasificación de unidades hidrogeológicas
<b>Dependiente:</b> Caracterizar el funcionamiento hidrodinámico en el Tajo Raúl Rojas - 2022.	Proceso de determinación hidrodinámica por ampliación del Tajo Raúl Rojas.	Índice de permeabilidad.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El proyecto de investigación presenta las características de una investigación de tipo descriptivo, aplicativo, exploratorio y predictivo.

Es descriptivo porque se realiza la descripción de las características geológicas y hidrogeológicas de los suelos y rocas para realizar un análisis de las propiedades hidráulicas de los suelos y rocas.

Es aplicada porque se realiza con datos de campo y los resultados son para resolver un problema que se presenta en la zona investigada, para determinar la caracterización hidrogeológica del Tajo mencionado.

Es exploratorio porque se ha determinado fuentes de agua de natural, donde se realizó un inventario las fuentes y manantiales en el área del proyecto de investigación.

Es predictivo porque nos ayudara a entender el futuro comportamiento hidrodinámico al incrementar el área de exploración y explotación en el Tajo Raul Rojas; sobre posibles interferencias freáticas.

En base a lo formulado por Tamayo y otros, (1998, p.54) donde especifica que “Comprender la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. La investigación descriptiva trabaja sobre las realidades de los hechos y sus características fundamentales es de presentarnos una interpretación correcta”.

Asimismo, utilizamos la definición de Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. (Citado por Zoila Vargas, 2009, p. 159).

### **3.2. Métodos de Investigación**

El método a utilizarse para este proyecto es el método de Analítico - Sintético, que se constituye primero en la descomposición de un todo en sus elementos para examinarlas en forma individual (características geológicas e hidrogeológicas), cada una por separado y luego se les integra para determinar una solución global.

### **3.3. Diseño de la Investigación**

Se evalúa los principios geológicos e hidrogeológicos como una sola variable, con un grado de control mínimo, porque son datos de campo condicionados a muchos factores que muchas veces no son tomados en cuenta al

momento de la evaluación, pero nos permite realizar un análisis para solucionar el problema de conocer las condiciones en que se encuentra el material estudiado para determinar la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas. Con lo expuesto podemos establecer que estamos realizando una investigación de diseño pre-experimental y aplicada-correlacional.

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población está representada por: La UM Cerro de Pasco – Tajo Raúl Rojas

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra está representada por el Tajo Raúl Rojas que serán analizados para la caracterización.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de la Recolección de Datos**

#### **3.5.1. Técnicas**

- Se realiza un mapeo Hidrogeológico de la zona investigada.
- Muestreos de piezómetros
- Ensayos de permeabilidad.

#### **3.5.2. Instrumentos**

- Mapas hidrogeológicos
- Resultados de los ensayos.

### **3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

Se utilizarán la técnica clásica de mapeo hidrogeológico, asimismo el muestreo de piezómetros los cuales se procesarán los datos de permeabilidad en los ensayos de desarrollo.

### **3.7. Tratamiento Estadístico**

En la investigación utilizamos la estadística descriptiva, sobre todo para recoger, ordenar y realizar tablas de la media de los parámetros hidráulicos que se calcularan.

### **3.8. Orientación ética**

La investigación se realizará tratando de no realizar ninguna actividad que cause impacto negativo ambiental y social donde se encuentra la zona del proyecto.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de Campo

##### UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

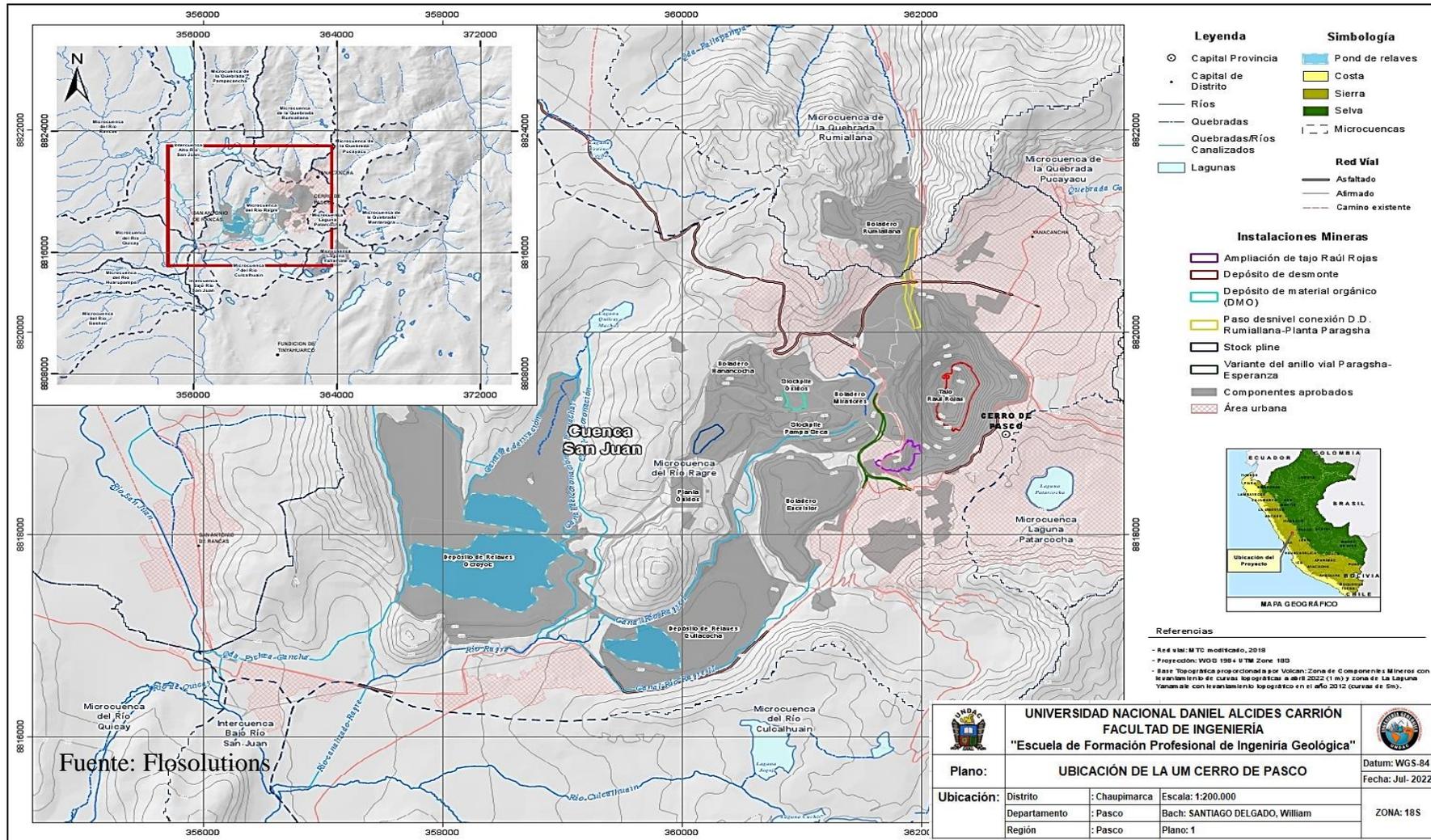
La Unidad Minera Cerro de Pasco está localizado en el Perú Central, al NE de la ciudad de Lima, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los Andes Peruanos, en los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, Provincia de Pasco, Región Daniel Alcides Carrión (Figura 17), a una altitud media de 4,334 msnm.

##### Accesibilidad del área de estudio

Tramo	Distancia	Tiempo	Estado
- Carretera Central: Lima Oroya - Cerro de Pasco	315 Km.	6 horas	Vía asfaltada
- Carretera Afirmada: Lima Canta - Cerro de Pasco	410 Km.	7 horas	Vía asfaltada - Afirmada

Nota: Fuente Propia.

Figura 17. Ubicación de la UM Cerro de Pasco



## **Clima**

El área de estudio se caracteriza por un clima típico de serranía con dos estaciones bien marcadas: una lluviosa entre los meses de noviembre y marzo, y otra seca con temperaturas menores a 0° C entre los meses de abril y octubre. La temperatura promedio de la zona es 6,8°C, la humedad 74%, la precipitación 910 mm/año y la dirección del viento es de 1,4 m/seg, predominante al norte.

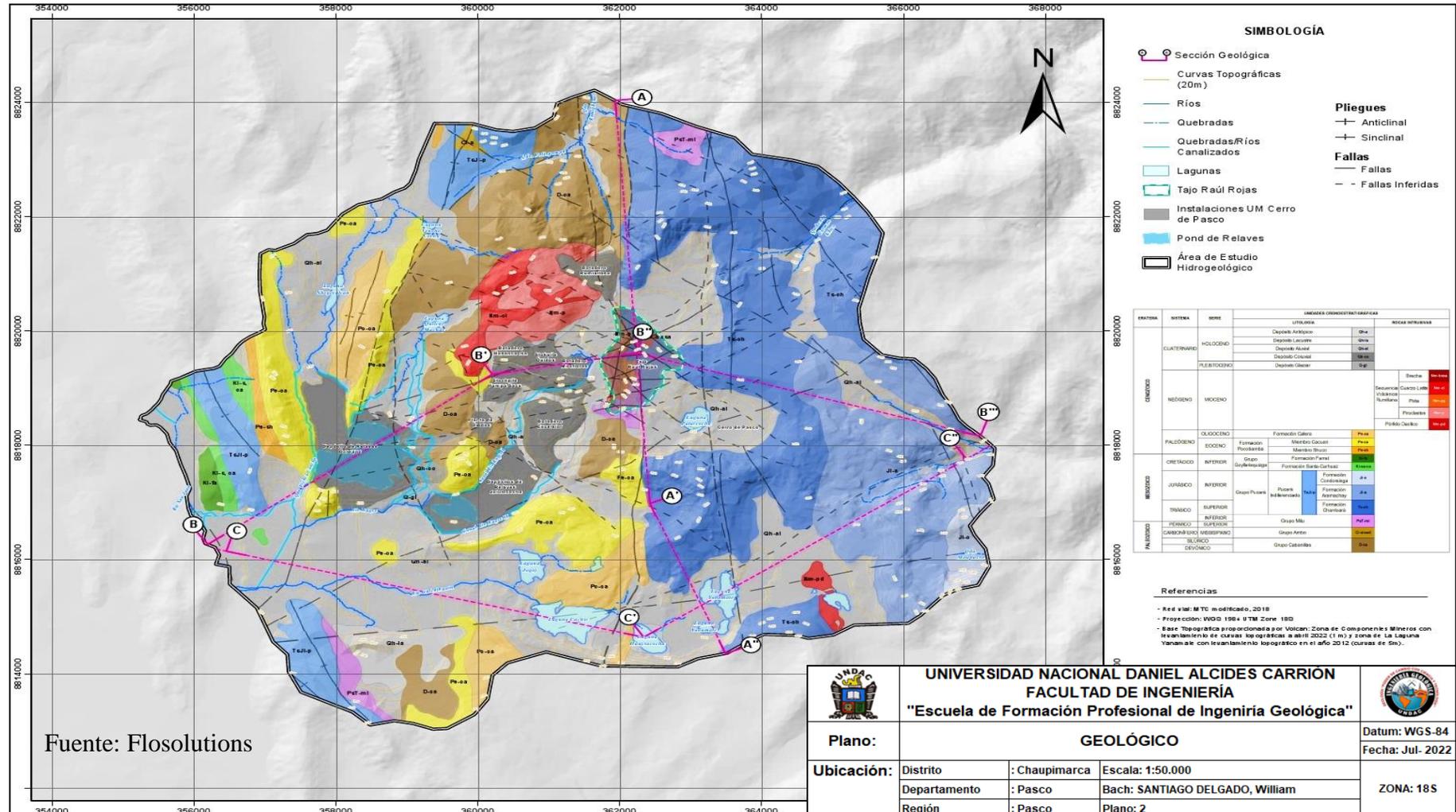
Dentro del área de estudio, según la información analizada se observa que, la temperatura media anual del área estudio se encuentra entre los entre 4.7 °C y 5.1 °C; mientras que, la temperatura media mensual tiene una variación poco significativa a lo largo del año, observándose una temperatura más cálida entre los meses de noviembre a febrero y más fría entre los meses de junio a agosto, con una variación de 3.6 °C en junio a 5.8 °C en noviembre.

## **Geología Regional**

Superficialmente el área de la UM Cerro de Pasco está conformada por rocas que van desde edades del Paleozoico inferior hasta el Cuaternario. La mayoría del basamento rocoso corresponde a series calcáreas de edad Jurásica-Triásica. El tectonismo que ha ocurrido en diferentes épocas ha formado estructuras orientadas en dirección preferente Norte-Sur. La actividad magmática tuvo su manifestación en la formación de rocas volcánicas e intrusiones monzoníticas. Las rocas más antiguas que afloran en la zona corresponden al Grupo Cabanillas (Siluriano-Devónico) y está compuesto, litológicamente, por filitas grises, cuarcitas de grano fino y lutitas carbonáceas. Esta unidad subyace al Grupo Mitu, de edad Pérmico-Triásica y es discordante con el Grupo Cabanillas, presenta lentes delgados de areniscas, cuarcitas y conglomerados rojos. En la parte oriental de la UM Cerro de Pasco, el Grupo Mitu infrayace al

Grupo Pucará, el cual está conformado por rocas carbonatadas del Triásico superior - Jurásico inferior con varios cientos de metros de espesor. Después de varios episodios de deformación en el Eoceno y el Mioceno temprano, comenzó la actividad volcánico-magmática. En la zona de estudio el magmatismo consistió en repetidas intrusiones de domos relacionadas al cuello de una diatrema asociada a una subsidencia. Al mismo tiempo, la mineralización ocurría particularmente a lo largo del lado este del complejo de domos y diatremas, extendiéndose principalmente en las rocas carbonatadas del Grupo Pucará.

Figura 18. Plano Geológico de la UM Cerro de Pasco



## **Geología Local**

La UM Cerro de Pasco geológicamente se encuentra constituida por una secuencia de rocas metamórficas como filitas y pizarras del Grupo Cabanillas del Paleozoico/Devónico, rocas calcáreas del triásico superior y rocas volcánicas; estas se encuentran intruídas por rocas plutónicas, las cuales trajeron consigo la mineralización del sector, asociadas a una chimenea de explosión que atraviesa al Grupo Cabanillas.

### ***Columna Estratigráfica***

#### **Grupo Cabanillas (D-ca)**

Litológicamente el Grupo Cabanillas está compuesto de pizarras grises y filitas con alternancia de areniscas en delgadas capas intercaladas con lutitas, y abundantes venillas de cuarzo. Se caracterizan por sus afloramientos plegados, fallados y fracturados, rocas poco consistentes. Se exponen, superficialmente, en el lado suroeste y noroeste del tajo Raúl Rojas, conforma, a profundidad, el basamento de roca del lado oeste de la falla longitudinal de Cerro de Pasco. Dentro del área de estudio no se han encontrado fósiles, sin embargo, por la correlación de formaciones encontradas al sur entre Tarma y Concepción, se le asigna la edad de Paleozoico/Devónico (Harrison, 1940 y 1943).

#### **Grupo Ambo (Ci-a/sed)**

En el Área de Estudio, el Grupo Ambo, se ubica al norte y conforma, superficialmente, pequeños afloramientos; el cual está compuesto por estratos menores a 3 m de arenisca gruesa con laminación oblicua y base de conglomerados intercalados con estratos delgados menores a 20 cm de areniscas de granulometría media a fina con laminación horizontal. Al techo de la secuencia

se intercalan conglomerados con estratos de areniscas micáceas y limos. La edad asignada es Paleozoica.

### **Grupo Mitu (PsT-mi)**

Las rocas del Grupo Mitu están constituidas principalmente por areniscas rojas, conglomerados y brechas volcano-sedimentarias que yacen en discordancia angular sobre los bordes invertidos y erosionados del Grupo Cabanillas. Alcanzan espesores de hasta 600 m. los principales afloramientos se ubican hacia la margen izquierda del río Culcalhuain y parte alta de la quebrada Culinco; otros afloramientos se presentan hacia el oeste de la ciudad de Colquijirca. Se le asigna una edad comprendida entre el Pérmico superior y el Triásico inferior.

### **Grupo Pucará**

El Grupo Pucará es una de las unidades estratigráficas más importantes en el centro del Perú como metalotecto litológico para el emplazamiento de mineralización polimetálica en yacimientos metasomáticos de contacto o del tipo Mississippi Valley. Luego de varios estudios realizados por otros autores, Mégard (1968) subdividió al Grupo Pucará en las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga.

Los afloramientos que conforma este Grupo se encuentran en toda la zona de estudio y las secuencias litológicas presentes estuvieron en gran parte controlada por la falla longitudinal Cerro de Pasco, la cual dividió esta unidad en dos sectores; el sector oeste representada por un sector somero y poco subsidente donde se sedimentaba el Pucara Occidental, mientras que el sector este a la Falla Cerro de Pasco se encontraba algo más profundo y mucho más subsidente donde se sedimentaba la formación Chambará denominado Pucara Oriental, llegándose así a distinguir dos formaciones carbonáceas, dentro del límite de estudio.

Al Grupo Pucará se le asigna una edad comprendida entre el Triásico Superior y Jurásico Inferior.

#### **Formación Chambará (Ts-ch)**

La Formación Chambará es la unidad basal del Grupo Pucará y está compuesta por una secuencia de calizas de coloración blanca, calizas arenosas y areniscas calcáreas, intercaladas con limo arcillitas, estratos de medianos a gruesos. La Formación Chambará, por lo general, se encuentra estratigráficamente de manera concordante sobre las secuencias terrígenas continentales del Grupo Mitu, o de manera discordante sobre los volcánicos del Grupo Ambo; subyace a la secuencia calcárea y pelíticas de la Formación Aramachay. Esta unidad geológica en el entorno de la UM Cerro de Pasco se ubica próximo a la falla Cerro de Pasco y se encuentra concordante sobre los volcánicos del Grupo Ambo y por debajo de las secuencias calcáreas y pelíticas de la Formación Aramachay.

#### **Formación Aramachay (Ji-a)**

La Formación Aramachay aflora al este de la falla Cerro de Pasco y sobreyace concordantemente a la Formación Chambará e infrayace de igual forma a la Formación Condorsinga. En el dominio nororiental, entre las fallas Cerro de Pasco y Milpo-Atacocha se ha considerado como Formación Aramachay a una secuencia que sobrepasa los 400 m de espesor y está conformada por calizas tipo mudstone con estratificación ondulada y lutitas negras en estratos pequeños, además, puede ser apreciable algunas secuencias de areniscas limosas amarillentas en estratos menores a 30 cm con presencia de fósiles de ammonites.

#### **Formación Condorsinga (Ji-c)**

Esta unidad conforma la parte superior del Grupo Pucará, aflora hacia la parte este del Tajo Raúl Rojas, sobreyace a la Formación Aramachay e infrayace de manera discordante al Grupo Goyllarisquizga; sin embargo, no aflora una sección completa de esta unidad geológica. Litológicamente, se encuentra compuesta por calizas oscuras con chert y algunas calizas nodulosas.

### **Grupo Goyllarisquizga**

El Grupo Goyllarisquizga está conformado por una serie clástica y calcárea que aflora en la cuenca sedimentaria cretácica Occidental del centro y norte andino del Perú. Este grupo lo conforma las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. En la zona de estudio afloran las formaciones Santa-Carhuaz y Farrat. Se le asigna una edad comprendida entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior.

### **Formación Santa-Carhuaz (Ki-sa-ca)**

Esta unidad geológica está conformada por areniscas y lutitas de color rojo, con algunas intercalaciones de niveles de lutitas bituminosas con restos fósiles de plantas y algunos niveles calcáreos, la parte superior se encuentra compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio intercaladas con lutitas rojas.

Los principales afloramientos se exponen hacia la margen izquierda de la confluencia del río San Juan y el río Ragre, en contacto fallado con las unidades del Grupo Pucará como las formaciones Aramachay o Chambará; estratigráficamente sobreyace a la Formación Chimú de forma progresiva e infrayace a la Formación Farrat.

### **Formación Farrat (Ki-f)**

La Formación Farrat es una secuencia de areniscas cuarzosas de coloración blanco amarillentas con intercalaciones de limos y areniscas calcáreas.

El afloramiento de esta formación, en el Área de Estudio se encuentra hacia el oeste, aguas abajo de los depósitos de relaves Ocroyoc y Quiulacochoa. Se encuentra de manera concordante a la Formación Santa-Carhuaz.

### **Formación Pocobamba**

Posterior a la sedimentación continental del Cretácico superior del Grupo Goyllarisquizaga y la sedimentación marina del Cretácico medio-superior; se encuentran en discordancia angular las secuencias continentales de edades Terciarias, las cuales fueron emplazadas en régimen tectónico compresivo. Dentro de estas secuencias se encuentran las formaciones Pocobamba y Calera correspondientes a la edad del Paleógeno.

La Formación Pocobamba puede alcanzar los 300 m de espesor, descansa en discordancia angular y erosional sobre las calizas del Grupo Pucará y localmente sobre el Grupo Mitu, esta unidad ha sido dividida en dos miembros cartografiables:

- Miembro Cacuán (Pe-ca), el miembro Cacuán está compuesto a la base por secuencias sedimentarias continentales de conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de diferente composición, predominando su composición, según los aportes y la proximidad de afloramientos preexistentes. En efecto, en los alrededores de Cerro de Pasco, los clastos provienen de afloramientos de calizas del Grupo Pucará y areniscas de los grupos Mitu y Goyllarisquizga.
- Miembro Shuco (Pe-sh), en el sector este y cerca de afloramiento del Grupo Pucará, está compuesto por conglomerados y brechas sedimentarias con escasos lentes de limolitas y areniscas, la mayor parte de los clastos son de caliza y sílex de la Formación Chambará, sus clastos presentan diámetros de

2 a 30 cm, en algunos sectores alcanzan diámetros de 6 m. Hacia el sector oeste, este miembro se encuentra estratificado y el tamaño de los fragmentos decrece, apareciendo clastos de cuarcitas, chert y areniscas, para que finalmente en las partes más alejadas pasen a calcarenitas y lutitas.

### **Formación Calera (Po-ca)**

La Formación Calera sobreyace a la Formación Pocobamba en discordancia angular y está compuesto por secuencias sedimentarias continentales de conglomerados con clastos angulosos provenientes del Grupo Pucará, intercalados con limos, lutitas y delgados niveles de tobas de composición riolítica y calizas lacustrinas de color beige.

### **Rocas Ígneas**

Las rocas ígneas que se encuentran dentro de la zona de estudio están emplazadas en dos grupos de edades, las rocas del paleógeno y neógeno, en su mayoría son pórfidos dacíticos y andesíticos.

### **Diatrema de Cerro de Pasco - Aglomerado Rumiallana (Nm-cl)**

El complejo volcánico de Cerro de Pasco es el centro volcánico más grande de la región, tiene aproximadamente 2.6 km de diámetro y se ha emplazado a lo largo de la falla Cerro de Pasco. Fue denominada como Formación Rumiallana (cobbing et.al 1996) que incluía a rocas de naturaleza volcanoclástica, la cual por tener las mismas características litológicas y modo de emplazamiento fue agrupada con las tobas Unish (Marcapunta).

El aglomerado Rumiallana es la secuencia más antigua (Mioceno superior) y se ubica en la mitad oriental del complejo volcánico de la UM Cerro de Pasco. Tiene color gris oscuro y está constituido por bloques angulosos y subangulosos de filitas del Grupo Cabanillas, calizas y chert del Grupo Pucará, y

rocas ígneas porfiríticas fuertemente alteradas. Hacia el lado occidental del complejo volcánico se encuentran tobas dacíticas, sin evidencia de deformación, con lapilli acrecional, estratificación delgada y laminación oblicua de oleadas piroclásticas. Existen domos emplazados al suroeste (Rogers, 1983) y en el norte del complejo volcánico (Baumgartner et al, 2009).

Tiene fenocristales de plagioclasa (posiblemente reemplazada por calcita y sericita), cuarzo y biotita subordinada (Baumgartner et al, 2009) La diatrema de Cerro de Pasco está cortada por un complejo de diques de cuarzo latita porfirítica de dirección E-O, y que pueden llegar a cortar las rocas sedimentarias más antiguas que se encuentren alrededor.

#### **Dacita – Andesita Porfirítica (P-da-an)**

Las dacitas son rocas ígneas porfiríticas que fueron intruídas en el Aglomerado Rumiallana y el Grupo Cabanillas. Gradan en su composición de dacita a riodacita y están constituidos de cuarzo; minerales máficos como biotita y hornblenda; y feldespatos. La matriz es afanítica de color violácea a gris. Comúnmente presenta texturas de desvitrificación y está presente en la parte NW del depósito Hanancocha y bajo el depósito Stock Pile Pampa Seca.

#### ***Depósitos No Consolidados***

##### **Depósito Morrénico (Q-mo)**

Estos depósitos son producto de procesos de desglaciación, compuestos por clastos angulosos de diferente litología y constituido por bloques, gravas, arenas y limo en matriz areno limosa pobremente clasificados. Se encuentran en las partes bajas e intermedias de las laderas. Evidenciándose al margen izquierdo de la presa de relaves Ocroyoc.

##### **Depósito Aluvial (Qh-al)**

Son depósitos no consolidados que han sido depositados por la combinación de procesos aluviales y fluviales. Están ubicados principalmente en las desembocaduras de las quebradas. Litológicamente están compuestas por gravas, arenas y limos, presentado clastos subredondeados a redondeados, encontrando principalmente en el río Ragre y Quebrada Rumiallana.

#### **Depósito Lacustre (Qh-la)**

Corresponden a sedimentos de grano fino por la cual pueden llegar a tener un contenido alto de materia orgánica por ejemplo en zonas pantanosas. Dentro de su matriz se aprecia un predominio de limos y arcillas finamente laminados, las mismas que se pueden observar en las lagunas Yanamate, Huaysacocha, Cuchis Grande, en forma de pequeñas playas.

#### **Depósito Fluvioglacial (Qh-fg)**

Son depósitos clásticos no consolidados de origen glaciar, acumulados a consecuencia de la interacción coetánea de procesos de erosión glacial, y fluvial. Están constituidos por gravas, arenas y limos algo consolidados con cierta homogeneidad horizontal, clastos sub redondeados a sub angulosos, los fragmentos son de composición variable dependiendo del lugar de procedencia, encontrándose en gran parte dentro del límite de estudio.

#### **Depósito Coluvial (Qh-co)**

Consisten en la acumulación clásticas moderadas pobremente consolidadas, conformadas por materiales rocosos de diversos tamaños, pero de litología homogénea, incluidos en una matriz limo arcilloso o limo arenoso que se distribuye irregularmente en las laderas y al pie de los cerros.

En la Figura 19: Se presenta la columna estratigráfica presente en el Área de Estudio.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS					
			LITOLOGÍA			ROCAS INTRUSIVAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito Antrópico		Qh-a			
			Depósitos Hidromórficos		Qh-hm			
			Depósito Lacustre		Qh-la			
			Depósito Aluvial		Qh-al			
			Depósito Coluvial		Qh-co			
		PLEISTOCENO	Depósito Glaciar		Q-gl			
	NEÓGENO	MIOCENO				Secuencia Volcánica Rumillana	Brecha	Nm-bssa
							Cuarzo Latita	Nm-cl
							Pirita	Nm-py
							Piroclastos	Nm-p
						Pórfido Dacítico	Nm-pd	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	Formación Calera			Po-ca		
		EOCENO	Formación Pocabamba	Miembro Cacun		Pe-ca		
				Miembro Shuco		Pe-sh		
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	Grupo Goyllarisquizga	Formación Farat		Ki-fa		
				Formación Santa-Carhuaz		Ki-sa-ca		
	JURÁSICO	INFERIOR	Grupo Pucará	Pucará Indiferenciado	Ts.Ji-p	Formación Condorsinga	Ji-c	
						Formación Aramachay	Ji-a	
						Formación Chambará	Ts-ch	
	TRIÁSICO	SUPERIOR					PsT-mi	
INFERIOR								
PALEOZOICO	PÉRMICO	SUPERIOR	Grupo Mita					
	CARBONIFERO	MISSISIPIANO	Grupo Ambo			Cl-a/sed		
	SILÚRICO		Grupo Cabanillas			D-ca		
DEVÓNICO								
		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>"Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica"</b>						
<b>Plano:</b>	<b>COLUMNA ESTRATIGRÁFICA</b>							
<b>Ubicación:</b>	Distrito	: Chaupimarca	Escala gráfica		ZONA: 18 S			
	Departamento	: Pasco	Bach: SANTIAGO DELGADO, William					
	Región	: Pasco	Datum: WGS-84					

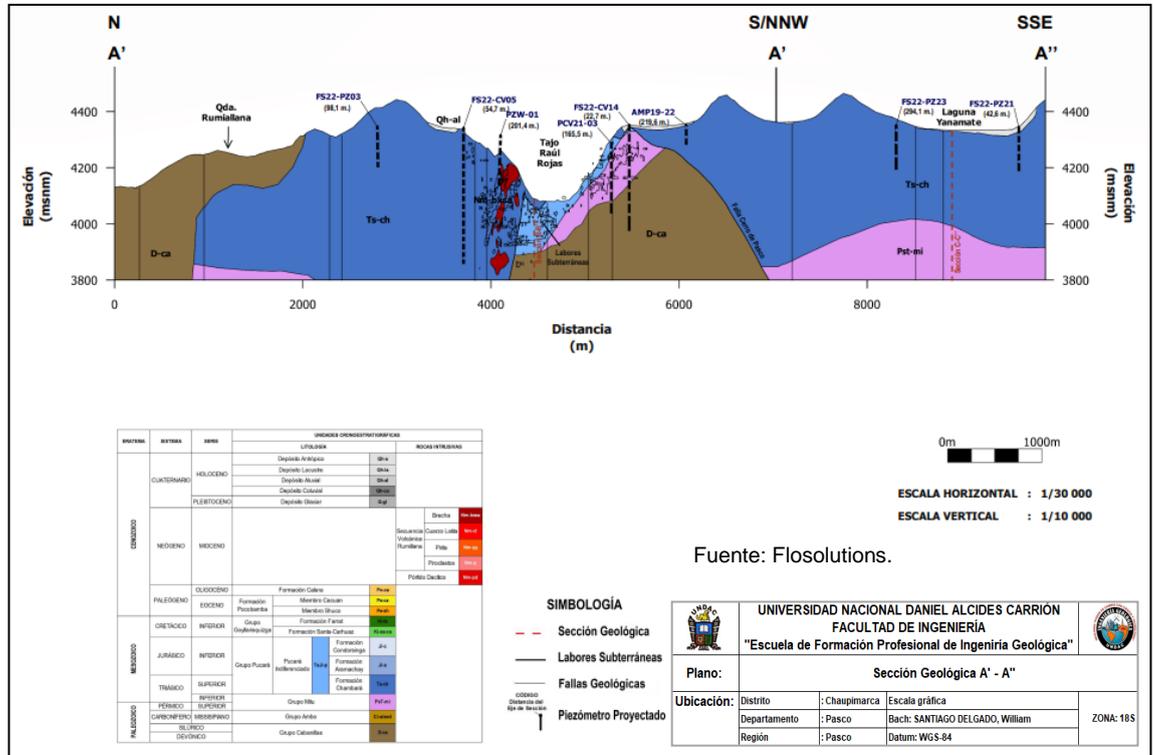
Fuente: Flosolutions.

El mapa geológico local de la UM Cerro de Pasco se presenta en el Plano 2 y las secciones representativas en el Plano 2-1 (Sección A-A'-A''), Plano 2-2 (Sección BB'-B'') y el Plano 2-3 (Sección C-C'), en estas secciones se muestran las unidades litoestratigráficas principales.

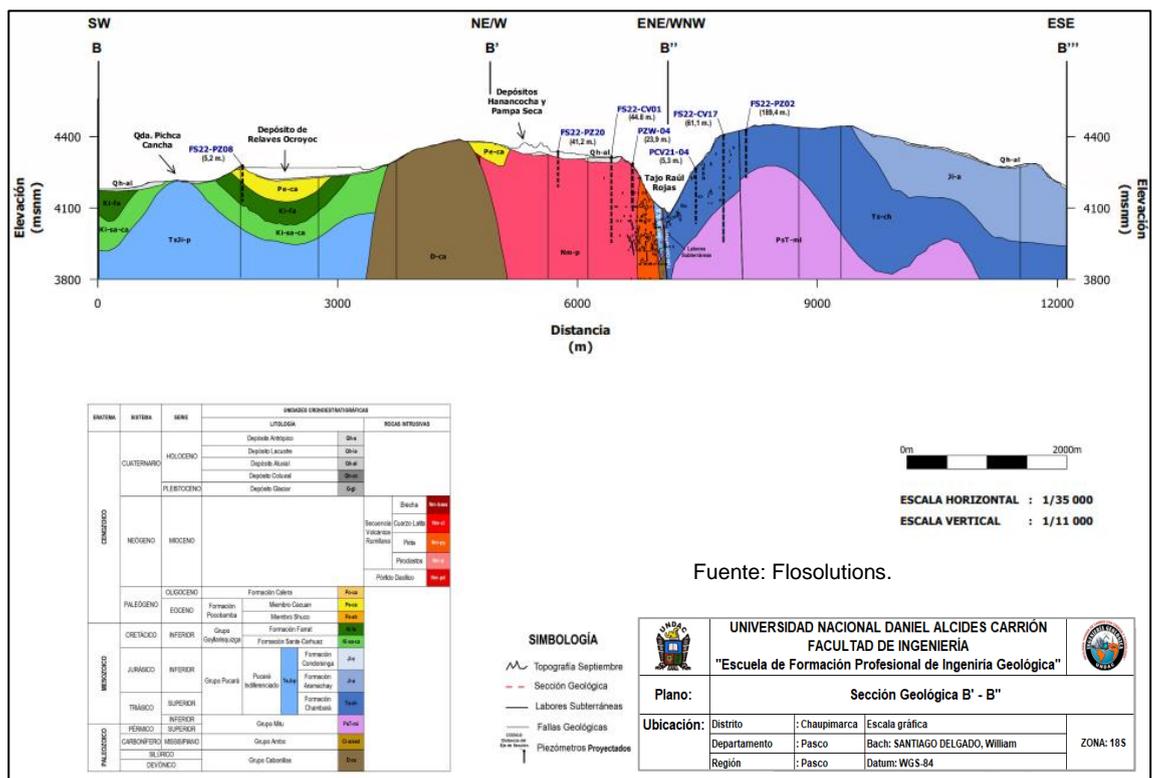
La sección A-A'-A'' muestra un perfil SW-NE el cual atraviesa longitudinalmente las principales instalaciones mineras. La sección B-B'-B'' muestra un perfil S-N, el cual atraviesa transversalmente al Tajo Raúl Rojas y la

sección C-C'-C'' muestra un perfil WE el cual muestra las unidades litológicas hacia el sector sur del Área de Estudio.

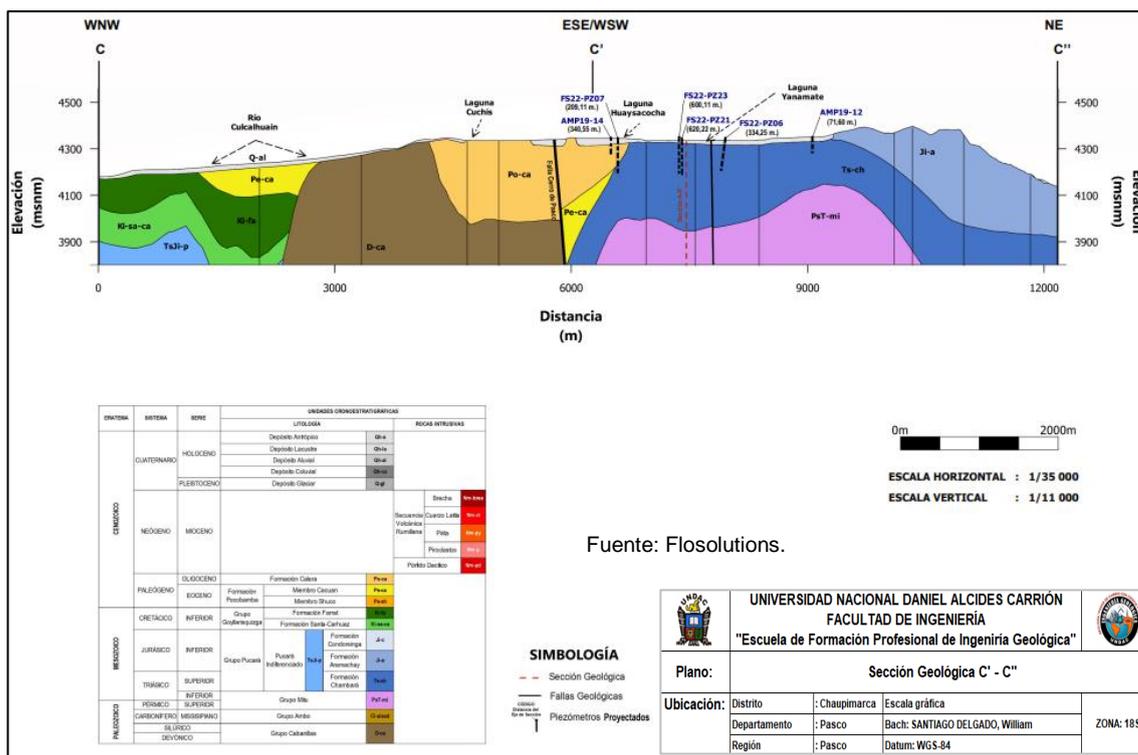
Sección A-A'-A'':



Sección B-B'-B''



## Sección C-C'-C''



Fuente: Flosolutions.

## Geología Estructural

La secuencia sedimentaria del Mesozoico reposa sobre el geoanticlinal del Marañón, frecuentemente depositada en dos cuencas sedimentarias; al Este de Cerro de Pasco y al Oeste del Lago de Junín (Chinchaycocha). Jenks, W. (1951) demostró que la cuenca de sedimentación triásica de Cerro de Pasco fue controlada por movimientos de las fallas longitudinales, el bloque hundido de esta falla al Este y los estratos sedimentarios fueron depositados en una zona negativa, producida por el movimiento de falla, el área positiva en el lado Oeste de la falla fue controlada por una secuencia delgada, limitando una faja angosta marcada por pizarras y filitas del Grupo Cabanillas y al oeste por calizas del Grupo Pucará.

## Falla Longitudinal de Cerro de Pasco

Conforma la estructura geológica de mayor relevancia en el Área de Estudio, presenta una dirección N-S, mostrando sus mejores exposiciones en la parte sur del Tajo Raúl Rojas en la UM Cerro de Pasco y en la carretera antigua Cerro de Pasco – Yanamate.

Hacia el sector este la Falla Longitudinal de Cerro de Pasco presenta rumbos de  $N10^{\circ} - 15^{\circ}W$ , y con buzamientos de  $60^{\circ}$  a  $65^{\circ}E$ . Las características de las unidades estratigráficas y magmáticas en los alrededores de la Falla Longitudinal de Cerro de Pasco evidencian que esta estuvo activa desde el Pérmico superior, por lo cual, ha controlado la sedimentación y actuó como un control estructural, haciendo que el bloque hundido se encuentre al este de la falla y los estratos sedimentarios fueran depositados en una zona negativa producida por el movimiento de falla. Según los diferentes eventos tectónicos durante el tiempo de esta falla, permitieron el emplazamiento y control estructural para la sedimentación y para la actividad ígnea como formación de diatremas, brechas y actividad hidrotermal. El área positiva en el lado Oeste de la falla fue controlada por una secuencia delgada, limitando una faja angosta marcada por pizarras y filitas del Grupo Cabanillas. Al este de la Falla Longitudinal Cerro de Pasco hay pequeñas estructuras, donde la secuencia delgada mesozoica descansa sobre los esquistos infrayacentes que se presentan como domos y anticlinales elongados.

Figura 19. Plano Estructural de la UM Cerro de Pasco

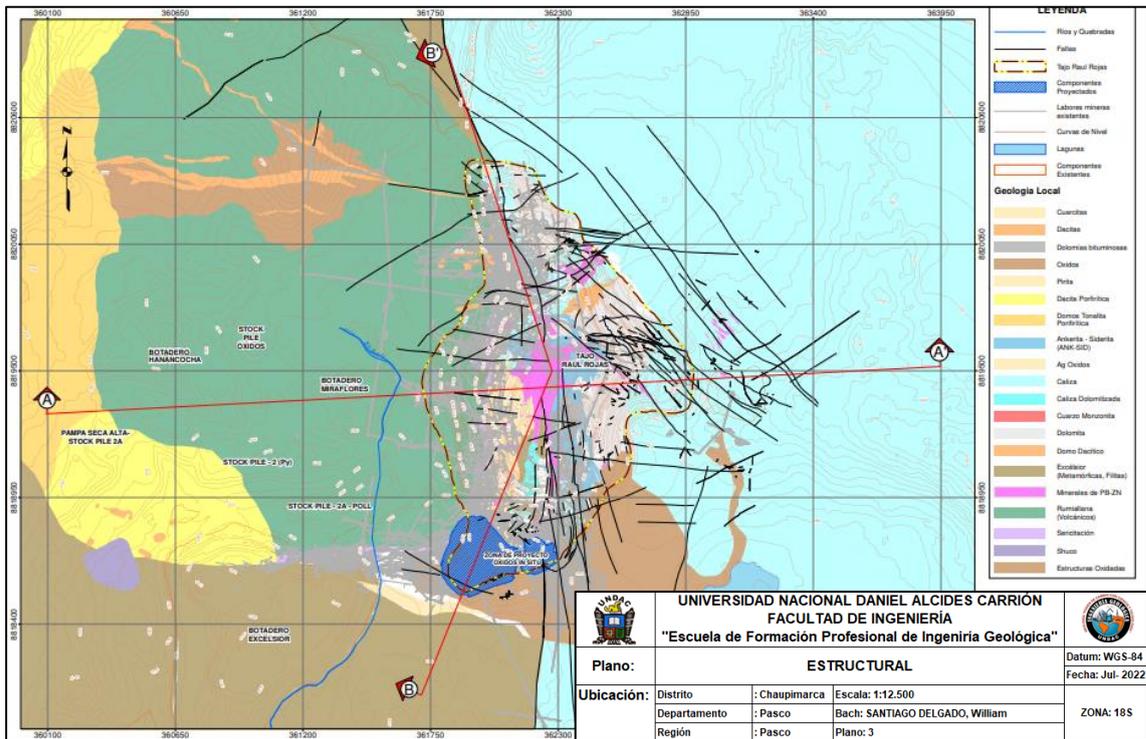
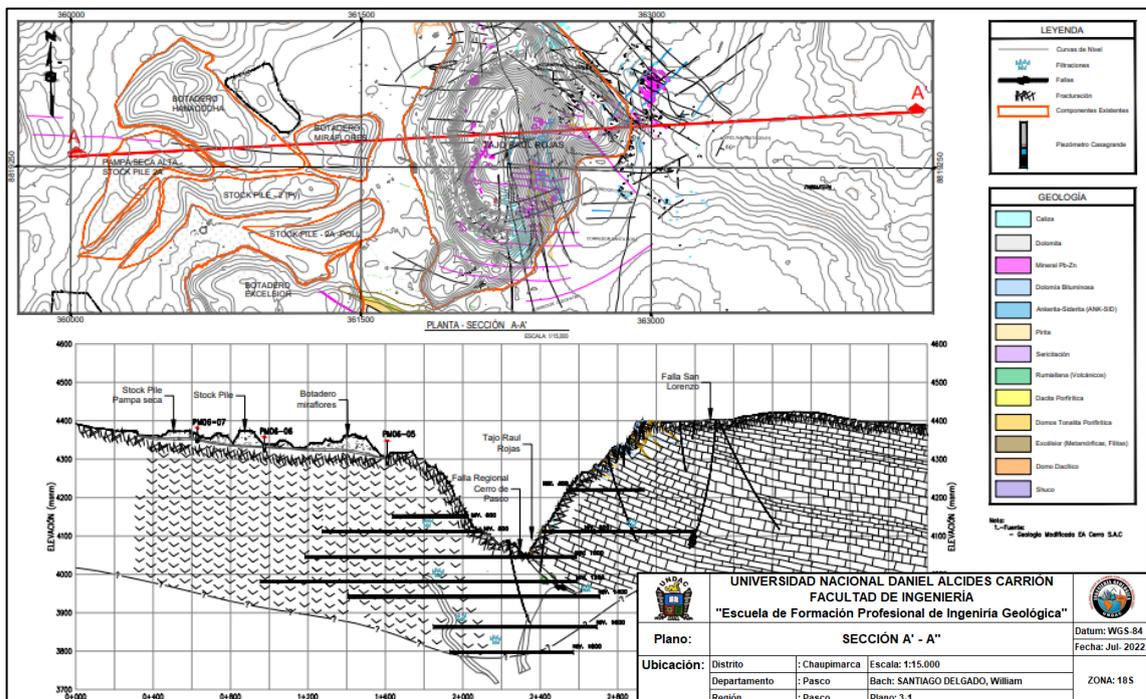


Figura 20. Sección A' - A''



Fuente: Amphos21.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.**

### **Investigaciones Hidrogeológicas**

Se presenta los resultados obtenidos a partir del programa de mapeo hidrogeológico de campo desarrollados en la UM Cerro de Pasco, realizados entre diciembre de 2021 y diciembre de 2022. Estas investigaciones incluyeron, inventario de fuentes de agua superficial y subterránea, inventario de filtraciones y mediciones de flujos de agua en interior mina (labores mineras subterráneas), programa de perforaciones, ensayos hidráulicos, instalación de piezómetros, muestreo fisicoquímico de agua superficial y subterránea. La finalidad de estas investigaciones fue obtener información y ampliar el conocimiento del medio hidrogeológico en el entorno de la UM Cerro de Pasco.

### **Inventario de Fuentes de Agua Superficiales y Subterráneas**

El inventario de fuentes de agua consistió en identificar en campo, las distintas manifestaciones o afloramientos del recurso hídrico, tanto de origen superficial como subterráneo, realizadas en el área de estudio hidrogeológico propuesto, que incluye el entorno de las instalaciones mineras principales de la UM Cerro de Pasco. El trabajo realizado consistió en la identificación, reconocimiento y georreferenciación de los diferentes tipos de fuentes de agua en superficie, como ríos, quebradas, lagunas, manantiales y piezómetros. La finalidad fue evaluar las posibles variaciones de flujos y parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua identificadas durante un ciclo hidrológico, se realizaron dos (2) campañas de inventario; la primera campaña, entre febrero y abril de 2022 y; en la segunda campaña, entre julio y agosto de 2022, se evaluaron las características fisicoquímicas de las fuentes de agua durante el período de estación seca. Durante las campañas, además de la identificación y

ubicación de las mismas, se recopilaron datos relevantes como caudales, niveles de agua subterránea, características litológicas del entorno, registro de parámetros fisicoquímicos de campo potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), sólidos totales disueltos (TDS), potencial óxido - reducción (ORP), alcalinidad (Alc), propiedades organolépticas (color, apariencia, olor), relación con los cuerpos de agua circundantes y estacionalidad aparente, entre otros. En la temporada húmeda 2022 fueron identificadas un total de 149 fuentes de agua subterránea y superficial, dos (2) corresponden a manantiales, 82 corresponden a piezómetros existentes (antiguos), 21 corresponden a filtraciones, 26 corresponden a quebradas, tres (3) corresponden a ríos, 14 fuentes corresponden a lagunas y descargas de lagunas y un (1) bofedal; mientras que, en la estación seca 2022, se identificó 126 fuentes de agua subterránea y superficial, de las cuales, dos (2) corresponden a manantiales, 82 corresponden a piezómetros, 17 corresponden a quebradas, 11 corresponden a filtraciones, ocho (8) fuentes corresponden a lagunas y descargas de lagunas, tres (3) fuentes de agua que corresponden a ríos y tres (3) bofedales .

La codificación asignada a las fuentes de agua se hizo en función a su origen y tipo. En las fuentes de agua superficial se incluyen a ríos, quebradas o arroyos, bofedal, laguna y laguna represada, mientras que en el caso de las fuentes de agua subterránea se tienen a piezómetros y manantiales. Para el caso de manantiales estacionales de muy bajo caudal ( $< 0.1$  l/s en época seca) se han categorizados como filtraciones debido al escaso flujo y por estar asociado a surgencias estacionales como recarga inmediata de las precipitaciones en épocas de lluvia. Se ha realizado la codificación de estas fuentes de agua de la siguiente manera: Q (Quebrada) + Siglas de la cuenca hidrográfica + Número Correlativo.

## **Fuentes de Agua Superficial**

Las fuentes de aguas superficiales identificadas están conformadas por ríos, quebradas y lagunas, las cuales se ubican en tres (3) cuencas hidrográficas. Para la estación húmeda se identificaron un total de 65 fuentes y para la estación seca se identificaron 39 fuentes. A continuación, se describe un resumen de las principales características fisicoquímicas de cada fuente inventariada las cuales han sido clasificadas según su ubicación en la cuenca hidrográfica a la que pertenece, los parámetros fisicoquímicos en detalle se muestran en la Figura 5-1 en el Anexo I se presentan en detalle las fichas de campo para cada fuente de agua superficial identificadas para ambas campañas.

### **Cuenca Hidrográfica San Juan**

#### **Ríos:**

- Se identificó tres (3) fuentes de agua en estación húmeda y estación seca.
- El caudal era muy elevado en la estación húmeda y no se logró tomar el valor, en la estación seca se registró un caudal de 582.8 l/s. o
- Los valores de pH se encuentran entre 6.94 - 7.69 en estación húmeda y de 7.87 - 8.40 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica está 221  $\mu\text{S/cm}$  – 2417  $\mu\text{S/cm}$  para estación húmeda y 218  $\mu\text{S/cm}$  – 2855  $\mu\text{S/cm}$  en estación seca.

#### **Quebradas:**

- Se identificaron 22 fuentes de agua en la estación húmeda y 12 en la estación seca.
- El caudal varía en la estación humedad entre 1.3 l/s y 514 l/s y en la estación seca 0.001 l/s y 53.6 l/s.

- Los valores de pH se encuentran entre 5.55 -7.96 en estación húmeda y 6.88 – 9.17 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica se presenta en rangos de 66.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 587  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época húmeda y 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 1298  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época seca. o El mayor caudal registrado corresponde al punto QH3-044 cuyo flujo fue de 514 l/s.

### **Filtraciones**

- Se identificaron cinco (5) fuentes de agua en estación húmeda y tres (3) en estación seca.
- El caudal varía en la estación humedad entre 0.1 l/s y 0.3 l/s y, en la estación seca 0.001 l/s - 0.03 l/s.
- Los valores de pH se encuentran entre 7.08 - 8.43 en estación húmeda y 6.44 - 7.87 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica se presenta en rangos de 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 891  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época húmeda y 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 1059  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época seca.

### **Lagunas**

- Durante la época húmeda se inventarió 14 lagunas; mientras que, en la estación seca se inventarió ocho (8) lagunas. Cabe señalar que durante la época seca sólo una laguna (QM3-047) presentaba flujo de salida.
- Los caudales de descarga en la estación húmeda estuvieron entre 1.2 l/s y 6984 l/s y durante la estación seca 19.6 l/s.
- Los valores de pH se encuentran entre 5.11 - 8.66 en estación húmeda y entre 7.35 - 9.5 durante la estación seca.
- La conductividad eléctrica está entre los rangos de 23  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 479  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación húmeda y entre 28  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 764  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación seca.

### **Bofedales:**

- Durante la época húmeda se inventarió 01 bofedal; mientras que, en la estación seca se inventarió tres (3) bofedales. Cabe señalar que solo el Bofedal QM3-041 cuenta con régimen permanente. Los bofedales BF-1 y BF-2 fueron registrados en anteriores estudios ambientales por lo que se optó por verificar su estado en época seca, encontrándolos secos.
- Para el bofedal QM3-041, el caudal de descarga en la estación húmeda fue de 1.50 l/s y durante la estación seca fue de 0.11 l/s.
- El valor de pH fue de 7.56 en estación húmeda y de 8.1 durante la estación seca. o La conductividad eléctrica fue de 691  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la estación húmeda y entre 564  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la estación seca.

### **Cuenca Hidrográfica Alto Huallaga**

#### **Quebradas:**

- Se identificaron cinco (5) fuentes de agua en la estación húmeda y cinco (5) en la estación seca. El caudal varía en la estación húmeda entre 40 l/s y 250 l/s y en la estación seca 0.06 l/s y 1.32 l/s.
- Los valores de pH se encuentran entre 7.8 - 8.58 en estación húmeda y 7.52 – 8.54 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica se presenta en rangos de 363  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 428  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación húmeda y 223  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 439  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época seca.
- El mayor caudal registrado corresponde al punto QH1-004 cuyo flujo fue de 250 l/s.

#### **Filtraciones:**

- Se identificaron 11 fuentes de agua en estación húmeda y siete (7) en estación seca.

- El caudal varía en la estación húmeda entre 0.4 l/s y 2 l/s y en la estación seca 0.001 l/s y 0.09 l/s. o Los valores de pH se encuentran entre 5.5 - 8.2 en estación húmeda y 7.5 - 8.17 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica se presenta en rangos de 41  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 701  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época húmeda y 333  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 543  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época seca. En la Tabla 1 se muestra el resumen de las fuentes inventariadas indicando sus principales características y en el Anexo se encuentra el detalle de las fichas del inventario.

### **Fuentes de Agua Subterránea**

Las fuentes de agua subterránea identificadas corresponden a manantiales y piezómetros. Los piezómetros corresponden a la instrumentación que permite obtener registros de niveles y química del agua subterránea, en el área de estudio se ha identificado piezómetros de tipo tubo abierto, en su mayoría. Se entiende como manantial a la surgencia de agua que brota a la superficie, debido a la intersección de un estrato acuífero con la superficie o con alguna estructura que actúe como medio de salida y, por ende, su nivel piezométrico es igual a la cota del terreno. En la zona de estudio se evidenció un total de dos (2) fuentes de agua que corresponden a manantiales durante la estación húmeda y dos (2) durante la estación seca; es decir que, presentan un flujo permanente durante un ciclo hidrológico. Se ha inventariado un total de 82 piezómetros en el entorno del área de estudio.

A continuación, se describe un resumen de las principales características fisicoquímicas de cada fuente inventariada, las cuales han sido clasificadas según su ubicación en la cuenca hidrográfica a la que pertenece, los parámetros fisicoquímicos en detalle se muestran en la Tabla 1.

### **Cuenca Hidrográfica Mantaro/San Juan**

#### **Manantiales:**

- Se identificaron dos (2) fuentes de agua que presentan flujo permanente en ambas temporadas (seca y húmeda).
- Su caudal varía entre 2.06 l/s durante la estación húmeda y entre 1.49 l/s -1.58 l/s en la estación seca.
- Los valores de pH se encuentran en 7.07 durante estación húmeda y entre 7.2 – 7.63 durante la estación seca.
- Su conductividad eléctrica está en 518  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la estación húmeda y 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 553  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación seca.

### **Cuenca Hidrográfica San Juan**

#### **Piezómetros:**

- Se identificaron 74 piezómetros, de los cuales 39 presentan información en estación húmeda y 37 presentan información en estación seca.
- Los valores de pH se encuentran entre 0.55 – 9.3 en estación húmeda y entre 0.21 – 8.53 durante estación seca. o La conductividad eléctrica se encuentra entre 103°  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 138800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación húmeda y entre 155  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 200000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación seca.

### **Cuenca Hidrográfica Alto Huallaga**

#### **Piezómetros:**

- Se identificaron ocho (8) piezómetros, de los cuales cuatro (4) presentan información en estación húmeda y cuatro (4) presentan información en estación seca.
- Los valores de pH se encuentran entre 6.36 – 6.85 en estación húmeda y entre 6.28 – 6.86 durante la estación seca.
- La conductividad eléctrica se encuentra entre 4170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 7590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación húmeda y entre 4123  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 10410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para estación seca.

**Tabla 1. Resumen de inventario de fuentes de agua superficial y subterránea**

Código corto	Código fichas inventario	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Cuenca hidrográfica	Tipo de agua	Tipo de fuente	Nivel de agua (m)	Caudal (L/s)		pH		Conductividad Eléctrica CE(µS/cm)		Temp (°C)		Potencial Redox ORP (mV)		Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)		Oxígeno Disuelto OD (mg/L)		Alcalinidad total (mg/L CaCO3)	
		Este	Norte	Altitud (msnm)					Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
QH3-004	19/01/09-QSanJuan-11	361467	8823267	4098	San Juan	Superficial	Quebrada		514.00	53.60	7.87	8	502	1298	12.5	15.46	138	149.9	251	649	4.3	2.32	108	145
QM3-016	19/01/09-QSanJuan-14	356408	8816206	4184	San Juan	Superficial	Quebrada		3.50	0.001	7.68	7.68	309	333	11.7	14	48	114	155	167	3.2	4.89	159	50
QM3-033	19/01/09-QSanJuan-17	356439	8819235	4237	San Juan	Superficial	Quebrada		1.80	0.00	7.75	8.14	195	378	14	15.5	177	109	98	190	3.4	4.25	120	33
QM3-032	19/01/09-QSanJuan-16	356451	8819181	4236	San Juan	Superficial	Quebrada		22.00	0.06	7.04	7.89	270	345	13.1	11	173	114.5	135	172	4.2	4.78	135	70
QM3-042	19/01/09-QSanJuan-18	360295	8820643	4382	San Juan	Superficial	Quebrada		3.00	-	7.77	-	140	-	13.7	-	58	-	70	-	6.59	-	60	-
QM3-044	19/01/09-QSanJuan-19	360142	8821083	4372	San Juan	Superficial	Quebrada		117.00	-	7.96	-	183	-	12.3	-	117	-	92	-	6.7	-	108	-
QM3-053	19/01/09-QSanJuan-28	359129	8820082	4285	San Juan	Superficial	Quebrada		1.50	-	7.32	-	66	-	15.3	-	194	-	33	-	6.47	-	135	-
QM3-051	19/01/09-QSanJuan-26	359658	8820145	4292	San Juan	Superficial	Quebrada		4.3	-	6.53	-	232	-	8.8	-	122	-	116	-	7.18	-	65	-
QM3-055	19/01/09-QSanJuan-30	358258	8821458	4314	San Juan	Superficial	Quebrada		7.90	-	7.25	-	127	-	17.2	-	131	-	64	-	6.7	-	96	-
QM3-048	19/01/09-QSanJuan-23	360006	8820598	4317	San Juan	Superficial	Quebrada		8.50	0.02	6.79	7.35	232	359	8.2	10.6	169	181	116	164	6.85	6.45	65	70
QM3-050	19/01/09-QSanJuan-25	359677	8820305	4296	San Juan	Superficial	Quebrada		17.60	0.02	6.69	7.73	207	167	9.7	18	107	140	103	83	6.49	6.45	89	100
QM3-049	19/01/09-QSanJuan-24	359707	8820283	4303	San Juan	Superficial	Quebrada		20.40	0.01	6.69	7.58	167	110	10	19	90	191	84	55	6.22	5.95	121	135
QM3-054	19/01/09-QSanJuan-29	359247	8821934	4340	San Juan	Superficial	Quebrada		26.30	-	7.54	-	518	-	13.4	-	225	-	259	-	6.05	-	75	-
QM3-052	19/01/09-QSanJuan-27	359183	8819928	4275	San Juan	Superficial	Quebrada		96.61	0.001	7.09	9.17	136	132	12.2	14.6	189	113	68	66	6.28	4.05	60	20
QM3-027	19/01/09-LSanJuan-05	359261	8821921	4321	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Venenococha		376.50	***	7.64	7.68	57	104	12.2	9.7	164	228	28	52	5.2	4.89	60	90
QM3-028	19/01/09-LSanJuan-06	359510	8822106	4323	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Sin Nombre		***	***	8.59	7.35	23	28	12.7	13	199	220	11	14	4.3	5.02	99	90
QM3-029	19/01/09-LSanJuan-07	359223	8822637	4317	San Juan	Superficial	Laguna		***	***	8.66	9.17	153	117	14.1	11.8	185	105.9	76	87	4	4.16	108	70
QM3-031	19/01/09-LRSanJuan-01	357934	8820147	4295	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Shegeyalcan		85.00	***	7.23	9.5	223	104	12	10.2	191	160	111	73	2.7	3.05	114	35
QM3-039	19/01/09-LSanJuan-02	361481	8815282	4349	San Juan	Superficial	Laguna		1.30	-	7.5	-	369	-	12.9	-	131	-	182	-	6.3	-	135	-
QM3-040	19/01/09-LSanJuan-03	361326	8815484	4355	San Juan	Superficial	Laguna		4.00	-	7.47	-	291	-	16.3	-	-	-	145	-	5	-	141	-
QM3-035	19/01/09-LSanJuan-08	360849	8815221	4330	San Juan	Superficial	Laguna		6984.00	***	7.54	8.31	106	128	10.9	7.2	156	195	53	64	4.9	6.3	45	75
QM3-038	19/01/09-LSanJuan-09	361349	8815194	4332	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Cuchis		***	***	7.21	7.69	446	131	15.6	6.1	185	207	224	66	6.1	5.51	189	69
QM3-058	19/01/01-LSanJuan-01	363259	8818441	4335	San Juan	Superficial	Aportante a Laguna Patarcocha		***	***	7.4	7.63	479	764	12.4	9.65	188	382	85	-37.8	6.6	3.01	258	80
QM3-059	19/01/09-LSanJuan-04	360542	8815573	4332	San Juan	Superficial	Aportante a Laguna Patarcocha		3	***	6.67	-	130	-	10.4	-	203	-	65	-	7.09	-	93	-
MM2-002	FSJ-008	359860	8814474	4320	San Juan	Superficial	Filtración		0.13	0.001	8.43	7.87	891	1059	14.5	15.83	125	210.8	490	530	5.7	5.79	165	195
MM2-003	FSJ-009	359524	8814262	4275	San Juan	Superficial	Filtración		0.26	0.03	7.2	6.44	342	402	12.2	9.92	119	285.8	173	202	3.2	4.36	113.7	195
MM1-074	FSJ-007	363013	8814347	4337	San Juan	Superficial	Filtración		0.10	0.001	7.08	6.98	583	764	14.2	6.25	243	277.8	292	382	8.74	3.47	219	270
MM1-072	FSJ-005	362106	8815846	4375	San Juan	Superficial	Filtración		0.30	-	7.83	-	414	-	10.80	-	265.00	-	207.00	-	4.92	-	235.00	-
MM1-073	FSJ-006	362058	8815081	4334	San Juan	Superficial	Filtración		0.23	-	7.64	-	578	-	17	-	265	-	289	-	6.9	-	300	-
QM3-001	19/01/09-QSanJuan-12	362046	8814565	4340	San Juan	Superficial	Quebrada		3.00	-	5.11	-	454	-	20.5	-	268	-	182	-	3.2	-	180	-
QM3-045	19/01/09-QSanJuan-20	359596	8821483	4349	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Venenococha		5.50	-	8.1	-	83	-	13.5	-	2	-	42	-	6.32	-	39	-
QM3-047	19/01/09-QSanJuan-22	359208	8821952	4334	San Juan	Superficial	Descarga Laguna Venenococha		35.95	19.60	8.25	7.39	61	109	12.5	9.9	90	121	31	55	7.03	6.05	39	30

Código corto	Código fichas inventario	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Cuenca hidrográfica	Tipo de agua	Tipo de fuente	Nivel de agua (m)	Caudal (L/s)		pH		Conductividad Eléctrica CE(µS/cm)		Temp (°C)		Potencial Redox ORP (mV)		Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)		Oxígeno Disuelto OD (mg/L)		Alcalinidad total (mg/L CaCO3)			
		Este	Norte	Altitud (msnm)					Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
MA-RU-007	FSJ-022	362012	8822725	4252	Cuenca Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.30	-	7.31	-	365	-	9.5	-	198	-	182	-	6.3	-	249	-			
MA-RU-003	FH-025	361990	8822040	4265	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.40	0.04	7.97	7.72	360	373	8.8	8.57	196	107.1	180	186	8.7	3.83	234	65			
MA-RU-004	FH-026	361943	8822237	4245	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.40	0.04	7.58	7.7	586	460	9.1	8.13	205	1.74	293	230	8.1	4.1	270	80			
MA-RU-006	FH-028	362071	8822570	4281	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.40	0.09	7.73	8.17	417	380	8.6	7.7	193	115	208	190	7.4	4.4	282	90			
MA-RU-005	FH-027	361880	8822341	4230	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.60	0.001	7.24	7.5	701	543	9.9	8.4	201	125.6	350	272	7	3.5	300	130			
MA-RU-002	FH-024	362012	8821895	4269	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	1.20	0.09	8.14	7.92	330	333	8.8	7.9	185	102.5	165	167	8.6	3.78	252	55			
MA-RU-001	FH-023	362023	8821734	4277	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	2.00	0.03	7.73	7.75	436	410	9.4	7.56	194	97.2	218	205	8	3.13	225	100			
MH3-007	FH-021	361818	8822756	4200	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.50	-	8.2	-	41	-	15.2	-	51	-	21	-	-	-	-	-			
MH3-002	FH-020	361577	8823532	4093	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.50	-	5.5	-	81	-	12.1	-	65	-	37	-	1.45	-	36	-			
MM3-025	FH-018	359788	8822746	4304	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	0.50	-	7.29	-	363	-	10.2	-	200	-	181	-	4.8	-	165	-			
MM3-026	FH-019	359791	8822859	4321	Alto Hualлага II	Superficial	Filtración	1.50	0.03	7.92	8	346	423	9.7	4.99	201	195	172	120	3.5	4.47	195	60			
QH1-002	19/01/13-QAltoHua II-02	365753	8817399	4330	Alto Hualлага II	Superficial	Quebrada	40.00	0.06	8.09	7.52	428	439	7.5	10.1	160	268	212	220	7	4.23	240	255			
QH1-001	19/01/13-QAltoHua II-01	365528	8818816	4377	Alto Hualлага II	Superficial	Quebrada	57.20	0.16	7.96	8.37	363	329	8.2	9.25	151	219.6	182	164	6.5	4.3	234	180			
QH1-003	19/01/13-QAltoHua II-03	366295	8817619	4284	Alto Hualлага II	Superficial	Quebrada	100.00	0.00	8.21	8.54	421	223	7.4	10.73	168	220.6	210	112	6.86	4.68	261	135			
QH1-005	19/01/13-QAltoHua II-05	367000	8817882	4198	Alto Hualлага II	Superficial	Quebrada	150.00	0.30	8.58	8.44	397	363	8.5	8.9	183	247.9	199	181	6.79	4.12	210	150			
QH1-004	19/01/13-QAltoHua II-04	366988	8818012	4200	Alto Hualлага II	Superficial	Quebrada	250.00	1.32	7.8	8.24	392	324	8.2	9.56	193	251.5	196	162	6.6	4.4	198	210			
MM3-012	FSJ-015	357293	8814916	4198	Mantaro/ San Juan	Superficial	Filtración	0.50	-	8.36	-	337	-	12.3	-	56	-	169	-	4.5	-	144	-			
MM3-013	FSJ-016	357223	8814762	4204	Mantaro/ San Juan	Superficial	Filtración	2.30	-	9.27	-	324	-	10.7	-	72	-	164	-	3.9	-	159	-			
MM3-036	FSJ-018	361024	8815308	4343	Mantaro/ San Juan	Superficial	Filtración	0.50	-	7.1	-	450	-	10.2	-	153	-	230	-	3.8	-	150	-			
MM3-037	FSJ-019	361273	8815278	4335	Mantaro/ San Juan	Superficial	Filtración	5.40	0.001	6.96	6.99	490	613	10.3	6.8	151	135	245	307	3.5	4.44	150	240			
MM3-043	FSJ-020	360163	8821011	4384	Mantaro/ San Juan	Superficial	Filtración	1.50	-	7.78	-	363	-	8.8	-	79	-	182	-	6.06	-	189	-			
MHU	IRHS 19/01/09-MA-07	356510	8819170	4247	Mantaro/ San Juan	Subterránea	Manantial	-	1.58	-	7.63	-	275	-	10.8	-	-	-	-	-	6.26	-	-			
MM3-017	IRHS 19/01/09-MA-09	356414	8816212	4185	Mantaro/ San Juan	Subterránea	Manantial	2.06	1.49	7.07	7.2	518	553	11.2	11.4	48	276	260	82.7	3.5	3.5	195	65			
QM3-018	19/01/09-RSanJuan-02	356089	8816685	4186	San Juan	Superficial	Río	**	**	7.69	8.4	243	253	13.2	13.6	73	220	123	126	5.5	4.36	117	55			
QM3-015	19/01/09-RSanJuan-01	356344	8816151	4187	San Juan	Superficial	Río	*	582.80	7.68	7.87	251	223	11.5	16.06	48	134	126	112	5.3	4.6	105	35			
QM3-019	19/01/09-RSanJuan-03	357363	8816509	4195	San Juan	Superficial	Río	*	334.41	6.94	7.87	2417	2855	15.9	15.37	-4	131.2	1210	1432	-	3.43	75	87			
QM2-003	19/01/09-QSanJuan-08	359997	8814720	4296	San Juan	Superficial	Quebrada	3.00	0.09	7.63	7.32	371	438	10.7	10.44	169	254.2	186	219	3.8	6.81	198	225			
QM2-002	19/01/09-QSanJuan-07	360003	8814692	4318	San Juan	Superficial	Quebrada	83.20	-	7.6	-	346	-	10.5	-	197	-	162	-	4.3	-	197.1	-			
QM2-004	19/01/09-QSanJuan-09	359972	8814730	4293	San Juan	Superficial	Quebrada	132.30	0.20	7.41	6.88	371	491	11.1	11.77	109	83.5	185	245	4.9	4.91	144	150			
QH2-042	19/01/13-QSanJuan-02	364517	8821322	4248	San Juan	Superficial	Quebrada	65.50	-	7.91	-	311	-	10.2	-	169	-	156	-	5.4	-	120	-			
QH3-006	19/01/13-QSanJuan-04	361835	8822669	4190	San Juan	Superficial	Quebrada	1.30	-	7.71	-	209	-	19.2	-	99	-	105	-	4.5	-	75	-			
QH3-008	19/01/13-QSanJuan-05	361814	8822322	4195	San Juan	Superficial	Quebrada	11.44	0.17	7.28	8.39	587	526	14	7.19	43	113.4	294	263	-	4.33	-	100			
QH3-003	19/01/09-QSanJuan-32	361423	8823320	4091	San Juan	Superficial	Quebrada	81.30	6.56	5.55	8.2	141	350	11.2	9.2	111	116.6	71	175	-	4.76	-	66			

Código corto	Código fichas inventario	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Cuenca hidrográfica	Tipo de agua	Tipo de fuente	Nivel de agua (m)	Caudal (L/s)		pH		Conductividad Eléctrica CE(µS/cm)		Temp (°C)		Potencial Redox ORP (mV)		Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)		Oxígeno Disuelto OD (mg/L)		Alcalinidad total (mg/L CaCO3)			
		Este	Norte	Altitud (msnm)					Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
DH-20H-05	19/01/09-PZ-28	357661	8818180	4281	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	26.76	-	-	7.29	7.79	3620	2781	9.00	6.52	39.00	-106.9	1810.00	1380	6.03	0.52	183.00	225		
P-04A	19/01/09-PZ-29-I	359467	8816508	4272	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	4.66	-	-	7.11	7.53	1175	790	10.30	8.47	-86.00	-82	588.00	381	0.86	0.94	405.00	380		
P-04B	19/01/09-PZ-29-II	359467	8816508	4272	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	4.65	-	-	6.94	6.88	2410	2337	11.90	9.34	28.00	12	1205.00	1162	0.96	2	375.00	300		
P-08	19/01/09-PZ-30	361497	8818466	4326	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	8.23	-	-	6.15	5.62	2900	4648	12.30	12.57	-51.00	78	1450.00	2303	2.09	1.8	150.00	130		
P-1	19/01/09-PZ-31	360430	8818279	4290	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-13	19/01/09-PZ-32	360795	8817199	4260	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-14	19/01/09-PZ-33	360249	8817934	4300	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-15	19/01/09-PZ-34	360313	8817886	4280	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.42	-	-	6.49	7.6	561	622	14.10	13.5	-4.00	-94	281.00	311	6.34	-	165.00	237		
P-17	19/01/09-PZ-35	359200	8816915	4260	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	4.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-18	19/01/09-PZ-36	359240	8816933	4260	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	7.68	-	-	7.06	7.2	2450	2520	11.20	10.9	42.00	24	1225.00	1260	1.03	1.33	240.00	230		
P-19	19/01/09-PZ-37	359359	8817090	4270	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	17.52	-	-	5.89	5.82	5850	5649	12.00	14.7	8.00	41	2925.00	2848	1.55	1.5	255.00	250		
P-1A	19/01/09-PZ-38	362328	8815081	4349	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	9.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-1B	19/01/09-PZ-39	362072	8814727	4344	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	9.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-2Y	19/01/01-PZ-05	362485	8815184	4345	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	6.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-3	19/01/09-PZ-40	360787	8818833	4290	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	4.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-3Y	19/01/01-PZ-06	364188	8817390	4398	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-4Y	19/01/01-PZ-07	364898	8816704	4368	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-5Y	19/01/01-PZ-08	364056	8815419	4335	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	6.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-6	19/01/09-PZ-41	360920	8817465	4271	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P-9	19/01/09-PZ-42	361520	8818576	4324	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	8.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PA-11	19/01/09-PZ-43	358141	8817133	4271	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	19.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PCS-08-01	19/01/09-PZ-44	359918	8818734	4376	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.69	-	-	6.44	6.59	693	1170	10.40	9.1	28.00	-43	347.00	585	1.22	2.1	0.00	147		
PCS-08-03	19/01/09-PZ-45	360281	8818497	4316	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.31	-	-	7.85	7.71	352	521	11.60	9.8	-16.00	-41	176.00	259	2.91	3.1	255.00	290		
PCS-08-04	19/01/09-PZ-46	360250	8818406	4323	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.20	-	-	8.40	8.25	296	425	10.00	9.3	54.00	-55	148.00	213	6.75	6.3	273.00	243		
PM06-01	19/01/09-PZ-47	361824	8821595	4229	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	0.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM06-04	19/01/09-PZ-48	361504	8819989	4305	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	12.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM06-06	19/01/09-PZ-49	361007	8818964	4294	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	4.44	-	-	2.20	2.12	16980	29520	16.30	14.4	380.00	377	8490.00	14.9	3.52	1.4	-	-		
PM06-07	19/01/09-PZ-50	360631	8819098	4306	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	5.18	-	-	0.55	0.21	127000	200000	20.60	23.61	385.00	421	63500.00	100.1	2.81	2.6	-	-		
PM06-08A	19/01/09-PZ-51-I	360780	8818832	4289	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.70	-	-	3.04	4.43	12730	7820	11.90	10.3	346.00	152	6365.00	3947	1.89	1.83	-	36		
PM06-08B	19/01/09-PZ-51-II	360780	8818832	4289	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	0.94	-	-	2.67	6.75	15820	14370	12.00	10.4	352.00	156	7910.00	7230	3.75	3.51	-	39		
PM06-09A	19/01/09-PZ-52-I	361522	8819057	4330	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM06-09B	19/01/09-PZ-52-II	361522	8819057	4330	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	25.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ RUMI 1	19/01/09-PZ-53	361800	8821492	4259	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	23.72	-	-	6.36	6.28	7590	10410	20.20	10.46	24.00	206	3795.00	5052	1.47	0.24	165.00	168		
PZ RUMI 2	19/01/09-PZ-54	361904	8821510	4253	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	6.46	-	-	6.85	6.53	6320	6773	11.40	21.6	142.00	-27	3160.00	3789	2.78	2.7	465.00	474		
PZ-RUMI-3	19/01/09-PZ-55	361491	8821075	4381	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	48.44	-	-	6.63	6.86	4420	4500	14.70	15.1	90.00	160	2210.00	2250	2.92	5.1	360.00	294		
PZ RUMI 4	19/01/09-PZ-56	361462	8821154	4371	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	34.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ RUMI 5	19/01/09-PZ-57	361808	8820888	4400	Cuenca Alto Huallaga II	Subterránea	Piezómetro	63.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Código corto	Código fichas inventario	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Cuenca hidrográfica	Tipo de agua	Tipo de fuente	Nivel de agua (m)	Caudal (L/s)		pH		Conductividad Eléctrica CE(µS/cm)		Temp (°C)		Potencial Redox ORP (mV)		Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)		Oxígeno Disuelto OD (mg/L)		Alcalinidad total (mg/L CaCO3)			
		Este	Norte	Altitud (msnm)					Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca	Época Húmeda	Época Seca
PZ-01 Pampa Seca	19/01/09-PZ-58	360414	8818771	4309	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-01-Ocroycoc	19/01/09-PZ-59	358080	8816918	4228	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.65	-	-	7.16	7.44	1552	1993	10.50	8.63	-172.00	-129	776.00	998	-	-	165.00	174		
PZ-04	19/01/09-PZ-60	360661	8818920	4290	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	5.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-05	19/01/09-PZ-61	360696	8818938	4292	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	3.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-05Q	19/01/09-PZ-62	359999	8817256	4279	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	7.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-06	19/01/09-PZ-63	360769	8818955	4300	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-08	19/01/09-PZ-64	360973	8817448	4270	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PZ-8Q	19/01/09-PZ-65	360735	8817144	4272	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	8.41	-	-	7.40	7.62	461	473	11.70	8.18	-92.00	-55	231.00	237	1.06	1.02	192.00	183		
PZ-HANA-01	19/01/09-PZ-66	360473	8819746	4406	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	52.12	-	-	3.08	2.98	8720	14370	18.20	25.7	249.00	312	4360.00	7200	2.37	2.34	-	-		
PZ-HANA-02	19/01/09-PZ-67	360725	8819682	4354	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	12.02	-	-	3.47	3.25	33300	43950	22.50	27.7	204.00	216	16650.00	21	0.48	0.45	-	-		
SB-04	19/01/09-PZ-68	360202	8818380	4330	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
SB-05	19/01/09-PZ-69	360192	8818463	4332	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	1.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
SB-08	19/01/09-PZ-70	360121	8818525	4335	Cuenca San Juan	Subterránea	Piezómetro	-0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

## **Inventario de Fuentes de Agua en Interior Mina**

El inventario de filtraciones en las labores mineras subterráneas se realizó con la finalidad de registrar y medir las características fisicoquímicas de las filtraciones en el entorno de las labores mineras subterráneas, identificar y describir los principales rasgos kársticos y estructuras geológicas principales como la falla Cerro de Pasco y la recolección de muestras de agua en los diferentes niveles.

Durante la realización del inventario, se presentó una restricción de ingreso por temas de seguridad y falta de accesibilidad en la mayoría de las labores subterráneas que se encuentran ubicadas al norte y oeste de cada nivel; en ese sentido, las actividades de campo se centraron en la recolección de muestras de agua para la caracterización hidroquímica. Se presenta un resumen de las principales características de las fuentes de agua subterránea colectadas por cada nivel ver Tabla 2, en el Anexo N°06 se presenta en detalle las fichas de campo.

### **Nivel 800**

Se recolectó cinco (5) muestras de agua en estación húmeda y cuatro (4) en estación seca, de las cuales, en la temporada húmeda; cuatro (4) corresponden a las rampas RP 1263, RP 8213, cámaras de bombas 4060 y 8012 y una (1) muestra de agua corresponde a la galería GA 8510. Durante la temporada seca dos (2) muestras corresponden a la rampa RP 8213 y cámara de bombeo CB 8012-1 y dos (2) muestras corresponden a las galerías GA 8510 y R/B 1263.

### **Nivel 1000**

Se recolectó una (1) muestra de agua recolectada en la cámara de bombas 4 060, presentando un valor de pH de 6.28 en la estación húmeda y 6.9 en la estación seca, la conductividad eléctrica presenta un valor de 1 644  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estación Húmeda) y 1 561  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estación seca), la temperatura tiene un valor de 11.8°C (estación húmeda) y 14.03°C (estación seca). No fue posible medir el caudal en la primera etapa de muestreo, pero en la estación seca se registró 40 l/s.

### **Nivel 1200**

Se recolectó cuatro (4) muestras de agua en la estación húmeda y tres (3) muestras en estación seca, de las cuales, durante la estación húmeda se recolecto tres (3) muestras de agua neutra en el subnivel SN 12142-SE y bypass BP 12010-SE y dos (2) muestras de agua ácida en la poza de bombeo 12235 y rampa RP 12010 y; en temporada seca dos (2) de aguas ácidas en la poza de bombeo 12235 y bypass BP 12010-SE y una (1) muestra de agua neutra en el subnivel SN 12142-SE. Se ha identificado una filtración de agua neutra en el subnivel SN 14176-SE, del cual no se ha recolectado muestra de agua; sin embargo, su caudal estimado es 0.02 l/s, pH de 6.2, conductividad eléctrica de 2 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y temperatura de 12.2 °C.

### **Nivel 1400**

Se recolectó cuatro (4) muestras de agua en la estación húmeda y cuatro (4) muestras en la estación seca, de las cuales, en la temporada húmeda; dos (2) de agua neutra en la galería GA 14890-E y subnivel SN 14176-SE y dos (2) muestras de agua ácida en la galería GA 14572-NE y galería GA 1422. Durante la temporada seca fueron recolectadas, tres (3) de agua neutra en la galería GA 14890-E, en la galería GA 14572- NE y subnivel SN 14176-SE y una (1) muestras de agua ácida y galería GA 1422.

- Los valores de pH se encuentran entre 2.17 - 6.83 (estación húmeda) y entre 3.43 - 7.09 (estación seca).
- La conductividad eléctrica presenta valores entre 1 827  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 14550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estación húmeda) y entre 1674  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 2152  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estación seca).
- Su temperatura se encuentra a 12 °C para agua neutra y entre 11.1 °C y 15.7 °C para agua ácida (estación húmeda). En temporada seca se registra

temperaturas entre 11.1 °C -15.7 °C (estación húmeda) 13 °C y 14.1 °C para agua neutra y 13.78 °C para agua ácida.

### Nivel 1600

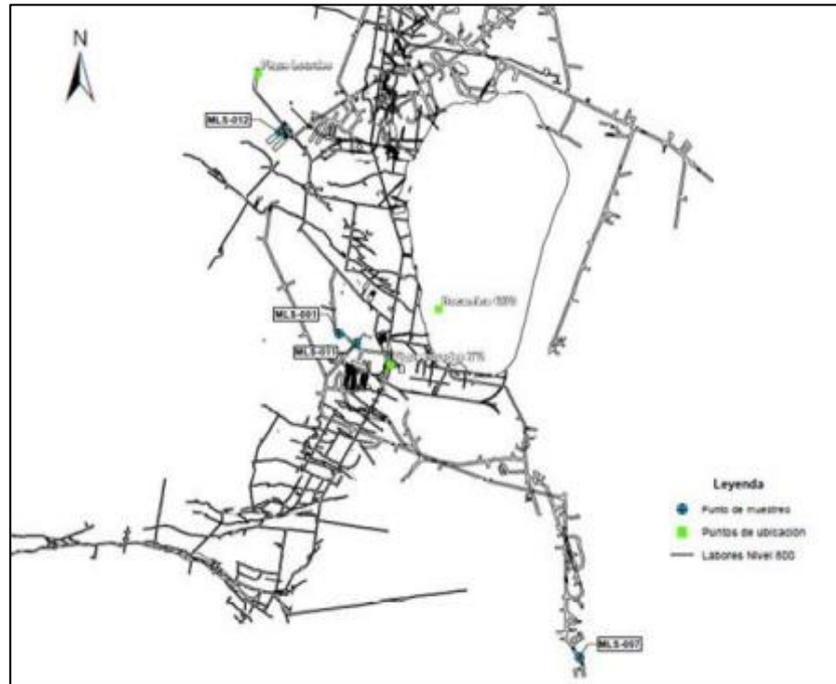
Se recolectó dos (2) muestras de agua en estación húmeda y dos (2) muestras de agua en estación seca, de las cuales, en la temporada húmeda; fueron recolectadas, una muestra de agua en la cámara de bombeo CB 1640-1 y una (1) muestra de agua en la rampa RP 16865. Durante la temporada seca fueron recolectadas, una (1) de agua en la cámara de bombeo CB 1640-1 y una (1) muestra de agua en la rampa RP 16865.

Los detalles de los parámetros fisicoquímicos del agua medidos en los diferentes niveles se detallan en la Tabla 2. Las ubicaciones de las muestras de agua recolectadas en cámaras de bombeo y canales se muestran en las Figuras 21 a la Figura 25.

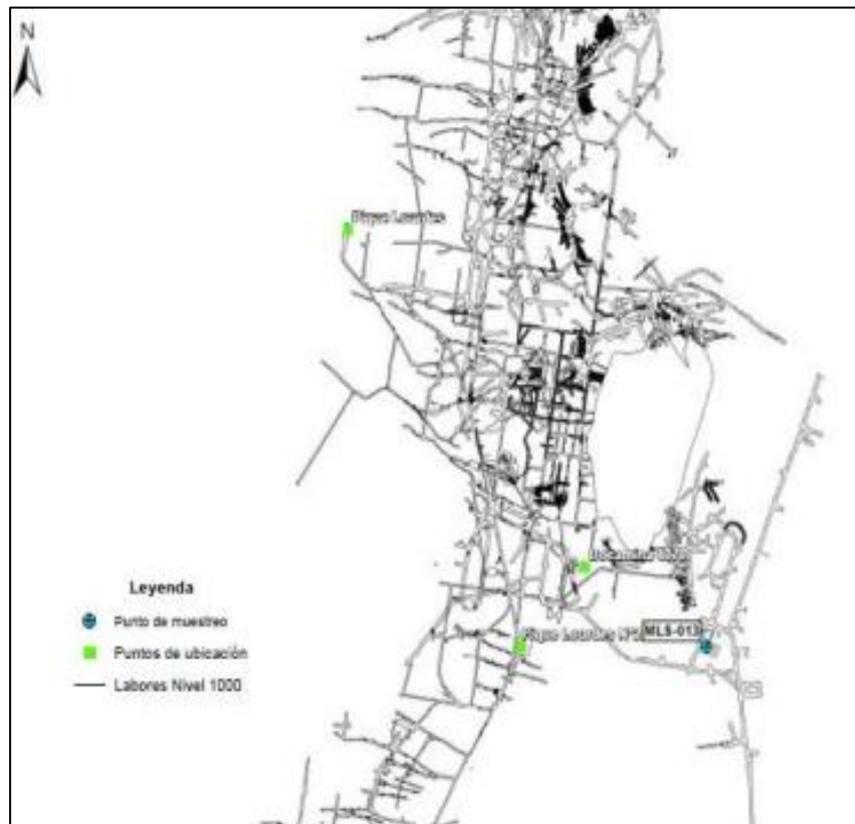
**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de campo en labores subterráneas.**

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S	Estación	Fecha	Caudal (L/s)	Conductividad Eléctrica - CE (uS/cm)	Potencial de Hidrógeno pH	Temperatura (°C)	Total de Sólidos Disueltos - TDS (ppm)	Potencial Redox - ORP (mV)	Oxígeno Disuelto - OD (mg/L)	Alcalinidad total (mg/L CaCO3)	Nivel de Mina	Tipo de Agua según su pH	Ubicación	Fuente / Infraestructura	
MLS-001	361931	8819173	Estación Seca	29/07/2022	---	4484	4.52	12.78	2244.00	252.70	3.21	30.00	800	ácida	RIB 1263	Canal
MLS-001	361931	8819173	Estación Húmeda	5/03/2022	---	2055	6.48	11.90	1027.50	84.00	5.72	600.00	800	neutra	RIB 1263	Canal
MLS-007	362432	8818497	Estación Seca	3/08/2022	---	1533	7.17	12.70	765.00	246.70	2.96	525.00	800	neutra	RP 8213	Canal
MLS-007	362432	8818497	Estación Húmeda	12/03/2022	---	1586	6.41	11.10	793.00	62.00	4.91	51.00	800	neutra	RP 8213	Canal
MLS-008	362324	8819109	Estación Húmeda	12/03/2022	---	1593	6.36	11.90	796.50	129.00	231.00	417.00	800	neutra	Bombas 4060. Nv 800	Cámara de Bombeo
MLS-011	361966	8819151	Estación Seca	28/07/2022	---	18020	2.17	12.17	8790.00	454.10	0.23	---	800	ácida	GA 8510	Canal
MLS-011	361966	8819151	Estación Húmeda	9/04/2022	0.05	23900	1.80	13.00	11960.00	256.70	3.94	300.00	800	ácida	GA 8510	Canal
MLS-012	361807	8819592	Estación Seca	28/07/2022	40	1778	6.98	12.41	888.00	189.40	2.44	465.00	800	neutra	CB 8012-1	Cámara de Bombeo
MLS-012	361807	8819592	Estación Húmeda	9/04/2022	0.17	19250	6.35	13.70	9265.00	17.50	5.25	498.00	800	neutra	CB 8012-1	Cámara de Bombeo
MLS-013	362332	8819106	Estación Seca	31/07/2022	60	1561	6.90	14.03	781.00	272.70	2.94	465.00	1000	neutra	Bombas 4060. Nv 1000	Cámara de Bombeo
MLS-013	362332	8819106	Estación Húmeda	10/04/2022	---	1644	6.28	11.80	822.00	21.00	1.07	600.00	1000	neutra	Bombas 4060. Nv 1000	Cámara de Bombeo
MLS-005	361989	8819207	Estación Seca	30/07/2022	80	12410	1.98	13.99	6192.00	381.70	1.13	---	1200	ácida	Poza Bombeo 12235	Cámara de Bombeo
MLS-005	361989	8819207	Estación Húmeda	10/03/2022	---	15460	1.72	19.00	7730.00	178.00	5.34	---	1200	ácida	Poza Bombeo 12235	Cámara de Bombeo
MLS-009	362394	8819134	Estación Seca	31/07/2022	4.2	1561	6.90	14.03	781.00	272.70	2.24	465.00	1200	neutra	SN 12142-SE	Canal
MLS-009	362394	8819134	Estación Húmeda	23/03/2022	1470.59	2410	6.71	11.80	800.00	60.00	4.33	---	1200	neutra	SN 12142-SE	Filtración
MLS-009A	362381	8819185	Estación Húmeda	20/03/2022	0.02	2250	6.20	12.20	902.00	228.00	3.71	---	1200	neutra	SN 14176-SE	Canal
MLS-010	362370	8819329	Estación Seca	31/07/2022	6.3	2005	1.01	14.41	1003.00	269.10	1.94	540.00	1200	ácida	BP 12010-SE	Canal
MLS-010	362370	8819329	Estación Húmeda	23/03/2022	---	1857	10.40	10.40	928.50	49.00	5.84	---	1200	neutra	BP 12010-SE	Canal
MLS-016	362324	8819562	Estación Húmeda	11/04/2022	0.65	15920	3.13	14.00	7960.00	188.10	6.28	300.00	1200	ácida	RP 12010	Canal
MLS-002	362249	8819575	Estación Seca	30/07/2022	40	1674	6.93	14.10	837.00	173.50	1.90	390.00	1400	neutra	GA 14890-E	Canal
MLS-002	362249	8819575	Estación Húmeda	5/03/2022	---	14550	6.83	12.00	7280.00	97.00	6.20	570.00	1400	neutra	GA 14890-E	Canal
MLS-003	362152	8819464	Estación Seca	2/08/2022	25.8	2152	7.09	13.00	1076.00	67.40	2.84	465.00	1400	neutra	GA-14752-NE	Canal
MLS-003	362152	8819464	Estación Húmeda	5/03/2022	---	13040	2.17	11.10	6520.00	424.00	1.61	---	1400	ácida	GA-14752-NE	Canal
MLS-004	362378	8819330	Estación Seca	2/08/2022	2.2	1951	7.04	14.00	975.00	306.20	3.31	480.00	1400	neutra	SN 14176-SE	Canal
MLS-004	362378	8819330	Estación Húmeda	5/03/2022	---	1827	6.83	12.00	913.50	97.00	6.20	495.00	1400	neutra	SN 14176-SE	Canal
MLS-014	361944	8819467	Estación Seca	30/07/2022	5	2383	3.43	13.78	1191.00	372.80	3.06	60.00	1400	ácida	GA 1422	Canal
MLS-014	361944	8819467	Estación Húmeda	10/04/2022	---	8830	2.49	15.70	4415.00	224.50	4.88	300.00	1400	ácida	GA 1422	Canal
MLS-006	361894	8819491	Estación Seca	29/07/2022	40	1948	7.43	12.58	955.00	196.20	2.63	525.00	1600	neutra	CB 1640-1	Cámara de Bombeo
MLS-006	361894	8819491	Estación Húmeda	10/03/2022	---	2029	6.26	13.30	1014.50	15.00	3.25	345.00	1600	neutra	CB 1640-1	Cámara de Bombeo
MLS-015	362033	8819568	Estación Seca	29/07/2022	0.54	27240	1.44	13.48	12.63ppm	358.30	1.14	---	1600	ácida	RP 16865	Canal
MLS-015	362033	8819568	Estación Húmeda	10/04/2022	0.4	3280	3.03	16.90	1640.00	196.40	5.57	300.00	1600	ácida	RP 16865	Canal

*Figura 21. Puntos de inventario y muestreo del nivel 800.*



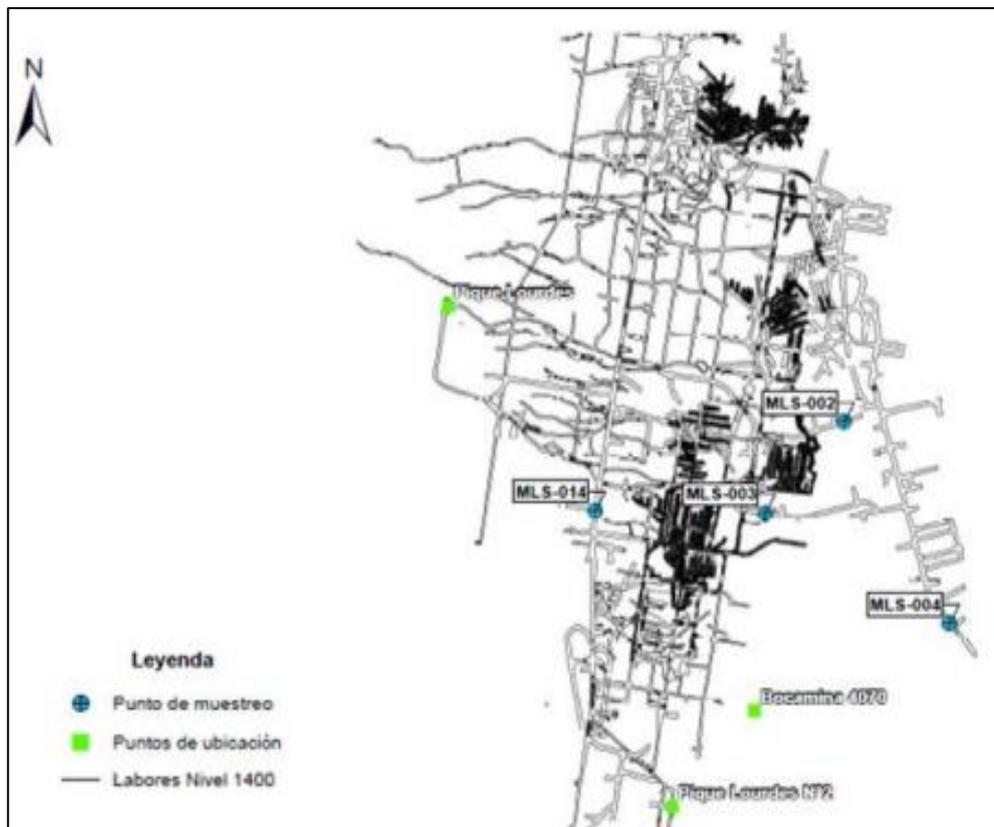
*Figura 22. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1000.*



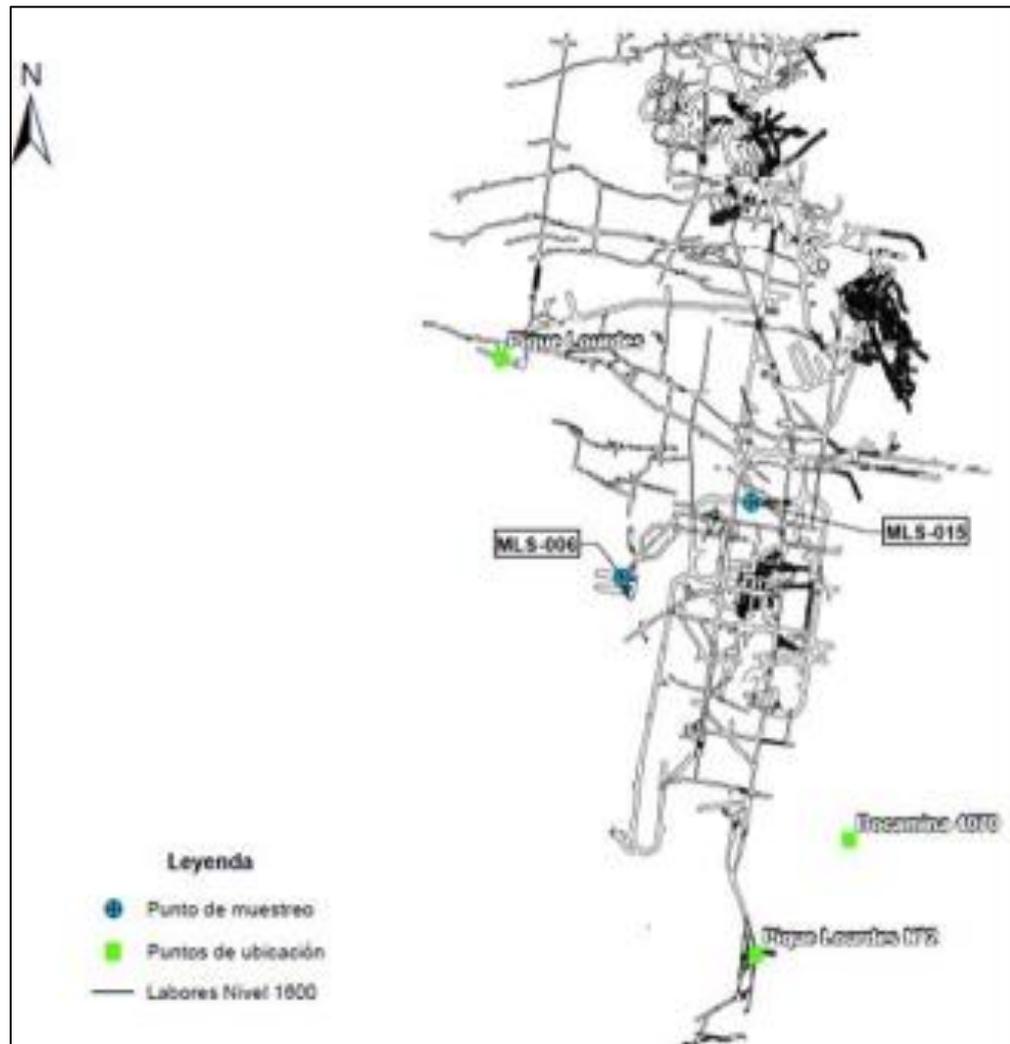
*Figura 23. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1200.*



*Figura 24. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1400.*



*Figura 25. Puntos de inventario y muestreo del nivel 1600.*



### **Muestreo de Fuentes de Agua**

Durante la campaña de estación húmeda se recolectaron un total de 65 muestras, 52 en fuentes de agua subterránea y 13 muestras de agua superficial; durante la campaña de estación seca se recolectaron 80 muestras de agua, de las cuales 68 muestras corresponden a fuentes de agua subterránea y 12 corresponden a muestras de agua superficial. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios ubicados en la ciudad de Lima. Los resultados y análisis de calidad de agua se presentan en la Tabla 3.

### **Estación Húmeda**

Las actividades de muestreo de fuentes de agua superficial y subterránea se realizaron entre el 13 de febrero al 17 de abril de 2022, corresponde a la temporada húmeda 2022. Los trabajos tuvieron el enfoque de realizar un muestreo y monitoreo de caudales, niveles de agua subterránea, desarrollo (limpieza) de piezómetros y medición de parámetros de calidad de agua superficial y subterránea de campo (pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos totales disueltos, alcalinidad total y oxígeno disuelto). Respecto al criterio para la toma de muestra de agua subterránea en piezómetros se definió retirando tres (3) veces el volumen de agua contenida en el piezómetro o al verificar que los parámetros fisicoquímicos no presentaban variación en su lectura en el rango de 3 % a 5 %, de esta manera se aseguró la representatividad de la muestra.

Durante la campaña de estación húmeda se recolectaron un total de 65 muestras de agua superficial y subterránea, una muestra corresponde a manantial, 51 muestras corresponden a piezómetros y 13 muestras corresponden a fuentes de agua superficial.

**Tabla 3. Muestras de agua superficial y subterránea, parámetros fisicoquímicos en estación húmeda 2022**

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Tipo de fuente	Profundidad de Piezómetro (m)	Diámetro Piezómetro (pulgadas)	Stick Up	Inclinación (°)	Fecha	Hora	Nivel De Agua	Potencial de Hidrógeno pH	Conductividad Eléctrica CE (µS/cm)	Temp (°C)	Potencial Redox ORP (mV)	Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)	Oxígeno Disuelto OD (mg/L)	Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
	Este	Norte	Elevación (msnm)															
AMP19-01	357451	8816549	4228	Piezómetro	24.15	2	0.3	-90	21/03/2022	07:50	Surgente	7.15	1254	10.8	37	627	1.2	180
AMP19-02	361859	8820539	4331	Piezómetro	25.2	2	0.75	-90	5/03/2022	08:55	11.29	6.49	4170	12	34	2085	1.82	330
AMP19-04	-	-	-	Piezómetro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMP19-05	361560	8819311	4295	Piezómetro	35.45	2	0.45	-90	16/03/2022	11:30	6.65	6.69	1449	12.1	-67	725	2.59	180
AMP19-07	360524	8818790	4295	Piezómetro	24.7	2	0.6	-90	13/03/2022	08:45	3.8	8	283	10.1	-42	142	0.72	159
AMP19-08	360966	8819109	4337	Piezómetro	69.95	2	0.61	-90	17/03/2022	08:20	39.53	6.33	10520	18.2	-100	5260	2.47	495
AMP19-09	361251	8818691	4315	Piezómetro	41.54	2	0.62	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMP19-12	364662	8816323	4374	Piezómetro	70.2	2	0.45	-90	20/03/2022	08:55	54.46	6.81	980	8.6	102	490		360
AMP19-13	363834	8815061	4359	Piezómetro	80.54	2	0.48	-90	18/03/2022	13:48	42.5	7.11	706	9.6	102	353	5.19	390
AMP19-14	362501	8815167	4366	Piezómetro	70.55	2	0.52	-90	18/03/2022	11:17	37.4	7.64	335	10.1	-121	168	1.02	405
AMP19-16	360537	8819400	4352	Piezómetro	50.1	2	0.48	-90	9/03/2022	14:33	45.96	3.09	29900	19.2	234	14950	0.62	780
AMP19-17	360526	8819096	4325	Piezómetro	27.87	2	0.59	-90	12/03/2022	13:30	20.25	1	40200	48.8	322	20100	0.24	-
AMP19-18	360144	8819108	4362	Piezómetro	40.96	2	0.46	-90	11/03/2022	08:10	1.4	7.21	283	9.9	-33	142	1.14	201
AMP19-20	362201	8815808	4383	Piezómetro	-	2	0.65	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMP19-21	362005	8816812	4357	Piezómetro	39.5	2	0.58	-90	20/03/2022	13:30	Surgente	7.28	377	10.1	43	189	-	210
AMP19-22	362137	8817920	4359	Piezómetro	69.97	2	0.67	-90	18/03/2022	07:35	17.93	7.83	1423	9.5	-34	712	2.6	219
AMP19-23	360056	8818960	4371	Piezómetro	41.92	2	0.53	-90	11/03/2022	10:05	11.02	8.28	344	8.9	-72	141	3.4	270
AMP19-24	360177	8819373	4377	Piezómetro	35.36	2	0.61	-90	12/03/2022	07:40	9.8	6.13	103	8.5	130	52	2.36	201
AMP19-25	360359	8818870	4338	Piezómetro	36.55	2	0.55	-90	10/03/2022	13:40	0.56	1	138800	37.4	436	69400	0.56	-
BH-12-02	358149	8817045	4262	Piezómetro	30.4	2	0.93	-90	21/03/2022	09:20	19.2	7.17	1832	11.8	-110	916	1.5	150
CAZ-CHAMP	361185	8817760	4285	Piezómetro	4	2	0.67	-90	13/04/2022	14:45	0.96	6.86	1269	9.6	68	635	2.7	555
DH-20H-01	359117	8819465	4278	Piezómetro	80.58	2	0.99	-90	15/03/2022	13:12	2.93	8.73	2270	11.9	-70	1135	6.03	900
DH-20H-02	359356	8818071	4298	Piezómetro	78.1	2	1.1	-90	15/03/2022	12:22	2.85	7.49	1388	11.1	-150	694	0.41	315
DH-20H-03	358176	8816830	4226	Piezómetro	79.35	2	0.97	-90	19/03/2022	08:35	9.55	9.3	2560	11.4	23	1280	-	225
DH-20H-04	357820	8819479	4281	Piezómetro	80.3	2	1.1	-90	14/03/2022	07:50	4.7	8.04	4190	11.2	53	2095	1.16	195
DH-20H-05	357661	8818180	4281	Piezómetro	81.1	2	1.26	-90	14/03/2022	14:05	7.77	7.29	3620	9	39	1810	6.03	183
P-04A	359467	8816508	4272	Piezómetro	44.66	2	0.19	-90	12/04/2022	11:30	3.28	7.11	1175	10.3	-86	588	0.86	405
P-04B	359467	8816508	4272	Piezómetro	10.7	2	0.19	-90	13/04/2022	07:55	3.3	6.94	2410	11.9	28	1205	0.96	375
P-08	361497	8818466	4327	Piezómetro	20.3	1	0.6	-90	7/03/2022	10:30	7.9	6.15	2900	12.3	-51	1450	2.09	150
P-15	360313	8817886	4279	Piezómetro	16.28	2	0.41	-90	16/04/2022	14:30	0.42	6.49	561	14.1	-4	281	6.34	165
P-18	359240	8816933	4257	Piezómetro	40.4	2	0.37	-90	14/04/2022	12:25	6.62	7.06	2450	11.2	42	1225	1.03	240
P-19	359359	8817090	4271	Piezómetro	60.06	2	0.55	-90	14/04/2022	09:30	17.41	5.89	5850	12	8	2925	1.55	255
PCS-08-01	359918	8818734	4371	Piezómetro	30.47	2	0.54	-90	12/03/2022	10:25	2.21	6.44	693	10.4	28	347	1.22	
PCS-08-03	360281	8818497	4308	Piezómetro	30.1	2	0.41	-90	16/03/2022	08:10	0.34	7.85	352	11.6	-16	176	2.91	255
PCS-08-04	360250	8818406	4331	Piezómetro	29.7	2	0.46	-90	13/03/2022	13:55	0.1	8.4	296	10	54	148	6.75	273
PM06-01	311809	8821594	4239	Piezómetro	-	2	0.94	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM06-04	361540	8819982	4323	Piezómetro	-	2	-	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM06-06	361007	8818964	4291	Piezómetro	10	2	1.02	-90	13/03/2022	10:30	3.85	2.2	16980	16.3	380	8490	3.52	-
PM06-07	360631	8819098	4300	Piezómetro	11.64	2	0.86	-90	10/03/2022	15:30	4.98	0.55	127000	20.6	385	63500	2.81	-
PM06-08A	360780	8818832	4294	Piezómetro	9.91	2	1.17	-90	16/04/2022	10:05	4.43	3.04	12730	11.9	346	6365	1.89	-
PM06-08B	360781	8818830	4294	Piezómetro	20.25	2	1.17	-90	16/04/2022	08:22	4.45	2.67	15820	12	352	7910	3.75	-
PZ RUMI 1	361800	8821492	4292	Piezómetro	50.5	2	0.51	-90	17/04/2022	07:41	22.2	6.36	7590	20.2	24	3795	1.47	165
PZ RUMI 2	361904	8821510	4259	Piezómetro	49.2	2	0.48	-90	7/03/2022	07:50	5.91	6.85	6320	11.4	142	3160	2.78	465
PZ RUMI-3	361491	8821075	4380	Piezómetro	75.95	2	0.33	-90	5/03/2022	12:10	49.09	6.63	4420	14.7	90	2210	2.92	360
PZ RUMI 5	361811	8820882	4397	Piezómetro	-	2	0.38	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pz-01-Ocoyoc	358080	8816918	4215	Piezómetro	30	2	0.43	-90	19/03/2022	13:35	2.54	7.16	1552	10.5	-172	776	-	165
PZ-01-PampaS	360449	8818763	4300	Piezómetro	-	2	-	-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PZ-BQ	360735	8817144	4291	Piezómetro	43.55	2	0.57	-90	13/04/2022	09:55	6.75	7.4	461	11.7	-92	231	1.06	192
PZ-HANA-01	360473	8819746	4402	Piezómetro	71.15	2	0.52	-90	10/03/2022	08:15	48.38	3.08	8720	18.2	249	4360	2.37	-
PZ-HANA-02	360725	8819682	4337	Piezómetro	39.7	2	0.89	-90	9/03/2022	08:25	12.12	3.47	33300	22.5	204	16650	0.48	-
SB-08	-	-	-	Piezómetro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MM3-026	359791	8822859	4321	Filtración	-	-	-	-	18/02/2022	09:00	-	7.92	346	9.7	201	172	3.5	195

### **Estación Seca**

Las actividades de muestreo de fuentes de agua superficial y subterránea que corresponde a la estación seca se realizaron entre el 14 de julio y 5 de septiembre de 2022.

Los trabajos tuvieron el enfoque de realizar un muestreo y monitoreo de caudales, niveles de agua subterránea, desarrollo (limpieza) de piezómetros y medición de parámetros de calidad de agua superficial y subterránea de campo (pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos totales disueltos, alcalinidad total y oxígeno disuelto) y obtener información para evaluar las características físicas y químicas de las fuentes de agua durante el período de menor precipitación. De manera similar al muestreo realizado en estación húmeda, el criterio para la toma de muestra de agua subterránea en piezómetros se definió retirando tres (3) veces el volumen de agua contenida en el piezómetro o al verificar que los parámetros fisicoquímicos no presentaban variación en su lectura en el rango de 3 % a 5 %, de esta manera se aseguró la representatividad de la muestra.

Durante la campaña de estación seca se recolectaron un total de 80 muestras de agua superficial y subterránea, de las cuales dos (2) corresponden a manantiales, 66 muestras corresponden a piezómetros y 12 muestras corresponden a fuentes de agua superficial. El resumen de las muestras de agua superficial y subterráneas y parámetros fisicoquímicos evaluados in-situ se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4. Muestras de agua superficial y subterránea, parámetros fisicoquímicos de campo en estación seca 2022**

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Tipo de fuente	Profundidad de Piezómetro (m)	Diámetro Piezómetro (pulgadas)	Stick Up	Inclinación (°)	Fecha	Hora	Nivel de Agua	Potencias de Hidrógeno pH	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	Temp (°C)	Potencial Redox ORP (mV)	Total de Sólidos Disueltos TDS (ppm)	Oxígeno Disuelto OD (mg/L)	Alcalinidad Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
	Este	Norte	Altitud (msnm)															
AMP19-01	357451	8816549	4228	Piezómetro	24.15	2	0.3	-90	20/07/2022	07:46:00	0.72	7.04	1271	9.6	239	636	2	240
AMP19-02	361859	8820539	4331	Piezómetro	25.2	2	0.75	-90	18/07/2022	07:07:00	11.86	6.62	4123	8.09	56	2060	1.78	300
AMP19-05	361560	8819311	4295	Piezómetro	35.45	2	0.45	-90	17/07/2022	14:02:00	6.73	6.71	2121	10.56	-78	10.76	2.1	1.71
AMP19-07	360524	8818790	4295	Piezómetro	24.7	2	0.6	-90	22/07/2022	11:03:00	3.41	8.05	421	10.9	-175	211	1.7	156
AMP19-08	360966	8819109	4337	Piezómetro	69.95	2	0.61	-90	21/07/2022	08:20:00	40.48	5.82	12950	19.6	-75	6440	2.32	310
AMP19-13	363834	8815061	4359	Piezómetro	80.54	2	0.48	-90	17/07/2022	09:32:00	66.78	7.17	701	7.84	262	355	3.5	330
AMP19-12	364662	8816323	4374	Piezómetro	70.2	2	0.45	-90	17/07/2022	07:48:00	67.58	-	-	-	-	-	-	-
AMP19-14	362501	8815167	4366	Piezómetro	70.55	2	0.52	-90	16/07/2022	09:25:00	35.12	7.6	335	6.69	-82	166	1.5	400
AMP19-16	360537	8819400	4352	Piezómetro	50.1	2	0.48	-90	24/07/2022	10:30:00	46.04	3.09	44340	22.73	184	21600	0.84	800
AMP19-17	360526	8819096	4325	Piezómetro	27.87	2	0.59	-90	24/07/2022	14:20:00	20.36	1.55	59510	55	359	29600	0.2	No Presenta
AMP19-18	360144	8819108	4362	Piezómetro	40.96	2	0.46	-90	24/07/2022	07:50:00	2.18	7.41	400	9.2	-105	199	1.6	177
AMP19-21	362005	8816812	4357	Piezómetro	39.5	2	0.58	-90	20/07/2022	15:18:00	Surgente	7.6	466	11.4	184	233	4	201
AMP19-22	362137	8817920	4359	Piezómetro	69.97	2	0.67	-90	16/07/2022	13:10:00	18.54	7.77	1322	10.14	72	663	2.7	218
AMP19-23	360056	8818960	4371	Piezómetro	41.92	2	0.53	-90	26/07/2022	07:35:00	11.39	8.02	461	9.6	-75	230	1.9	201
AMP19-24	360177	8819373	4377	Piezómetro	35.36	2	0.61	-90	23/07/2022	14:29:00	11.78	6.59	155	9.4	63	78	2.6	66
BH-12-02	358149	8817045	4262	Piezómetro	30.4	2	0.93	-90	26/07/2022	13:38:00	21.03	7.2	2551	8.74	-105	1276	1.7	142
CAZ-CHAMP	361185	8817780	4285	Piezómetro	4	2	0.67	-90	18/07/2022	09:53:00	1.4	6.98	1307	6.48	123	654	3	550
DH-20H-01	359117	8819465	4278	Piezómetro	80.58	2	0.99	-90	28/07/2022	-	-	8.53	2720	10.2	-68	1360	4.3	1002
DH-20H-02	359356	8818071	4298	Piezómetro	78.1	2	1.1	-90	28/07/2022	11:19:00	3.43	7.7	1210	11	-111	605	-	30
DH-20H-03	358176	8816830	4226	Piezómetro	79.35	2	0.97	-90	20/07/2022	10:05:00	10.8	6.75	2047	9.29	263	1052	1	220
DH-20H-04	357620	8819479	4281	Piezómetro	80.3	2	1.1	-90	1/08/2022	14:45:00	5.09	8.4	7588	7.89	-121.9	3789	0.72	156
DH-20H-05	357661	8818180	4281	Piezómetro	81.1	2	1.26	-90	1/08/2022	16:45:00	11.97	7.79	2781	6.52	-106.9	1380	0.52	225
P-04A	359467	8816508	4272	Piezómetro	44.66	2	0.19	-90	19/07/2022	07:27:00	4.08	7.53	790	8.47	-82	381	0.94	380
P-04B	359467	8816508	4272	Piezómetro	10.7	2	0.19	-90	19/07/2022	08:29:00	4.18	6.88	2337	9.34	12	1162	2	300
AMP19-25	360359	8818870	4338	Piezómetro	36.55	2	0.55	-90	22/07/2022	13:49:00	13.51	-	-	-	-	-	-	-
P-08	361497	8818466	4327	Piezómetro	20.3	1	0.6	-90	18/07/2022	14:20:00	8.23	5.62	4648	12.57	78	2303	1.8	130
P-15	360313	8817886	4279	Piezómetro	16.28	2	0.41	-90	28/07/2022	14:13:00	1.42	7.6	622	13.5	-94	311	-	237
P-18	359240	8816933	4257	Piezómetro	40.4	2	0.37	-90	19/07/2022	14:30:00	6.96	7.2	2520	10.9	24	1260	1.33	230
P-19	359359	8817090	4271	Piezómetro	60.06	2	0.55	-90	19/07/2022	11:18:00	18.08	5.82	5649	14.7	41	2848	1.5	250
PCS-08-01	359918	8818734	4371	Piezómetro	30.47	2	0.54	-90	26/07/2022	10:00:00	3.62	6.59	1170	9.1	-43	585	2.1	147
PCS-08-03	360281	8818497	4308	Piezómetro	30.1	2	0.41	-90	25/07/2022	09:51:00	1.29	7.71	521	9.8	-41	259	3.1	290
PCS-08-04	360250	8818406	4331	Piezómetro	29.7	2	0.46	-90	25/07/2022	07:50:00	1.23	8.25	425	9.3	-55	213	6.3	243
PM06-06	361007	8818964	4291	Piezómetro	10	2	1.02	-90	22/07/2022	07:40:00	4.33	2.12	29520	14.4	377	14.9	1.4	No presenta
PM06-07	360631	8819098	4300	Piezómetro	11.64	2	0.86	-90	22/07/2022	09:15:00	4.68	0.21	200000	23.61	421	100.1	2.6	No presenta
PM06-08A	360780	8818832	4294	Piezómetro	9.91	2	1.17	-90	21/07/2022	14:46:00	3.7	4.43	7820	10.3	152	3947	1.83	36
PM06-08B	360781	8818830	4294	Piezómetro	20.25	2	1.17	-90	21/07/2022	12:06:00	0.94	6.75	14370	10.4	156	7230	3.51	39
PZ RUMI 1	361800	8821492	4292	Piezómetro	50.5	2	0.51	-90	15/07/2022	14:15:00	50.5	6.28	10410	10.46	206	5052	0.24	168
PZ RUMI 2	361904	8821510	4259	Piezómetro	49.2	2	0.48	-90	15/07/2022	12:30:00	49.2	6.53	6773	21.6	-27	3789	0.17	174
Pz-01-Ocoyoc	358080	8816918	4215	Piezómetro	30	2	0.43	-90	26/07/2022	11:40:00	3.55	7.44	1993	8.63	-129	998	No Presenta	174
PZ-BQ	360735	8817144	4291	Piezómetro	43.55	2	0.57	-90	18/07/2022	12:40:00	7.28	7.62	473	8.18	-55	237	1.02	183
PZ-HANA-01	360473	8819746	4402	Piezómetro	71.15	2	0.52	-90	23/07/2022	10:55:00	49.32	2.98	14370	25.7	312	7200	2.34	No presenta
PZ-HANA-02	360725	8819682	4337	Piezómetro	39.7	2	0.89	-90	23/07/2022	07:44:00	13.48	3.25	43950	27.7	216	21	0.45	No presenta
PZ-RUMI-3	361491	8821075	4380	Piezómetro	75.95	2	0.33	-90	29/07/2022	11:00:00	50.01	6.86	4500	15.1	160	2250	5.1	294
MM3-026	359791	8822859	4321	Filtración	-	-	-	-	21/07/2022	08:50:00	-	8	423	4.99	195	120	4.47	60

## **Pruebas Hidráulicas en Piezómetros Antiguos**

Se ha realizado pruebas hidráulicas en piezómetros antiguos en el entorno de la UM Cerro de Pasco, esta actividad se desarrolló al finalizar las actividades de desarrollo y muestreo de los piezómetros. El objetivo fue complementar las características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas, con especial énfasis en los piezómetros antiguos que contaban con diseño de instalación, según la base de datos proporcionada por Volcan.

Para generar el pulso necesario de aumento de carga hidráulica, se empleó una barra cilíndrica de PVC de una pulgada de diámetro por 2 o 3 metros de longitud (barra slug) y, el otro método, para el aumento de carga hidráulica, fue inyectar agua dentro del piezómetro, en aquellos que tenían el nivel de agua muy cerca del fondo o que mostraban fricción a la barra slug (entre 6 L y 18 L). Se registró la profundidad del nivel estático del agua y un sensor Levelogger de presión automático fue instalado algunos metros por debajo del nivel de agua registrado, con la finalidad de obtener mediciones continuas (cada segundo) de las variaciones de niveles de agua luego de la inyección de la barra slug o inyección de agua (Fotografía 1 a Fotografía 4).

Los detalles de los piezómetros considerados para la ejecución de pruebas slug, los detalles de diseño de instalación obtenidos de la base de datos proporcionada por Volcan y sus niveles de agua se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5. Resumen de pruebas hidráulicas y detalles constructivos de piezómetros.**

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S			Profundidad del piezómetro (mbs) <sup>1</sup>	Tramo de tubería ranurada		Profundidad de Nivel del Agua (mbs)	Profundidad del sensor (mbs)	Tipo de ensayo hidráulico		Diámetro de barra (pulgadas)
	Norte	Este	Elevación (msnm)		Desde (mbs)	Hasta (mbs)			Longitud de barra slug (m)	Inyección de agua (L)	
AMP19-02	361859	8820539	4331	24.45	10.00	24.45	10.50	19.25	2	-	1
AMP19-05	361560	8819311	4295	35.00	9.00	35.00	6.21	14.55	-	12	-
AMP19-07	360524	8818790	4295	24.10	7.50	24.10	2.36	8.40	2	-	1
AMP19-08	360966	8819109	4337	69.34	45.00	69.34	39.35	45.09	2	-	1
AMP19-12	364662	8816323	4374	69.75	45.00	69.75	65.60	68.05	2	18	1
AMP19-13	363834	8815061	4359	80.06	60.00	80.06	42.02	49.52	3	-	1
AMP19-14	362501	8815167	4366	70.03	39.50	70.03	36.79	44.48	3	-	1
AMP19-16	360537	8819400	4352	49.62	44.60	49.62	45.62	48.02	-	15	-
AMP19-17	360526	8819096	4325	27.28	18.60	27.28	19.76	25.41	2	-	1
AMP19-18	360144	8819108	4362	40.50	17.00	40.50	0.96	5.54	2	-	1
AMP19-22	362137	8817920	4359	69.30	38.00	69.30	22.75	29.33	2	-	1
AMP19-23	360056	8818960	4371	41.39	27.00	41.39	10.53	16.47	2	-	1
AMP19-24	360177	8819373	4377	34.75	2.40	34.75	9.14	15.39	3	-	1
AMP19-25	360359	8818870	4338	36.00	9.15	36.00	12.95	14.45	-	15	-
DH-20H-03	358176	8816830	4226	78.38	41.00	78.38	10.52	19.03	3	-	1
PM06-06	361007	8818964	4291	8.98	5.05	8.98	2.95	7.48	-	6	-
PM06-07	360631	8819098	4300	10.78	7.05	10.78	4.26	5.14	-	12	-
PM06-08A	360780	8818832	4294	8.74	5.00	8.74	3.27	8.33	2	-	1
PM06-08B	360781	8818830	4294	19.08	16.20	19.08	3.30	8.83	2	-	1

**Fotografía 1. Prueba slug en Piezómetro AMP19-02 (izquierda) y prueba slug en Piezómetro AMP19-07 (derecha)**



**Fotografía 2.** Prueba slug en Piezómetro AMP19-13 (izquierda) y prueba slug en Piezómetro AMP19-14 (derecha)



### **Caracterización hidrogeológica**

A continuación, se presenta el análisis de la información existente y la información obtenida a partir de las investigaciones hidrogeológicas de campo como soporte para la caracterización de las condiciones hidrogeológicas en el área de la UM Cerro de Pasco.

#### ***Parámetros Hidráulicos***

Durante la ejecución del programa de perforaciones hidrogeológicas se ha realizado pruebas hidráulicas para determinar la conductividad hidráulica en las distintas unidades litológicas a distintas profundidades. Las pruebas hidráulicas se ejecutaron en un total de 445 pruebas de conductividad hidráulicas. Con la finalidad de complementar el análisis hidráulico, en los piezómetros instalados por FloSolutions y en piezómetros existentes, se ejecutaron 124 ensayos de carga variable tipo Slug Test. Adicionalmente a las pruebas ejecutadas por Flosolutions se ha recibido información de 131 pruebas de conductividad hidráulicas efectuadas en perforaciones existentes en el entorno de la UM Cerro de Pasco.

En total, durante el programa de investigaciones de campo se ha ejecutado un total de 445 pruebas de conductividad hidráulica, de las cuales 138 corresponden a pruebas de carga hidrostática escalonada (Lugeon) y 183

corresponden a pruebas de carga constante y variable (Lefranc) y 124 corresponden a pruebas hidráulicas de carga variable (tipo slug test).

Según los valores de conductividad hidráulica obtenidos a distintas profundidades y en distintas unidades geológicas, han permitido complementar la definición y agrupación de unidades hidrogeológicas. En la Tabla 6 se presenta el resumen del total de las pruebas hidráulicas ejecutadas durante la campaña de investigaciones bajo supervisión de FloSolutions. En la Tabla 6 se presentan las pruebas hidráulicas diferenciadas por unidad hidrogeológica.

**Tabla 6.** Resumen de pruebas de conductividad hidráulica en perforaciones ejecutadas.

Unidad Hidrogeológica (UH)	Número de Pruebas Hidráulicas	Conductividad Hidráulica			
		Mínimo	Máximo	Media Geométrica	Media Aritmética
	(#)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
UH Depósitos No Consolidados	59	1.80E-09	5.76E-04	3.26E-06	4.05E-05
UH Roca Intemperizada	20	4.56E-09	3.13E-04	3.76E-06	3.16E-05
UH Pocobamba - Calera	18	1.00E-09	7.56E-06	6.49E-08	8.36E-07
UH Rocas Intrusivas	76	1.30E-09	2.36E-05	1.39E-07	2.21E-06
UH Pucará	237	8.82E-11	2.64E-05	2.20E-07	1.01E-06
UH Cabanillas	35	2.00E-10	2.81E-06	2.47E-08	2.67E-07

### Unidades Hidrogeológicas (UH)

En función de la caracterización geológica descrita en la Sección 6.3 y según la información y resultados colectados durante las investigaciones hidrogeológicas de campo, permitieron determinar las unidades de similares características hidrogeológicas, siendo identificadas en total ocho (8) unidades hidrogeológicas (UH):

- Unidad Hidrogeológica de Depósitos No Consolidados.
- Unidad Hidrogeológica de Rocas Intemperizadas.
- Unidad Hidrogeológica Pocobamba – Calera.
- Unidad Hidrogeológica Rocas Intrusivas.

- Unidad Hidrogeológica Goyllarisquizga.
- Unidad Hidrogeológica Pucará.
- Unidad Hidrogeológica Mitu.
- Unidad Hidrogeológica Cabanillas

La descripción de cada UH fue evaluada a partir de sus características litológicas y resultados de pruebas hidráulicas. Se incluyen resultados de pruebas de conductividad hidráulica realizadas en estudios anteriores. Con la finalidad de explicar mejor los resultados de conductividad hidráulica obtenidos, se utilizó una clasificación relativa, la cual está basada en Brassington (2007) y se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Conductividad hidráulica relativa (*Groundwater Manual. US Department - Bureau of Reclamation, 1977*)

Conductividad Hidráulica Relativa	Valor de Conductividad Hidráulica (m/s)
Muy Bajo	$< 10^{-9}$
Bajo	$10^{-9} - 10^{-7}$
Moderado	$10^{-7} - 10^{-4}$
Alto	$10^{-4} - 10^{-2}$
Muy Alto	$> 10^{-2}$

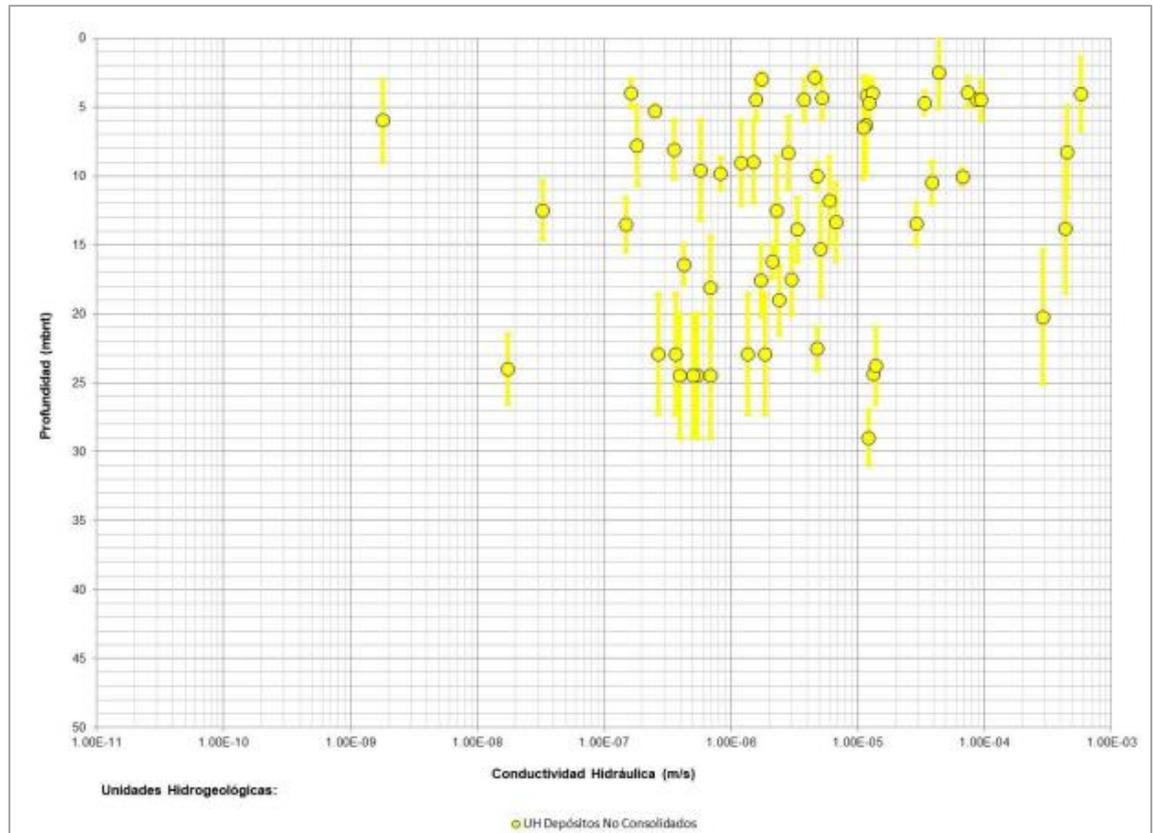
**Unidad Hidrogeológica (UH) de Depósitos No Consolidados**

Esta unidad está compuesta por depósitos no consolidados, litológicamente está compuesta por gravas arcillosas y limosas, presenta una conductividad hidráulica muy variable, con una media geométrica de  $3.3 \times 10^{-6}$  m/s. Los depósitos no consolidados corresponden a sedimentos Cuaternarios a Pliocuaternarios conformados por depósitos de morrenas, aluviales, coluviales y depósitos antrópicos.

Los valores de conductividad hidráulica calculados para los depósitos no consolidados, a partir de 59 pruebas tipo Lefranc de carga constante y variable, varían desde  $5.8 \times 10^{-4}$  m/s hasta  $1.8 \times 10^{-9}$  m/s (Figura 26), con una media

geométrica de  $3.3 \times 10^{-6}$  m/s y una media aritmética de  $4.1 \times 10^{-5}$  m/s. Según los resultados obtenidos se clasifica para esta unidad con una conductividad hidráulica moderada.

**Figura 26.** Conductividad hidráulica de la UH Depósitos No Consolidados



Respecto a los depósitos no consolidados presentan una variabilidad de los resultados los cuales corresponden a la heterogeneidad litológica de los estratos y tipos de depósitos; los cuales representan una conductividad hidráulica relativamente baja, para estratos de composición arcillosa y, una conductividad hidráulica moderada para estratos con predominancia de gravas. Estos depósitos sedimentarios no consolidados incluyen depósitos morrénicos, aluviales y depósitos coluviales en menor predominancia. Los depósitos morrénicos y aluviales cubren, de manera general, los fondos de las quebradas principales, los depósitos coluviales se sitúan en las laderas de los cerros y se encuentran

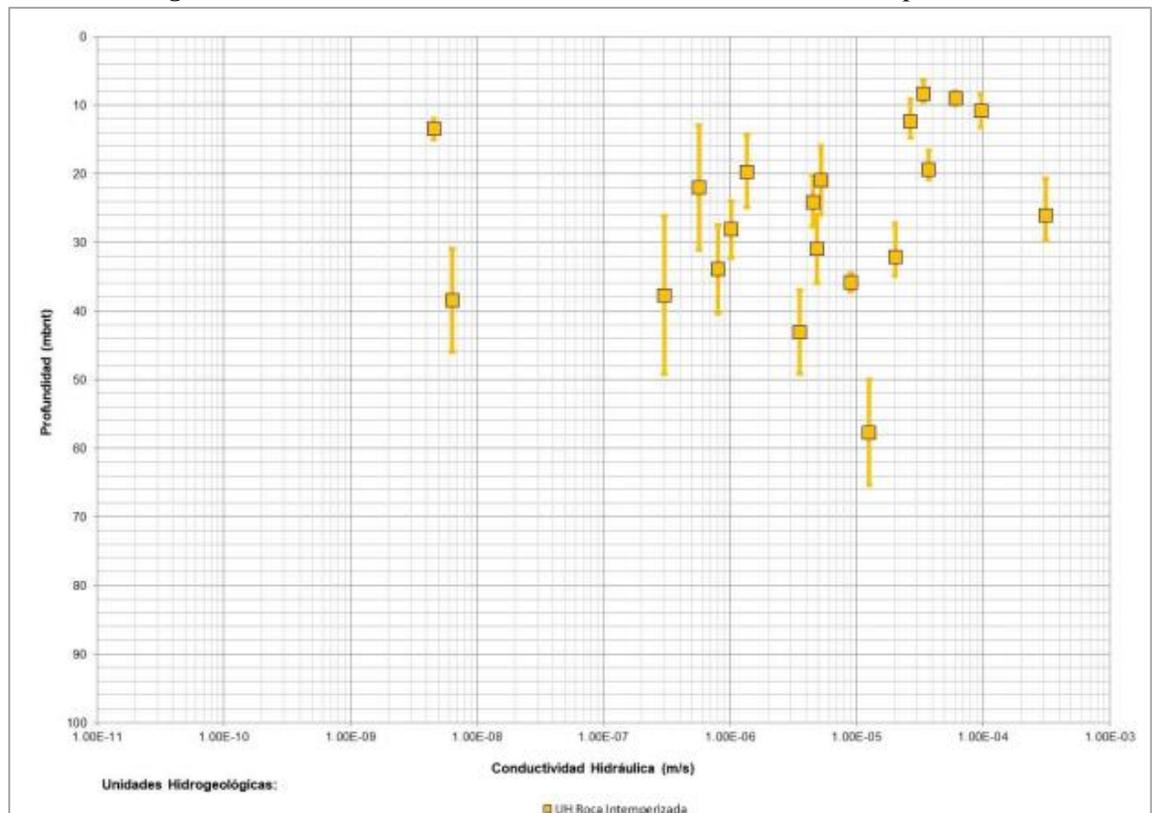
cubriendo el basamento rocoso. En el área de estudio hidrogeológico esta UH presenta una extensión lateral y vertical muy acotada.

### ***Unidad Hidrogeológica (UH) de Rocas Intemperizadas***

Esta unidad corresponde al tramo del basamento de roca superficial que presenta intemperismo, el cual muestra un intenso fracturamiento y oxidación supérgena, como consecuencia de la exposición atmosférica del basamento de roca. Esta unidad se ha definido mediante el logueo litológico, considerando el grado de intemperización, frecuencia de fracturas, RQD y profundidad. Por lo general, este tramo intemperizado se encuentra con espesores menores a 50 m desde superficie o bajo el contacto con los depósitos no consolidados.

Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde  $3.1 \times 10^{-4}$  m/s a  $4.6 \times 10^{-9}$  m/s, con una media geométrica de  $3.8 \times 10^{-6}$  m/s y una media aritmética de  $3.2 \times 10^{-5}$  m/s Figura 27. Según los valores obtenidos se ha clasificado a esta unidad como una unidad de conductividad hidráulica moderada.

***Figura 27. Conductividad hidráulica de la UH rocas intemperizadas***



Según los resultados de las pruebas de conductividad hidráulica en la UH de roca intemperizada indican que:

- No hay una diferencia de valores de conductividad hidráulica de la roca intemperizada entre las distintas unidades geológicas; por lo tanto, se considera hidráulicamente como una sola unidad hidrogeológica.
- No hay una tendencia aparente que puede observarse en la conductividad hidráulica calculada a partir de las pruebas ejecutadas en esta unidad, la cual no muestra una disminución en relación con la profundidad, indicando que el grado de fracturación es el parámetro principal que condiciona la conductividad hidráulica.
- Los valores más bajos de conductividad hidráulica ( $4.6 \times 10^{-9}$  m/s y  $6.4 \times 10^{-9}$  m/s) se encuentran en las perforaciones FS22-CV14 y FS22-PZ20, representan tramos con una baja frecuencia de fracturas y matriz de granulometría fina. • La conductividad hidráulica de esta unidad está condicionada directamente al grado de fracturamiento e intemperismo.

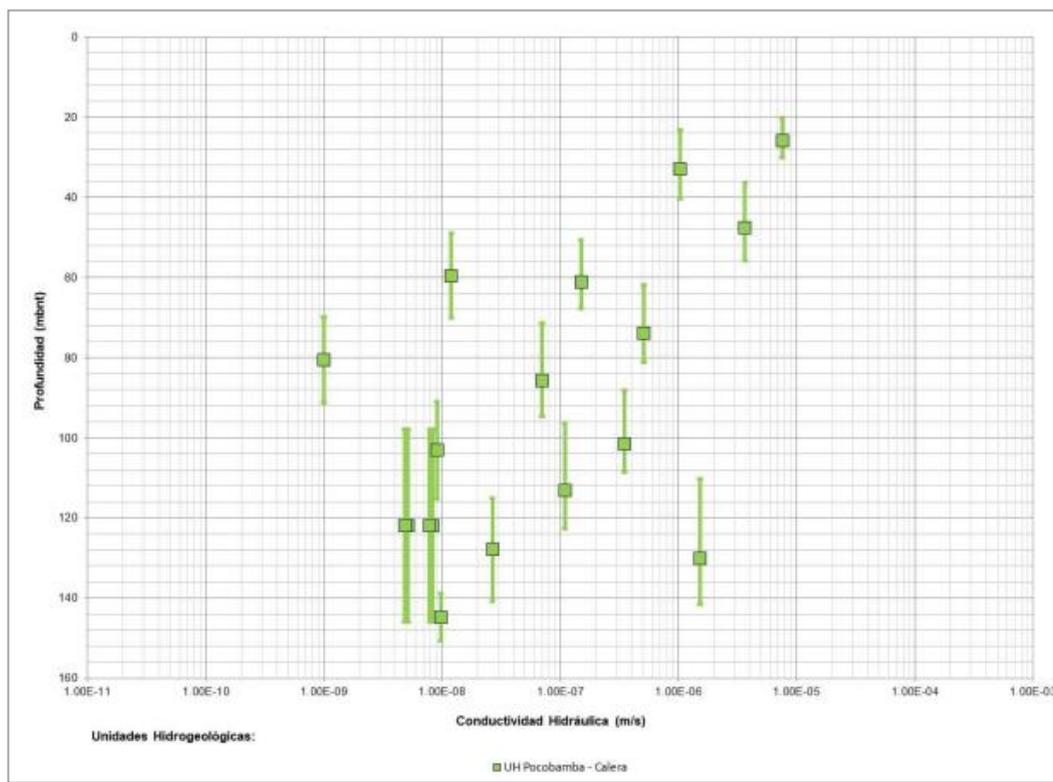
#### ***Unidad Hidrogeológica (UH) Pocobamba – Calera***

Esta unidad lo conforman las unidades geológicas del Terciario inferior como las formaciones Pocobamba y Calera, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de origen continental como conglomerados, areniscas y algunos niveles de limolitas. Esta unidad se ha definido mediante los mapeos geológicos y el logueo litológico.

Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde  $7.6 \times 10^{-6}$  m/s a  $1 \times 10^{-9}$  m/s, con una media geométrica de  $6.5 \times 10^{-8}$  m/s y una media aritmética de  $8.7 \times 10^{-7}$  m/s Figura 28. Según los

valores obtenidos se ha clasificado a esta unidad como una unidad de conductividad hidráulica baja.

**Figura 28.** Conductividad hidráulica de la UH Pocobamba – Calera



la UH Pocobamba – Calera se presenta lo siguiente:

- Los valores obtenidos que corresponden a las pruebas ejecutadas en la perforación FS22-PZ-08, presentan un grado de fracturamiento de roca bajo, con un RQD mayor a 95 %, y una matriz compuesta por arcilla y limo; por lo cual, la conductividad hidráulica es baja.
- Se observa una disminución de la fracturación con respecto a la profundidad y, como consecuencia, una tendencia a la disminución en la conductividad hidráulica respecto a la profundidad.

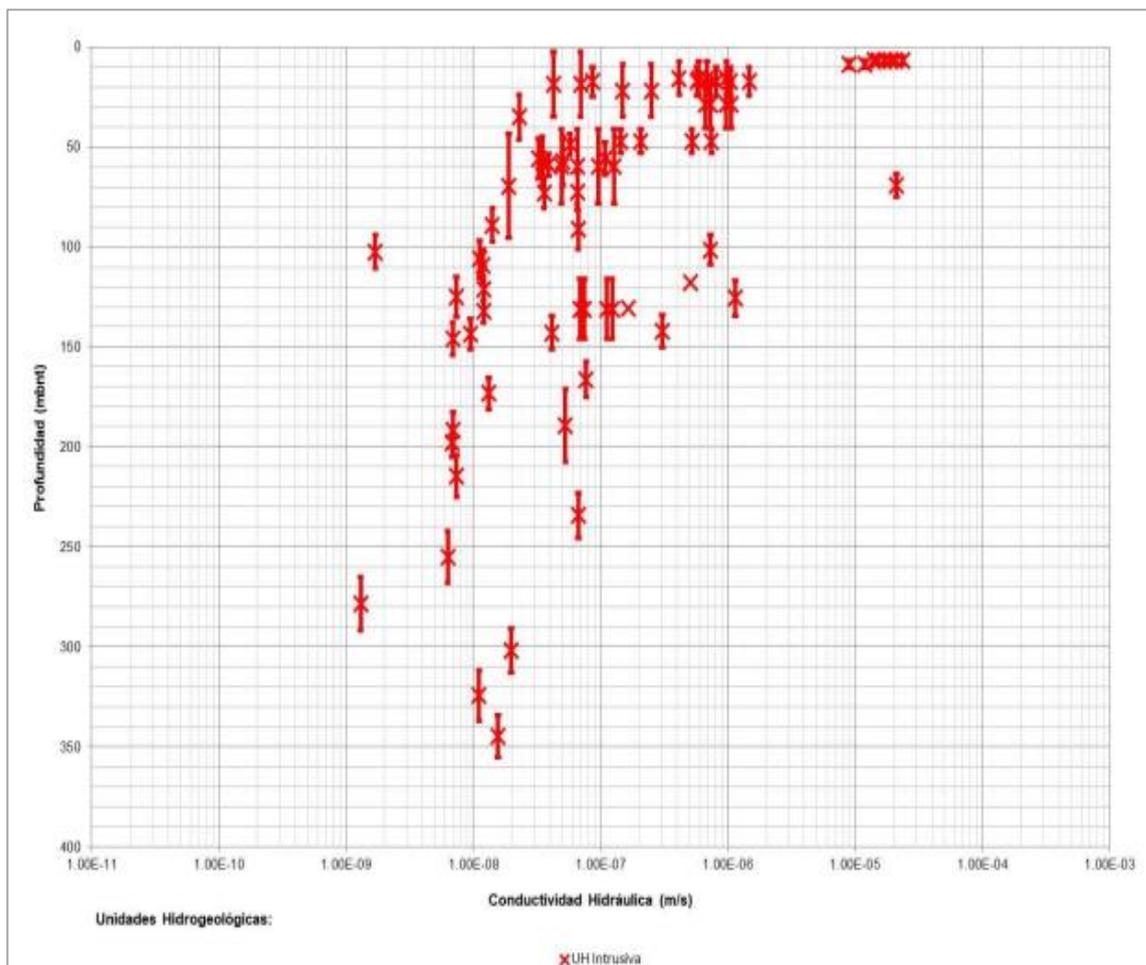
#### ***Unidad Hidrogeológica (UH) Rocas Intrusivas***

Esta unidad corresponde al basamento de roca intrusiva que no presenta intemperismo o, que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con

respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. Litológicamente esta unidad es de composición dacítica y andesítica y están representadas por la diatrema de Cerro de Pasco, aglomerado Rumiallana y pórfidos dacíticos.

Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde  $2.4 \times 10^{-6}$  m/s a  $1.3 \times 10^{-9}$  m/s, con una media geométrica de  $1.4 \times 10^{-7}$  m/s y una media aritmética de  $2.2 \times 10^{-6}$  m/s. Según los valores obtenidos se ha clasificado a esta unidad como una unidad de conductividad hidráulica moderada a baja.

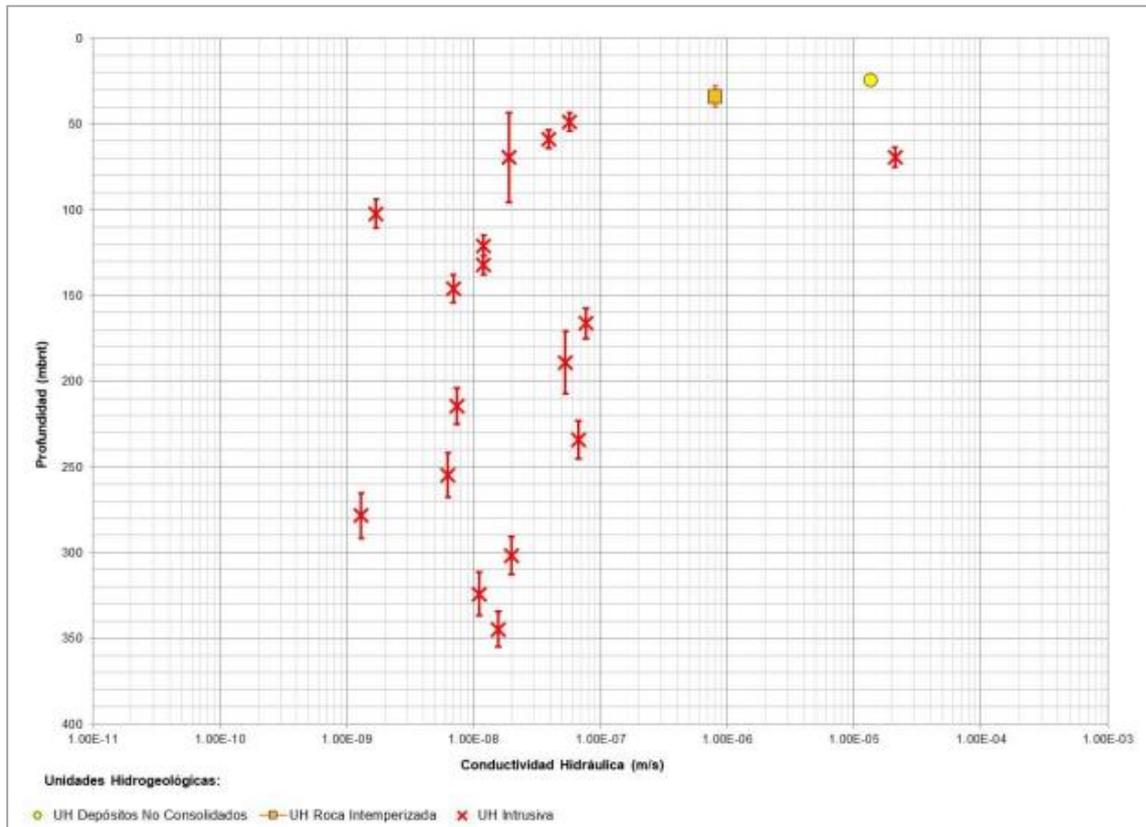
**Figura 29.** Conductividad hidráulica de la UH rocas intrusivas



De acuerdo a los resultados de las pruebas de conductividad hidráulica en la UH rocas intrusivas se presenta lo siguiente:

- Para los ensayos correspondientes a profundidades de hasta 100 m, se obtuvo un valor de conductividad hidráulica de  $3.9 \times 10^{-7}$  m/s como media geométrica y  $3.3 \times 10^{-6}$  m/s como media aritmética.
- Para los ensayos ejecutados entre 100 m y 200 m de profundidad, se obtuvo un valor de conductividad hidráulica de  $3.8 \times 10^{-8}$  m/s como media geométrica y  $1.5 \times 10^{-7}$  m/s como media aritmética.
- Los ensayos correspondientes a profundidades mayores a 200 m, presenta un valor de conductividad hidráulica de  $1.1 \times 10^{-8}$  m/s como media geométrica y  $1.8 \times 10^{-8}$  m/s como media aritmética.
- Según la figura 25, de manera general, se observa una tendencia a la disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad.
- Un número de ensayos ejecutados en esta unidad corresponden a la perforación FS22-CV01 la figura 30, la cual se ubica cerca de la pared oeste del tajo Raúl Rojas; por consiguiente, la roca a profundidad se encuentra con una alteración respecto a su grado de fracturamiento, como consecuencia de los trabajos extractivos de las actividades mineras ; en ese sentido, se presentan algunos valores con conductividades hidráulicas moderadas a profundidades mayores a 300 m, lo cual evidencia la alteración del grado de fracturamiento a profundidad en los sectores cercanos al tajo.

**Figura 30.** Conductividad hidráulica de la UH rocas intrusivas en la perforación FS22-CV01



### ***Unidad Hidrogeológica (UH) Goyllarisquizga***

Esta unidad lo conforman las unidades geológicas que conforman el Grupo Goyllarisquizga como las formaciones Santa-Carhuaz y Farrat, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de areniscas y lutitas, con algunos niveles calcáreos. En las perforaciones no se ha interceptado esta unidad; sin embargo, su exposición superficial se encuentra restringida en la margen izquierda de la confluencia del río San Juan y el río Ragre. Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad, en otros estudios se le asigna un valor de  $1 \times 10^{-7}$  m/s. 7.2.6.

### ***Unidad Hidrogeológica (UH) Pucará***

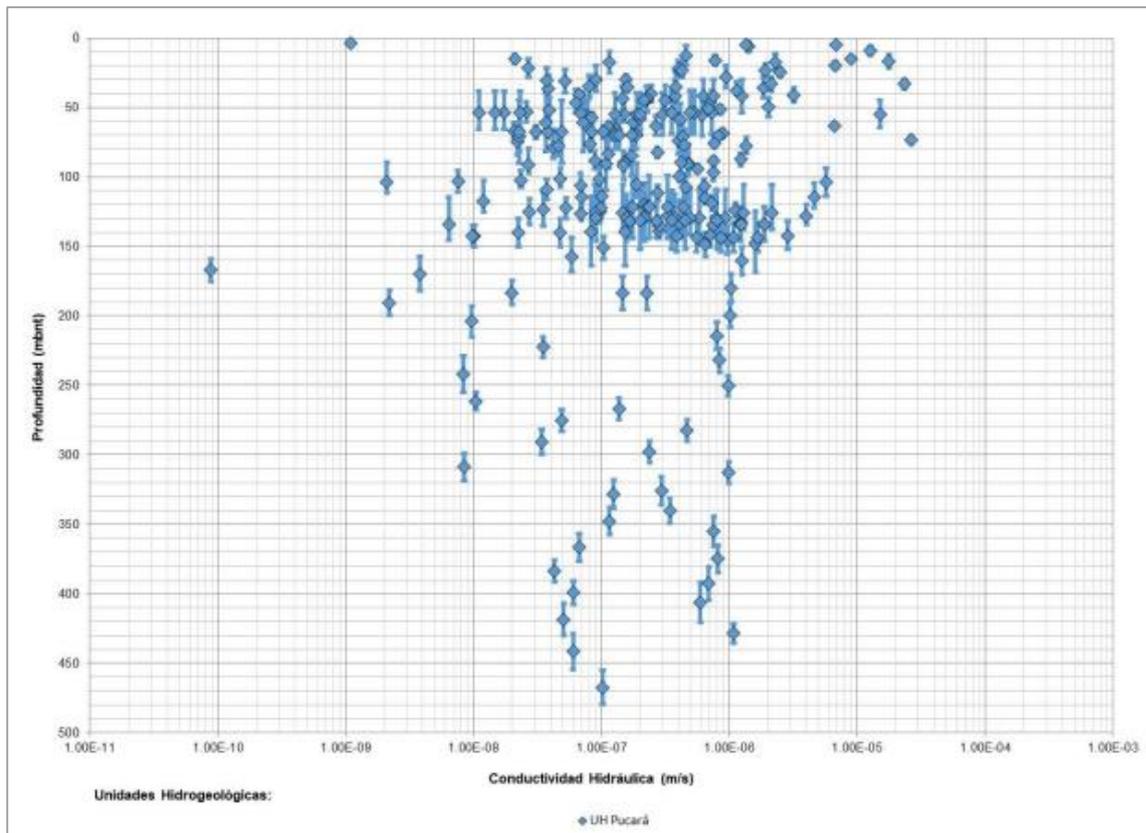
Esta unidad lo conforman las unidades geológicas calcáreas del Grupo Pucará litológicamente conformada por secuencias de calizas tipo wackestone y

mudstone, en su mayoría. Esta unidad se ha definido mediante los mapeos geológicos y el logueo litológico en perforaciones. Esta unidad comprende la UH de mayor extensión superficial del área de estudio, una característica de esta unidad es que, los afloramientos rocosos que corresponden a calizas de granulometría fina (lodolitas y lutitas calcáreas), desarrollaron suelos residuales limo-arcillosos cohesivos y suelos coluviales, los cuales reflejan el alto componente argílico de lodolitas y lutitas calcáreas. Los afloramientos rocosos que corresponden a calizas desarrollaron muy poco suelo residual, los cuales se disuelven fácilmente, dejando solo componentes menores de arcillas y sílices, asociados a la composición mineralógica secundaria de las calizas, de composición más carbonatada (calizas puras).

Esta UH está asociada a la formación de rasgos kársticos superficiales menores y de dimensiones reducidas, lo que evidencia una karstificación poco desarrollada; sin embargo, a escala regional, se presenta dos cuencas endorreicas que corresponden a la microcuenca de la ciudad de Cerro de Pasco y la microcuenca de la laguna Yanamate; en ese sentido, las superficies expuestas de esta unidad presentan una mayor infiltración por recarga directa de la precipitación.

De acuerdo a los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde  $2.6 \times 10^{-5}$  m/s a  $8.8 \times 10^{-11}$  m/s, con una media geométrica de  $2.2 \times 10^{-7}$  m/s y una media aritmética de  $1 \times 10^{-6}$  m/s Figura 31. Según los valores obtenidos se ha clasificado como una unidad de conductividad hidráulica moderada.

**Figura 31.** Conductividad hidráulica de la UH Pucará



De acuerdo con las pruebas de conductividad hidráulica en la UH Pucará se tienen los siguientes resultados:

- Para los ensayos correspondientes a profundidades menores a 100 m, se obtuvo un valor de conductividad hidráulica de  $2.6 \times 10^{-7}$  m/s como media geométrica y  $1.5 \times 10^{-6}$  m/s como media aritmética.
- Para los ensayos correspondientes a profundidades entre 100 m a 200 m, se obtuvo un valor de conductividad hidráulica de  $2 \times 10^{-7}$  m/s como media geométrica y  $6.2 \times 10^{-7}$  m/s como media aritmética.
- Los ensayos correspondientes a profundidades entre 200 m a 300 m, presenta un valor de conductividad hidráulica de  $9.4 \times 10^{-8}$  m/s como media geométrica y  $3 \times 10^{-7}$  m/s como media aritmética.

- Los ensayos correspondientes a profundidades mayores a 300 m, presenta un valor de conductividad hidráulica de  $1.8 \times 10^{-7}$  m/s como media geométrica y  $3.7 \times 10^{-7}$  m/s como media aritmética.
- Según la información obtenida esta unidad no presenta una disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad, presentando valores de conductividad hidráulica moderada incluso a profundidades mayores a 200 m.

#### ***Unidad hidrogeológica (UH) Mitu***

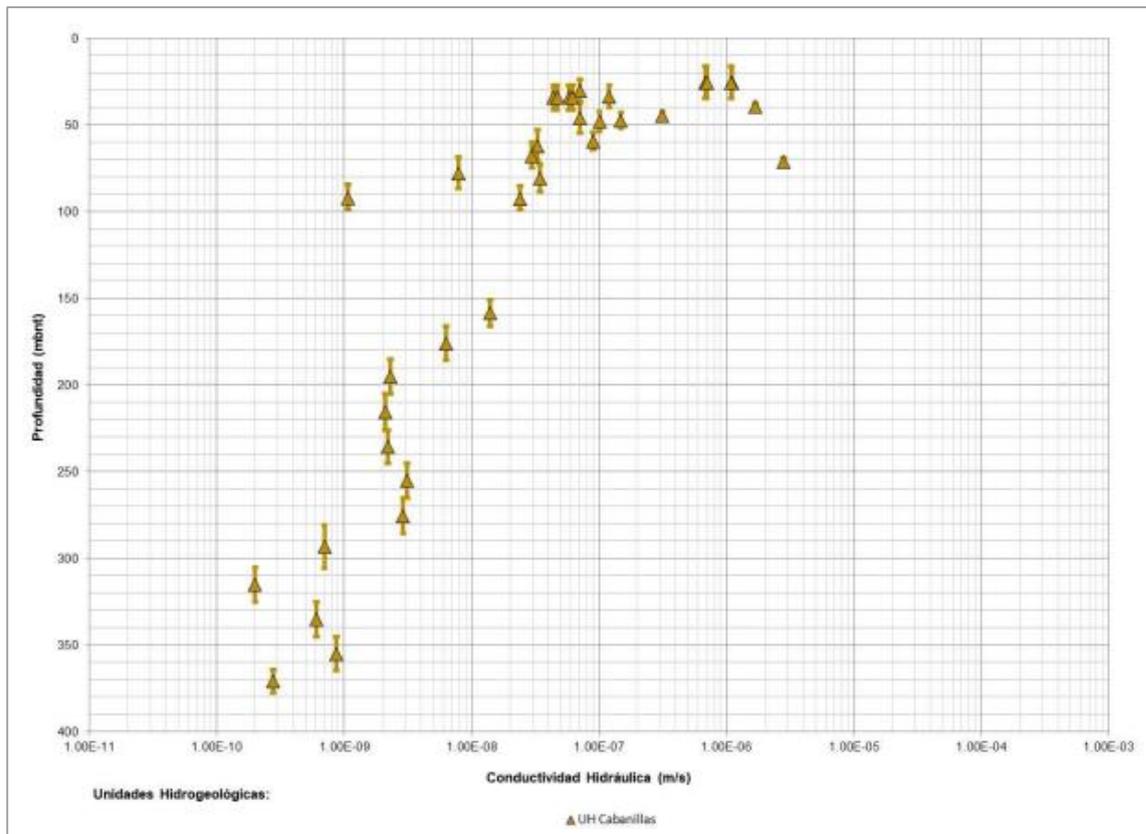
Esta unidad corresponde al basamento de roca volcano sedimentario que no presenta intemperismo, o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. En las perforaciones no se ha interceptado esta unidad. Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad geológica, en otros estudios se le asigna un valor referencial de  $3 \times 10^{-7}$  m/s.

#### ***Unidad Hidrogeológica (UH) Cabanillas***

Esta unidad corresponde al basamento de roca metamórfica compuesta por pizarras, esquistos y filitas que no presentan intemperismo o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. Esta unidad se ha definido mediante los mapeos geológicos y el logueo litológico en perforaciones.

Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde  $2.5 \times 10^{-8}$  m/s a  $2.7 \times 10^{-7}$  m/s, con una media geométrica de  $1.7 \times 10^{-8}$  m/s y una media aritmética de  $3.7 \times 10^{-8}$  m/s. Según los valores obtenidos se ha clasificado como una unidad de conductividad hidráulica baja a muy baja.

**Figura 32.** Conductividad hidráulica de la UH Cabanillas



Las pruebas de conductividad hidráulica en las rocas metamórficas de la UH Cabanillas se ha identificado en las perforaciones FS22-PZ04, FS22-PZ09 y FS22-CV14 y se presenta lo siguiente:

- Las pruebas fueron ejecutadas en la perforación FS22-PZ09 y se ubica en la quebrada Rumiallana, fuera de la influencia del tajo Raúl Rojas; en ese sentido, geológicamente, a profundidad no presenta rasgos estructurales característicos a profundidad. Por lo tanto, de manera general, se observa una tendencia a la disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad.
- El basamento de roca masiva, sin fracturas aparentes, presenta valores de conductividad hidráulica muy baja  $2 \times 10^{-10}$  m/s, lo cual es concordante para este tipo de rocas.

- Según los valores obtenidos se ha clasificado a esta unidad como una unidad de conductividad hidráulica baja; sin embargo, a profundidades mayores a 100 m, la clasificación de la conductividad hidráulica es muy baja, tal como se muestra en la Figura 32.

### **Niveles y Direcciones de Flujo de Agua Subterránea**

La precipitación es la principal fuente de agua que alimenta al sistema de agua subterránea en el área de la UM Cerro de Pasco. La precipitación típica es causada por el movimiento ascendente de las masas de aire húmedo que saturan el aire formando nubes, y eventualmente pierden altura y caen verticalmente al suelo. Este tipo de precipitación se mide directamente mediante pluviómetros. Las condiciones de la cobertura del suelo y los materiales subsuperficiales someros contribuyen directamente a la escorrentía, evapotranspiración e infiltración. La escorrentía total superficial está compuesta por varios componentes, basados en el tiempo de respuesta a la precipitación, estos incluyen el escurrimiento directo, el flujo subsuperficial y el flujo base. Debido a presentarse, pendientes moderadas a empinadas, contribuyen a una mayor escorrentía directa, debido al menor tiempo de tránsito en las laderas y pérdidas menores de retención del suelo. Sin embargo, existen áreas con drenajes superficiales internos (cuencas endorreicas), como son las microcuencas de las lagunas Yanamate y Patarcocha (Ciudad de Cerro de Pasco) estas microcuencas drenan internamente en su totalidad, toda la precipitación y la escorrentía asociada a estas microcuencas se pierde por los efectos combinados de la evaporación y la infiltración hacia el basamento de roca calcáreo subyacente; sin embargo, para la zona urbana de la ciudad de Cerro de Pasco la infiltración se ve afectada por el drenaje de la ciudad.

El agua subterránea fluye desde los altos topográficos que rodean las cuencas hidrográficas de la UM Cerro de Pasco, hacia las quebradas en los fondos de los valles. El agua subterránea se recarga en estos altos topográficos, tal como se observa en los gradientes hidráulicos descendentes debajo de estas cumbres Anexo N° 08. En el Anexo N°09 se presenta el mapa de isopropundidades de agua subterránea.

La información a partir de las mediciones de niveles de agua subterránea obtenidos en piezómetros instalados por FloSolutions a partir del 15 de junio de 2022 e información recopilada de piezómetros existentes en años anteriores, fueron procesados para determinar un entendimiento de las variaciones de niveles de agua subterránea y los mecanismos de flujo, importante a considerar en el entorno de las instalaciones mineras.

Los niveles de agua subterránea considerados se analizaron y calcularon a partir de mediciones directas mediante sondas eléctricas de nivel de agua (water level meter) y transductores de presión automáticos (Levelogger) en piezómetros de monitoreo de tubo abierto (Casagrande) en el entorno de la UM Cerro de Pasco; así también, se obtuvo información mediante sensores de presión de cuerda vibrante, instalados en perforaciones diamantinas en el entorno del tajo Raúl Rojas, principalmente.

Los datos obtenidos fueron graficados con el objetivo de identificar la profundidad, el régimen y direcciones del flujo de agua subterránea, así como la interacción entre agua superficial y subterránea, controles litológicos estructurales, respuestas ante recargas como la precipitación y su relación por el efecto del desaguado de las labores mineras subterráneas. Los datos de precipitación diaria corresponden a las estaciones meteorológicas Cerro de Pasco

y Marcapomacocha, los datos de niveles de agua subterránea fueron revisados visualmente, mediante gráficos (hidrogramas) en función del tiempo, elevación del nivel de agua (msnm) y precipitación diaria (mm), para determinar su representatividad.

De esta manera, se pudo identificar cambios abruptos de niveles o mediciones erróneas que no mostraban un comportamiento similar, como resultado probable de eventos como purgas y desarrollo de piezómetros de monitoreo durante campañas de monitoreo o pruebas hidráulicas en piezómetros cercanos. La información de niveles de agua subterránea para piezómetros de tubo abierto presenta registros desde el año 2008 hasta octubre de 2022 y, para piezómetros de cuerda vibrante se cuenta con información desde mayo de 2021 hasta octubre de 2022; es decir, se tienen registros de las épocas seca y húmeda, lo cual nos permite tener registros continuos de las variaciones de niveles de agua subterránea por estacionalidad.

Según los piezómetros instalados a distintas profundidades (somero y profundo), se observan diferencias en los niveles de agua subterránea; los niveles someros típicamente corresponden a las zonas más permeables, que reciben la recarga directa de las lluvias en forma rápida a través de los depósitos no consolidados y zonas intemperizadas del basamento rocoso; mientras que, el nivel profundo, en muchos casos, corresponde a un sistema semiconfinado o confinado del basamento rocoso, conformado por las unidades Cabanillas, Mítu, Pucará, Pocobamba, Goyllarisquizga y Rocas Intrusivas, donde la respuesta a las lluvias es más lenta y atenuada.

En la mayoría de los piezómetros de tubo abierto y piezómetros de cuerda vibrante fueron instalados a distintas profundidades (somero y profundo), se observaron diferencias importantes en los niveles de agua subterránea:

- Nivel de agua subterránea somera, que corresponde a las zonas superficiales más permeables, que recibe la recarga directa de las lluvias en forma rápida, estas zonas corresponden a depósitos no consolidados y zonas intemperizadas del basamento rocoso. Estos niveles se observan en la mayoría de los piezómetros Casagrande y en algunos sensores de cuerda vibrante instalados en profundidades menores a 50 m.
- Nivel de agua subterránea profunda, corresponde a un sistema semiconfinado o confinado del basamento rocoso, donde la respuesta a las lluvias es más lenta y atenuada o no presenta. En algunos sectores se puede observar respuestas similares en los piezómetros instalados en el basamento rocoso; sin embargo, con distintas elevaciones, indicando cierta conexión limitada con un gradiente hidráulico descendente.

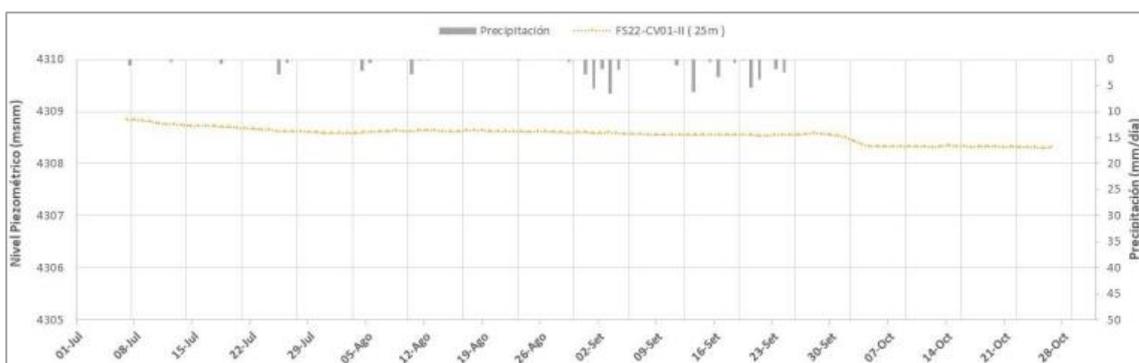
La figura 33 representa las variaciones de niveles de agua subterránea en el piezómetro de cuerda vibrante FS22-CV-01-II que corresponde al sistema somero, el cual muestra que no existen variaciones significativas y, que no están afectados por el efecto del drenaje de la mina subterránea; mientras que, la Figura 34 representan las variaciones de niveles de agua subterránea en el piezómetro de cuerda vibrante FS22-CV01-I, que corresponde al sistema profundo, el cual muestra un descenso continuo por el efecto de la mina subterránea.

La figura 35 y la figura 36 muestran las variaciones de niveles de agua subterránea en los piezómetros de tubo abierto tipo multinivel (dos piezómetros de tubo abierto instalados a distintas profundidades en una misma perforación),

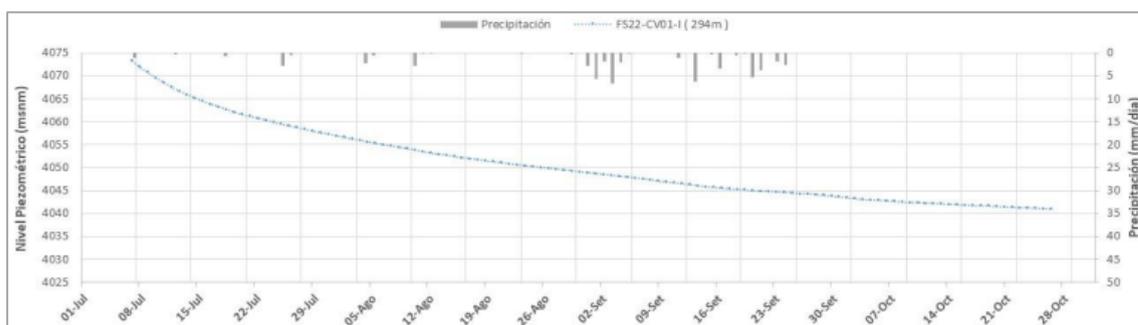
los piezómetros FS22- PZ-02-II y FS22-PZ-10-II corresponden a los niveles someros y los piezómetros FS22- PZ-02-I y FS22-PZ-10-I corresponden a los niveles profundos; en ambos se observan las variaciones de profundidad entre los niveles de agua someros y profundos.

En algunos sectores el nivel piezométrico profundo se observa con una elevación que lo sitúa por sobre el nivel de terreno o por encima del nivel somero (condición artésiana) que indica un gradiente hidráulico ascendente, indicando zonas de descargas de agua subterránea en superficie, como es el caso de los piezómetros AMP19-21, FS22-PZ04- I, FS22-PZ09-I y FA22-PZ11-I.

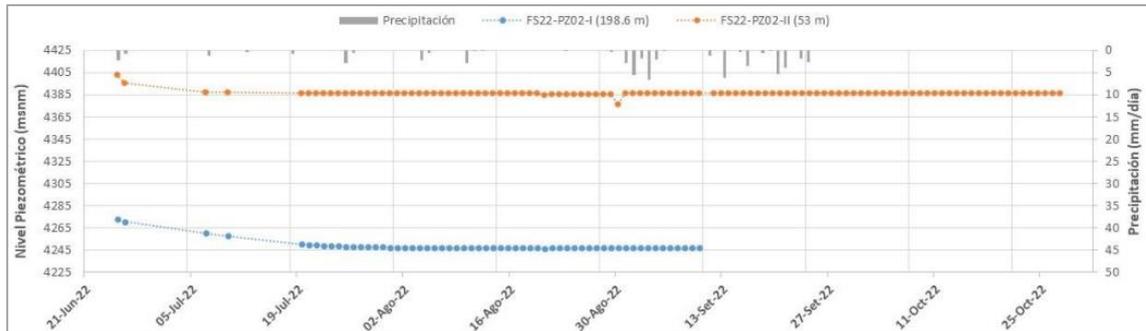
**Figura 33.** Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro FS22-CV01-II (sensor instalado a 25 m de profundidad)



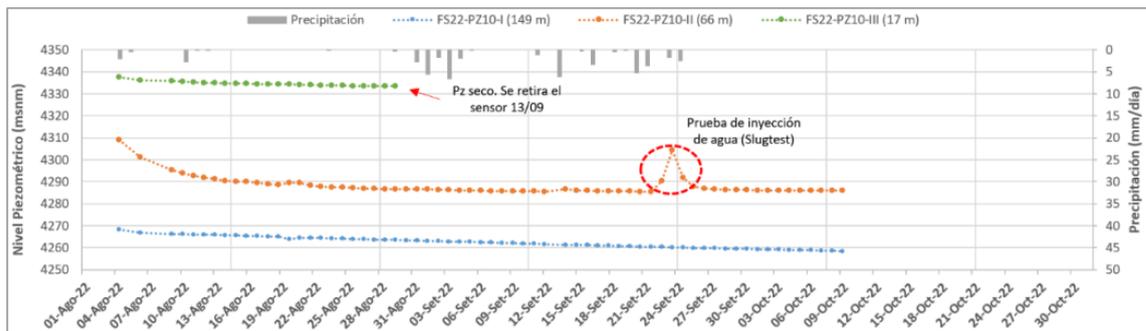
**Figura 34.** Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro FS22-CV01-I (sensor instalado a 294 m de profundidad)



**Figura 35.** Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro de tubo abierto FS22-PZ02



**Figura 36.** Registro de niveles de agua subterránea en el piezómetro de tubo abierto FS22-PZ10



Según los resultados obtenidos hasta octubre de 2022, se confirma la existencia de un sistema somero, que no está afectado por el desaguado de la mina subterránea en el entorno del tajo Raúl Rojas y con una respuesta inmediata a la recarga directa a partir de la precipitación y; un sistema profundo, con una respuesta atenuada ante la recarga por la precipitación y un descenso continuo por efecto del desaguado de la mina subterránea. Por lo tanto, se interpretan dos sistemas de flujos de agua subterránea.

- El primer sistema de agua subterránea somera lo conforman las zonas que corresponden a los depósitos no consolidados y basamento de rocas intemperizadas. El flujo se presenta en la base de esta zona, generalmente subparalelo al drenaje superficial con direcciones de flujos hacia los drenajes secundarios como las quebradas locales. Este sistema presenta una infiltración limitada hacia estratos más profundos, donde existan vías

permeables preferentes (fracturas, fallas) y pudieran recargar al sistema de flujo profundo, si los gradientes verticales son descendentes.

- En el entorno cercano al tajo Raúl Rojas las zonas saturadas del sistema somero estarían conectadas con las labores subterráneas más profundas; según información, se tienen registros de ingresos de agua (filtraciones) que ocurren en todos los niveles de labores mineras más superficiales desde el nivel 800 (4056 msnm) (nivel que corresponde a una zona no saturada por el efecto de desaguado de la mina).
- El segundo sistema de agua subterránea profunda lo conforma las zonas del basamento de roca a profundidad. El flujo presenta direcciones preferentes hacia los drenajes principales de las cuencas hidrográficas o en direcciones preferentes a través de zonas de fallas. Según la información en los piezómetros profundos instalados en el entorno del tajo Raúl Rojas, los niveles de agua subterránea se encuentran en descenso como consecuencia del drenaje de la mina subterránea, indicando un efecto directo del sistema profundo por el efecto del bombeo de las labores mineras subterráneas lo cual genera un cono de descenso.
- El cono de descenso generado en el sistema profundo presenta una elongación a lo largo de las labores subterráneas y a lo largo de la falla regional Cerro de Pasco. El cono de descenso presenta una gradiente más abrupta en el sector oeste del tajo y una gradiente más suave en el sector este; esto indica una diferencia de las propiedades hidráulicas del basamento de roca del entorno del tajo, esto debido a que, en el lado oeste del tajo lo conforma rocas intrusivas y metamórficas del Grupo Cabanillas con conductividades hidráulicas bajas; mientras que, hacia el lado este del tajo lo

conforman calizas del Grupo Pucará con conductividades hidráulicas moderadas.

### **Flujos de Agua en Labores Mineras Subterráneas**

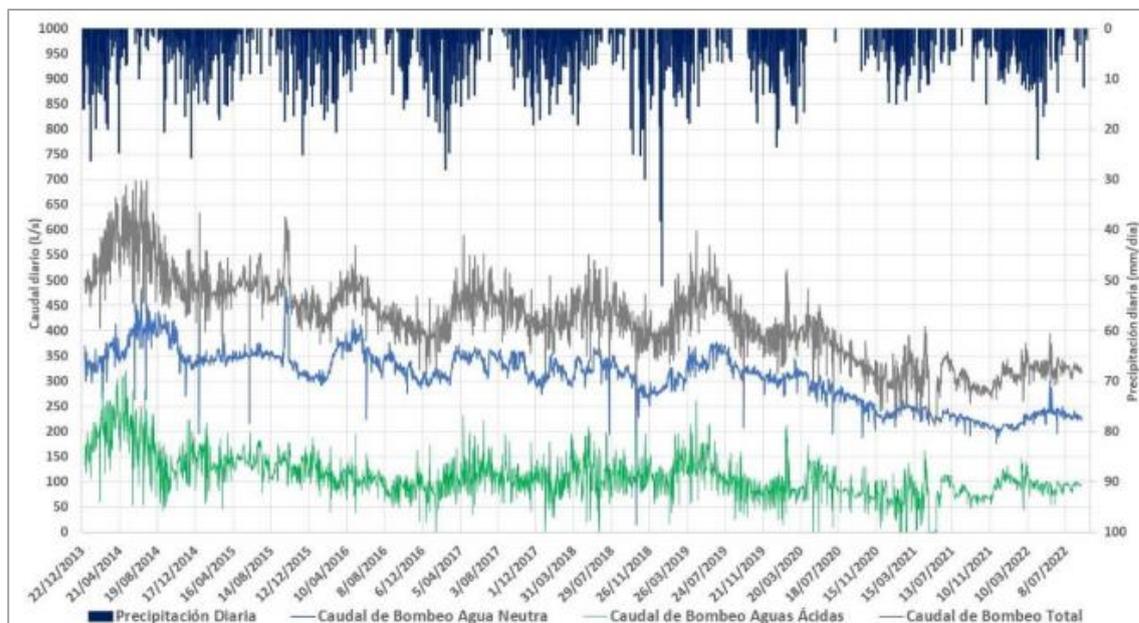
Se ha evaluado los datos de flujos de agua de mina de las labores subterráneas, la información proporcionada por Volcan comprende datos desde 2014 hasta julio de 2022. La figura 31 muestra un hidrograma con información de precipitaciones diarias y caudales históricos de bombeo de agua en las labores mineras subterráneas, separados por aguas ácidas y neutras (separación de acuerdo al pH que presenta las aguas). El análisis de los caudales de bombeo históricos y su relación con los eventos de precipitación, sirve para correlacionar las respuestas ante las variaciones de los flujos por las recargas directas a partir de la precipitación.

Según la información obtenida se tiene que, los flujos de agua subterránea de las labores mineras subterráneas que corresponde a aguas ácidas tienen un promedio de 112 l/s; mientras que, para los flujos de agua subterránea de las labores mineras subterráneas que corresponde a aguas neutras tienen un promedio de 315 l/s. En función de este análisis, el caudal de bombeo total del agua del interior de las labores mineras subterráneas es 428 l/s; sin embargo, se considera que el caudal de 302 l/s registrado durante el 2021, refleja las condiciones de caudales actuales de las labores mineras subterráneas. Generalmente, según el registro histórico, se tiene una variación de caudales de 100 l/s por efecto de la estacionalidad entre época húmeda y seca. En la Tabla 6 se presentan los datos de promedio anuales de la descarga de agua de interior mina.

Según la información en los piezómetros profundos instalados en el entorno del tajo Raúl Rojas, los niveles de agua subterránea se encuentran en

descenso como consecuencia del drenaje de la mina subterránea, indicando un efecto directo del sistema de niveles profundo por el efecto del bombeo de las labores mineras subterráneas lo cual genera un cono de descenso.

**Figura 37.** Datos históricos de flujos de agua en labores mineras subterráneas (datos proporcionados por Volcan)



**Tabla 8.** Caudales promedio anuales del sistema de bombeo de las labores subterráneas (datos proporcionados por Volcan)

Año de Registro	Caudal de Bombeo de Aguas Neutras Promedio por Año (L/s)	Caudal de Bombeo de Aguas Ácidas Promedio por Año (L/s)	Promedio Total Anual de Aguas de Bombeo (L/s)
2014	368.2	171.1	539.3
2015	346.6	136.8	483.4
2016	337.8	99.2	436.9
2017	331.2	108.9	440.1
2018	312.9	111.5	424.5
2019	323.6	109.3	432.8
2020	276.2	87.9	364.1
2021	227.8	73.8	301.6
2022	--	--	--
Promedio	315.5	112.3	427.8

## ASPECTOS HIDROLÓGICOS

### *Aguas Superficiales*

La hidrografía regional del área de estudio se encuentra en el sector de Bolívar dentro de la ciudad de Cerro de Pasco, entre la cuenca del río Huallaga que discurre hacia la zona Norte de la ciudad de Cerro de Pasco y a la cuenca del río San Juan que confluye al lago Junín hacia el sur.

El río San Juan - Mantaro se ubica en la parte central del país, recorre unos 725 Km a través de los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho desde su nacimiento en el nudo de Pasco, donde toma el nombre de río San Juan, hasta su desembocadura. Cabe indicar que a la salida de Upamayo (lago Chinchaycocha o Junín) adquiere el nombre de Mantaro.

La zona del proyecto Óxidos de In situ no contiene cursos de agua naturales y tampoco cursos menores de quebradas o arroyos que comprometan su cauce natural o alteren su régimen de esorrentía.

Las aguas de esorrentía en la zona del proyecto y que se observan en toda el área de minado del tajo Raúl Rojas, se maneja a través de cunetas existentes en las rampas de acceso en algunos casos se encuentran por tramos cubiertos con geomembranas los cuales conducen el agua captada hacia pozas sedimentadoras y desde allí son integrados a dos sistemas de bombeo existentes.

***Fotografía 3. Sistemas de drenaje con cuneta y pozas de sedimentación***



Las observaciones de campo en los taludes del tajo del área de proyecto no se observan curso de agua naturales en su lugar se observan cunetas a lo largo de los accesos, asimismo no se observan manantiales u ojos de agua u afloramientos de la napa freática. Las aguas superficiales ocasionadas por las precipitaciones o flujos hídricos atmosféricos serán absorbidas por las filtraciones por los materiales detríticos de relleno y estratos sedimentarios en la zona del tajo Santa Ana y zonas del proyecto donde hay una fuerte interacción entre las actividades del proyecto y las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de influencia, sin embargo dada los valores de precipitación máxima en la zona será necesario incrementar pozas de sedimentación e potencialmente incrementar el bombeo de estas aguas superficiales al incrementar el área de exposición del tajo en los taludes finales en un área inicial de 272,300 m<sup>2</sup>.

### ***Precipitación***

Para la caracterización de la precipitación (mensual, anual y máxima en 24 horas) se usó la data registrada en la estación Cerro de Pasco.

### ***Precipitación mensual y anual***

La caracterización de la precipitación mensual y anual del área de estudio se desarrolló en base a la data analizada y completada de la estación Cerro de Pasco del periodo 1983-2018 (36 años). De donde se tiene que la precipitación media anual es de 940 mm y la distribución temporal de la precipitación mensual se presenta en Anexo 10. De esta figura se observa que la precipitación del área de estudio presenta una marcada estacionalidad, la temporada húmeda se presenta de diciembre a marzo durante la cual se presenta el 55% de la precipitación total anual; la temporada seca de junio a agosto durante la cual se presenta el 6% de la precipitación total anual; la temporada de transición húmeda-seca en abril y la

temporada de transición seca-húmeda de setiembre a noviembre, entre ambas temporadas se presenta el 39% de la precipitación anual.

### Precipitación en años secas y húmedas

La precipitación de años secos y húmedos fue estimada mediante el ajuste de la precipitación anual de la estación Cerro de Pasco a la distribución Goodrich (distribución exponencial generalizada), los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9.

*Tabla 9. Precipitación de años secos y húmedos*

Condición	Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Años secos	500	97	95	100	55	26	15	11	16	39	72	77	91	695
	200	99	97	102	57	26	16	11	16	40	73	79	93	709
	100	101	99	104	58	27	16	11	17	41	75	80	95	724
	50	104	102	107	59	27	17	12	17	42	77	82	97	742
	20	108	106	111	62	28	17	12	18	44	80	86	102	774
	10	113	111	116	64	30	18	13	19	46	84	89	106	807
	5	118	116	122	68	31	19	13	20	48	88	94	111	850
Año promedio		131	129	135	75	35	21	15	22	53	97	104	123	940
Años húmedos	5	143	141	148	82	38	23	16	24	58	106	114	135	1028
	10	150	147	155	86	40	24	17	25	61	111	119	141	1075
	20	155	153	160	89	41	25	17	26	63	115	123	146	1113
	50	161	158	166	92	42	26	18	27	65	120	128	152	1155
	100	165	162	170	94	43	26	19	27	67	122	131	155	1182
	200	168	166	174	96	44	27	19	28	68	125	134	158	1207
500	173	170	178	99	45	28	19	28	70	128	137	162	1237	

Fuente: Amphos 21

### Evaluación del fenómeno El Niño y La Niña – ENOS

Los efectos del fenómeno El Niño y La Niña (ENSO) sobre la precipitación del área de estudio se evaluaron mediante los índices de monitoreo del clima (C) del Perú, así como el Índice de Oscilación del Sur (SOI). se realizó el análisis de correlación entre los índices seleccionados y la precipitación total mensual de la serie asignada al área de estudio, del periodo 1983 – 2018. Los coeficientes de correlación obtenidos fueron de 0.070 (C) y 0.011 (SOI). Los coeficientes de correlación obtenidos son cercanos a cero, indicando que no existe

influencia del fenómeno de El Niño y La Niña sobre la precipitación del área de estudio.

### **Precipitación máxima en 24 horas**

La precipitación máxima en 24 horas del área de estudio se estimó mediante el ajuste de la data (precipitación máxima diaria) de la estación Cerro de Pasco a la distribución Gumbel, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 10.** *Precipitación máxima en 24 horas para varios periodos de retorno*

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
2	34
5	41
10	46
20	51
50	57
100	62
200	66
500	72

Fuente: Amphos 21

### ***Curvas intensidad-duración-frecuencia***

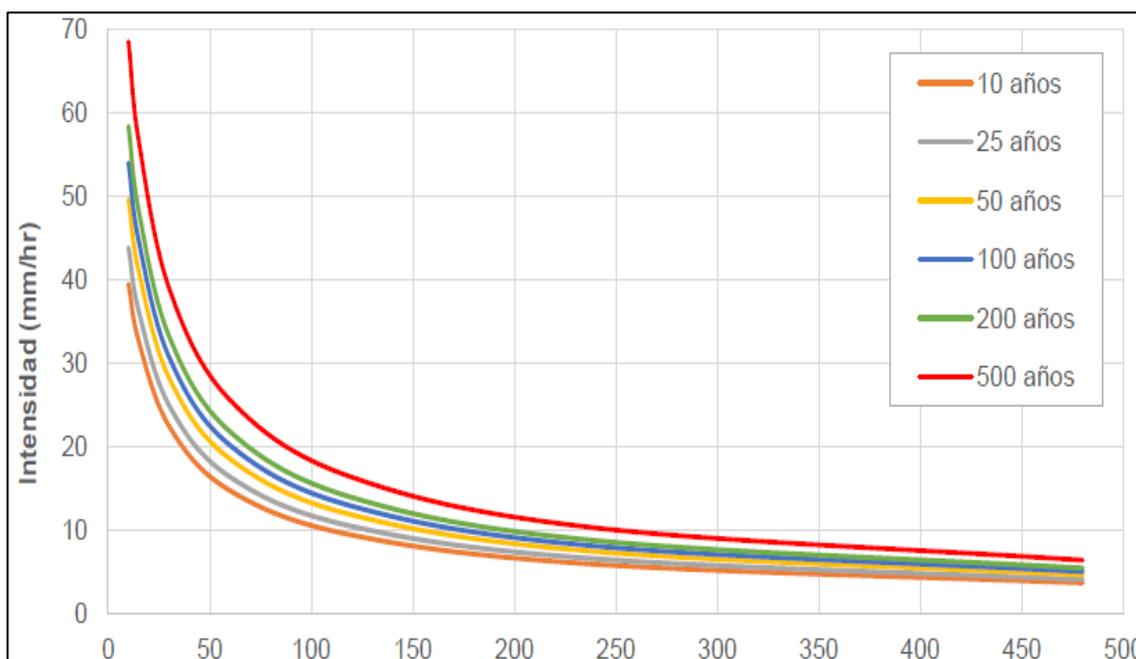
Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) del área de estudio se estimaron mediante la ecuación general de intensidad de precipitación - Duración - frecuencia desarrollada por Chen (1983) a partir de la precipitación máxima en 24 horas (Tabla 11). Mediante, esta ecuación se estimó las relaciones intensidad-duración-periodo de retorno, tal como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Relaciones intensidad-duración-periodo de retorno

Periodo de retorno (años)	Intensidad (mm/hora)								
	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	120	240	480	720	1440
2	33.7	27.9	19.2	12.6	8.0	5.1	3.2	2.4	1.5
5	39.4	32.6	22.4	14.7	9.4	5.9	3.7	2.8	1.7
10	43.8	36.3	24.9	16.4	10.5	6.6	4.1	3.1	1.9
25	49.6	41.0	28.2	18.5	11.8	7.4	4.6	3.5	2.2
50	53.9	44.6	30.7	20.2	12.9	8.1	5.0	3.8	2.4
100	58.3	48.3	33.2	21.8	13.9	8.8	5.5	4.1	2.6
200	62.7	51.9	35.7	23.4	15.0	9.4	5.9	4.4	2.8
500	68.5	56.7	39.0	25.6	16.3	10.3	6.4	4.9	3.0

Fuente: Amphos 21

**Figura 38.** Finalmente, ploteando estas relaciones se obtiene las curvas IDF (Curvas Intensidad – duración – periodo de retorno)



**(Recarga y Descarga)**

La mayor parte del área de la UM Cerro de Pasco está en un área de recarga del agua subterránea, consistente con la naturaleza elevada del terreno,

donde la precipitación puede infiltrarse en los depósitos superficiales y en el basamento rocoso. La recarga al sistema hidrogeológico ocurre por precipitación sobre la superficie del área de estudio, a excepción de las quebradas, ríos y bofedales, que corresponderían a las áreas de descargas locales de agua subterránea.

Las superficies de recarga se distribuyen en las unidades litológicamente diferenciables, pero con características hidráulicas similares, los cuales son los depósitos no consolidados y la roca superficial intemperizada, ambos identificados con espesores hasta 50 m de profundidad. En las zonas altas de estas superficies de recarga, la mayor parte del flujo de agua se infiltra y satura un primer sistema de flujo somero, limitado en su base por el contacto con el basamento de roca no intemperizado o más competente; la recarga hacia estratos más profundos (recarga al sistema de flujo profundo), si los gradientes verticales son descendentes, ocurren a través de vías permeables preferentes como zonas de fracturas, fallas o zonas kársticas; por tanto, se asume que una parte del flujo del sistema somero alimenta al sistema de flujo profundo. Las superficies de descarga se ubican en las quebradas y zonas de bofedales, que son alimentados por manantiales permanentes y manantiales intermitentes.

Tal como se indica, la recarga de las aguas subterráneas se desarrolla, principalmente, por efecto de la infiltración producto de la precipitación; sin embargo, algunos factores como las características de los afloramientos del basamento rocoso o de los depósitos no consolidados emplazados, entre los cuales, se encuentran el grado de fracturamiento, grado de alteración, grado de meteorización, reacciones químicas que originan la disolución de la roca, la porosidad primaria, la composición litológica, la distribución granulométrica de

los depósitos no consolidados, la presencia de materiales finos como arcillas y limos, el grado de compactación de los suelos, la existencia y el tipo de cobertura vegetal, además de la presencia de lluvias, tasa de evaporación, entre otros, son factores que influyen en las estimaciones de tasas de recarga.

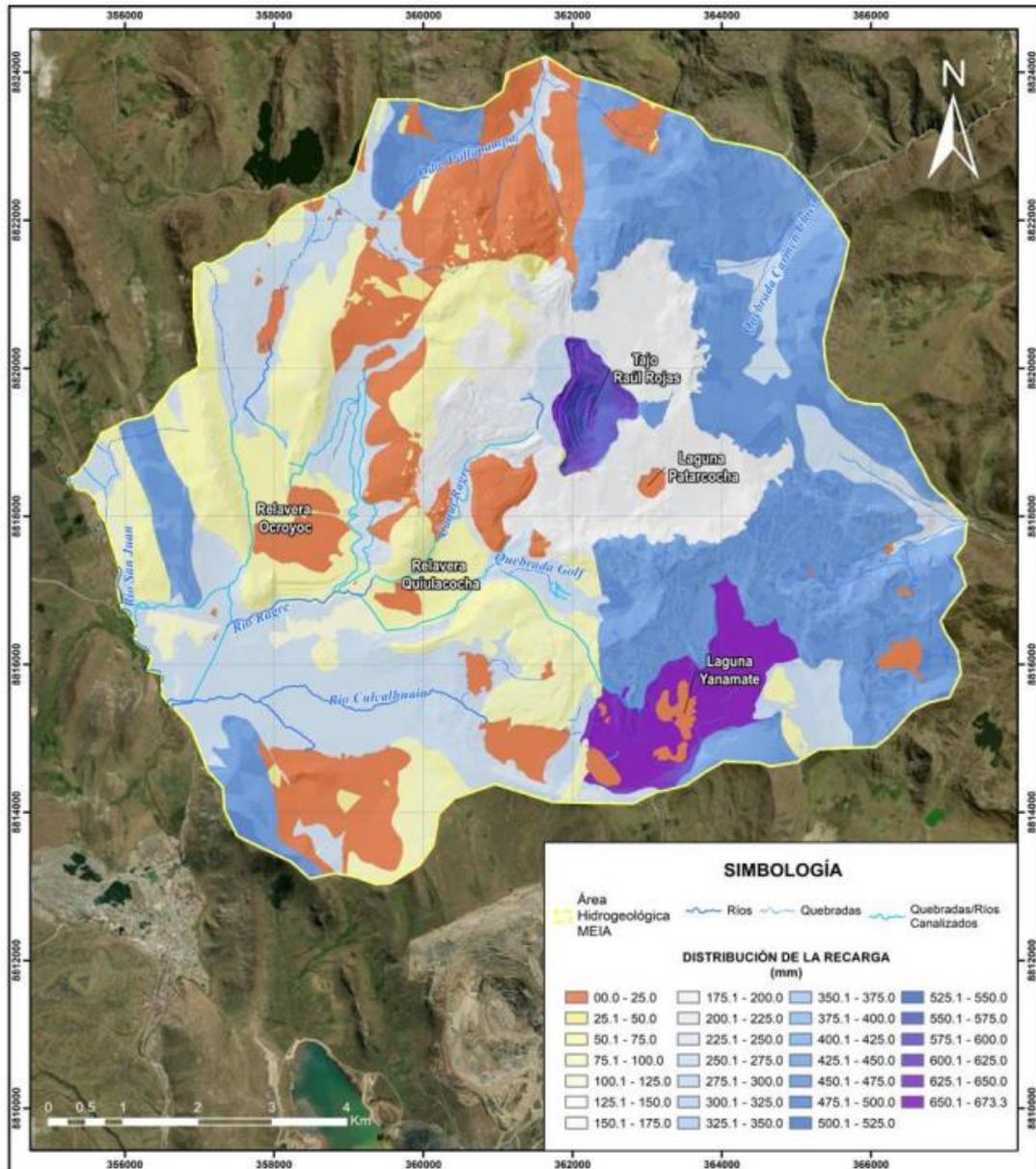
Para efectos de la estimación de la recarga, considerando que el entorno de la UM Cerro de Pasco se encuentra compuesta, en gran parte, por rocas carbonatadas, se ha considerado realizar los cálculos mediante el método APLIS modificado. Este método estima la recarga como un porcentaje de la precipitación, combinando variables intrínsecas relacionadas con estos medios como Altitud, Pendiente, Litología, Infiltración y Suelos, además de un coeficiente de corrección de la recarga (Ca), el cual considera si la unidad litológica tiene características acuíferas.

Como parte del proceso de estimación de la recarga mediante el método APLIS, se preparó un mapa o capa de información para cada una de las variables de Altitud, Pendiente, Litología, Infiltración, Suelos y Características del Acuífero. Todas las capas de información superpuestas permiten estimar espacialmente el valor medio de la recarga del área de estudio evaluada. La recarga se calcula aplicando el siguiente algoritmo:

$$\mathbf{R = [(A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot I + S) / 0.9] * Ca}$$

Luego de superponer todas las capas de información y aplicando el algoritmo APLIS, se obtuvo como resultado el mapa de recarga de todo el sitio, el cual se presenta la Figura 39.

**Figura 39.** Distribución de la recarga asignada para el área de estudio hidrogeológico



Con base en los resultados obtenidos, se observa que la tasa de infiltración más elevada se desarrolla en las calizas del Grupo Pucará (42 % a 52 %), en la superficie del Tajo Raúl Rojas (58 % a 71 %) y en las calizas del Grupo Pucará del entorno de Yanamate (62 % a 71 %), se asume que la zona de Yanamate conforma una cuenca endorréica en la cual lo que sugiere que es una vía preferente de infiltración considerando también el aporte de escorrentía; mientras que, las formaciones de roca sedimentaria (no carbonatada) evidencian tasas de

infiltración bajas (2 % a 9 %) dependiendo de su composición litológica, al igual que las rocas ígneas (5 % a 7 %). Por su parte, la recarga en los depósitos no consolidados se presenta de moderada a baja (8 % a 30 %) cuya variabilidad se asocia principalmente a la composición granulométrica de los materiales; adicionalmente, los depósitos asociados a un origen lacustre e hidromórficos estarían presentando recargas entre 0 y 2 %.

Las superficies del entorno de los componentes mineros principales como el Botadero Excelsior presentan una recarga entre el 1 % y 2 %; mientras que, los botaderos restantes se asocian a una recarga entre el 19 % y 26 %. Se considera que esta diferencia se debe a que el Botadero Excelsior posee un sistema de captaciones de filtraciones de mayor eficiencia debido a su cobertura de cierre y sistema de manejo de aguas. Por su parte, las áreas de los depósitos de relaves Ocroyoc y Quiulacocha evidencian una recarga entre el 5 % y 7 %. Finalmente, se observa que, las superficies de las áreas urbanas como centros poblados y/o comunidades existe una recarga en el rango de 10 % a 11 %, asociado principalmente a que en estas áreas se expone en su mayoría los depósitos no consolidados sin mucha infraestructura urbana superficial; mientras que, en el área de la ciudad de Cerro de Pasco se estaría desarrollando una recarga entre 18 % y 23 %, lo cual se asocia a que el sistema de alcantarillado de la ciudad, el cual colecta agua de la precipitación, se encuentra deficiente, favoreciendo la recarga ya que el suelo natural fue removido para la construcción de las estructuras de concreto y pavimento además, gran parte del basamento rocoso está conformado por calizas del Grupo Pucará, facilitando infiltración. Adicionalmente, se considera que existe una recarga artificial por efecto de las pérdidas de flujo a partir de la red de distribución de agua potable y del sistema de alcantarillado que

conduce las aguas servidas al subsuelo en la ciudad de Cerro de Pasco. La distribución de la recarga en porcentaje por unidad litológica se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 12.** Distribución de la recarga en porcentaje por unidad litológica

Unidades Litológicas	Recarga Mínima (%)	Recarga Promedio (%)	Recarga Máxima (%)
Depósito Aluvial	24	28	30
Depósito Antrópico	19	23	25
Depósito Coluvial	24	26	28
Depósito Glaciar	8	10	10
Depósito Lacustre	0	0	0
Suelo Hidromórfico	1	2	2
Formación Calera y Pocobamba	6	8	9
Grupo Cabanillas-Ambo	2	2	3
Grupo Goyllarisquizga	5	6	6
Grupo Mitu	2	2	3
Grupo Pucará	42	47	52
Rocas Ígneas	5	6	7
Grupo Pucará – Entorno Yanamate	62	70	71
Botadero Excelsior	1	2	2
Otros Botaderos	19	23	26
Superficie Urbana Ciudad Cerro de Pasco	18	21	23
Superficie Urbana Comunidades – Centros Poblados	10	11	11
Depósito de Relaves Ocroyoc	5	6	7
Depósito de Relaves Quiulacocha	5	6	7
Basamento de Roca en el entorno del Tajo Raúl Rojas	58	63	71

Con base en la PMA equivalente a 947 mm/año (WSP, 2022) y de acuerdo la metodología descrita, la distribución de la recarga promedio asociada a cada unidad litológica oscila entre 0 y 663 mm/año lo cual puede observarse en la Tabla 8; cabe precisar que, de acuerdo con los resultados obtenidos algunas unidades litológicas fueron unificadas según sus similitudes litológicas e hidrogeológicas.

**Tabla 13. Distribución de la recarga en mm por unidad litológica**

Unidades Litológicas	Recarga Promedio (mm)
Depósito Aluvial	265
Depósito Antrópico	215
Depósito Coluvial	246
Depósito Glaciar	91
Depósito Lacustre	0
Suelo Hidromórfico	19
Formación Calera y Pocobamba	74
Grupo Cabanillas-Ambo	21
Grupo Goyllarisquiza	53
Grupo Mitu	22
Grupo Pucará	449
Rocas Ígneas	57
Grupo Pucará – Entorno Yanamate	663
Botadero Excelsior	19
Otros Botaderos	216
Superficie Urbana Ciudad Cerro de Pasco	201
Superficie Urbana Comunidades - Centros Poblados	101
Depósito de Relaves Ocroyoc	61
Depósito de Relaves Quiulacocha	59
Basamento de Roca en el entorno del Tajo Raúl Rojas	592

La identificación de las principales áreas de descarga del agua subterránea, se evaluó mediante la revisión de los flujos de los cursos de agua durante la época de estiaje, tomando como base el monitoreo hidrológico llevado a cabo por Volcan y el monitoreo de flujo base durante la época de estiaje, que llevó a cabo FloSolutions.

Con base en los resultados obtenidos, en la Tabla 9 se puede observar la tasa promedio de recarga mensual estimada del área hidrogeológica considerada para la MEIA. La recarga promedio anual del área hidrogeológica de la MEIA se estima en un 27% de la PMA, equivalente a un volumen de 22.5 Hm<sup>3</sup>/año. Cabe precisar que el promedio de recarga fue estimado en base al peso de la distribución espacial (porcentaje de área que ocupa) cada unidad litológica por el valor recarga obtenido del algoritmo APLIS.

*Tabla 14. Recarga Promedio Mensual del Área Hidrogeológica de la MEIA*

Mes	PMM (mm)	Recarga Promedio (mm)	Recarga Promedio (L/s)
Enero	131	35.3	1162.9
Febrero	138	37.2	1356.3
Marzo	135	36.4	1198.4
Abril	75	20.2	688.0
Mayo	37	10.0	328.5
Junio	17	4.6	155.9
Julio	13	3.5	115.4
Agosto	18	4.9	159.8
Setiembre	50	13.5	458.7
Octubre	102	27.5	905.5
Noviembre	100	27.0	917.3
Diciembre	131	35.3	1162.9
<b>Anual</b>	<b>947</b>	<b>255.3</b>	<b>714.0</b>

### **Estimación del Flujo Base**

Con base en el comportamiento de los niveles de agua subterránea bajo condiciones actuales (etapa de operaciones) y, fuera del entorno del cono de abatimiento, generado por el bombeo de las labores mineras subterráneas de la UM Cerro de Pasco, se considera que existe una relación entre la superficie piezométrica y la topografía del terreno, siendo más relevante en sectores con afloramientos de las unidades sedimentarias (no carbonatadas) aflorantes hacia el lado oeste de la falla Cerro de Pasco, a diferencia de, las unidades que corresponden a calizas, del Grupo Pucará, que se exponen en el sector este del área de estudio, donde los niveles piezométricos se encuentran más alejados de la superficie. De manera general las zonas de recarga corresponden principalmente a las partes altas de la cuenca hidrográfica, el flujo subterráneo se dirige hacia las

partes bajas, aflorando en forma de manantiales, en los fondos de quebradas o valles como flujo base, por el contacto con unidades litológicas de baja conductividad hidráulica e interconexión de fallas o fracturas.

De acuerdo con el desarrollo mensualizado de la precipitación (Figura 33), se estima que el flujo medido durante la época seca en los ríos y quebradas del entorno de Mina Cerro de Pasco representa la descarga del flujo base. Para estimar el flujo base en el dominio del área de estudio hidrogeológico, se ha considerado siete puntos de control (Figura 34) y las mediciones de flujo realizadas durante la época seca del 2022, en diferentes puntos de medición, principalmente en el mes de julio; adicionalmente, se ha considerado de manera referencial algunas mediciones de flujos desarrolladas en noviembre de 2022 (Tabla 10).

**Figura 40.** Distribución de la precipitación media mensual (tomado de WSP, 2023)

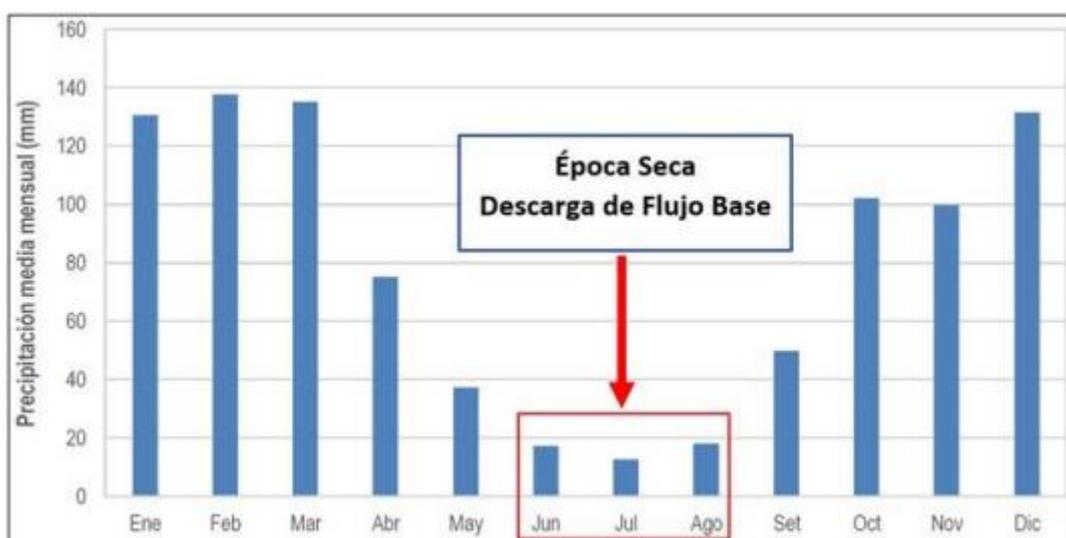


Figura 41. Puntos de evaluación de control flujo base

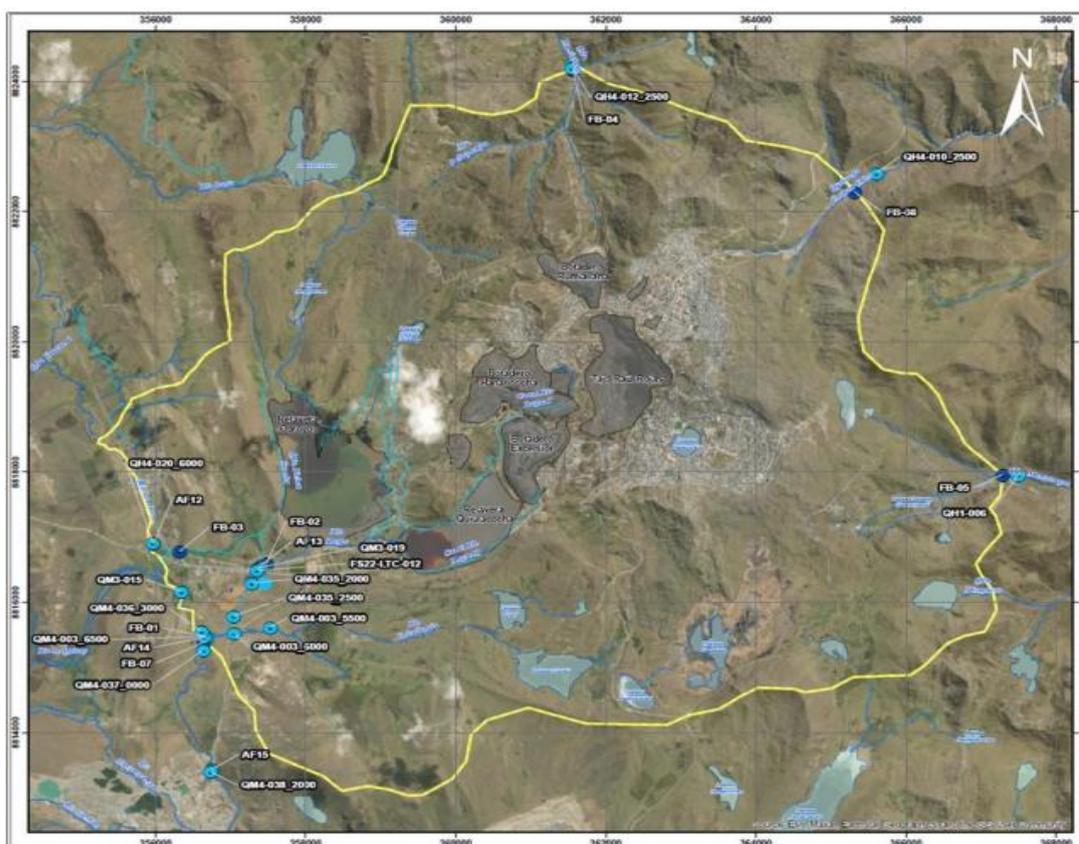


Tabla 15. Estaciones de monitoreo de flujos – Época seca 2022

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM Sistema WGS 84 Zona 18S		Fecha (dd/mm/aaaa)	Flujo (L/s)
	Este (m)	Norte (m)		
QH4-010_2500	365605	8822573	17/07/2022	20
QM4-003_5500	357528	8815601	14/07/2022	4.6
QM4-003_6000	357043	8815509	14/07/2022	2.5
QM4-035_2000	357281	8816282	18/07/2022	440
QM4-035_2500	357027	8815768	18/07/2022	248.5
QM4-036_3000	356615	8815532	18/07/2022	110
QM4-037_0000	356637	8815255	20/07/2022	1417.5
QM4-038_2000	356728	8813384	20/07/2022	776.3
QH4-012_2500	361545	8824195	16/07/2022	45.4
QH4-020_6000	355965	8816894	19/07/2022	220.5
FS22-LTC-012	357349	8816472	23/07/2022	342
QH1-006	367492	8817936	18/07/2022	7.7
QM3-015	356344	8816151	16/07/2022	582.8
QM3-019	357363	8816509	17/07/2022	334.6
AF12	355975	8816884	16/11/2022	124
AF13	357392	8816543	16/11/2022	298
AF14	356675	8815450	16/11/2022	Seco
AF15	356749	8813418	16/11/2022	575

Como parte de la evaluación del flujo base, a fin de descartar que los flujos medidos en campo hayan sido influenciados por los eventos de precipitación, se realizó el análisis del rendimiento de la precipitación asociados al área aportante de los puntos de monitoreo, considerando la precipitación media mensual del mes de julio y los eventos de precipitación más cercanos previos o los reportados en la fecha de monitoreo.

Los valores de rendimiento de flujo estimados fueron comparados con los flujos medidos en campo, del cual, se estima que las precipitaciones desarrolladas en el entorno del área hidrogeológica, asociadas a los puntos de control FB-01, FB-02, FB-04, FB-06 y FB-07 no presentan influencia directa sobre el flujo reportado en fechas indicadas (Tabla 10), considerando que los eventos de precipitación se desarrollaron entre dos (2) a cuatro (4) días previos a las mediciones en el rango de 0.2 mm y 0.6 mm por un lapso de una hora, los cuales fueron registrados en la estación Marcapomacocha (Fuente: SENAMHI). Por lo tanto, los flujos reportados en las estaciones de monitoreo asociadas a los puntos de control son indicativo de la descarga directa de agua subterránea, equivalente al flujo base.

Por otra parte, el punto de control FB-05 en cuyo entorno se registró una precipitación de 0.2 mm por el lapso de una hora, dos horas previas a la medición de flujo, sugiere que el flujo reportado en este punto pueda verse influenciado en un rendimiento máximo de 3.8 l/s, lo cual fue considerado en la estimación del flujo base.

En referencia al punto de control FB-03, dado que los datos colectados en campo sugieren inconsistencia, se ha estimado el flujo base de acuerdo con la ley de Darcy, para lo cual se ha considerado un ancho de sección de

aproximadamente 380 m y un espesor saturado de 2 m como sección de descarga de flujo en superficie, además una permeabilidad de los depósitos aluviales equivalente a un máximo de  $5.8 \times 10^{-4}$  m/s y un gradiente hidráulico de 0.01 considerando que en este sector la superficie de la napa freática corresponde con la topografía del terreno, dando como resultado un flujo menor a 5 l/s. Por su parte, en el punto de control FB-07 se estima tener un flujo base máximo de 650 l/s, considerando que existe un aporte por pérdida de flujo desde el Río Ragre en el orden de 270 l/s y que la descarga de agua subterránea desde el sector este del Río San Juan en un tramo de aproximadamente 2 km se encuentre en el orden de los 380 l/s como máximo. Los resultados de la evaluación del flujo base pueden observarse en la Tabla 11.

**Tabla 16.** Rango de flujo base estimado en los puntos de control

Punto de Control	Flujo Base Estimado (L/s)	
	Min	Máx
FB-01	5	7
FB-02	317	342
FB-03	< 5	
FB-04	39	46
FB-05	4	8
FB-06	3	17
FB-07	460	650

Como parte del análisis de flujo base, se puede observar que los caudales medidos el 18 de julio de 2022, aguas abajo del punto de control FB-02 (en dirección sur oeste) van disminuyendo desde 400 l/s a 110 l/s; al igual que, los flujos reportados en el lado oeste del punto de control FB-01, donde se observa que, el flujo cuya dirección es de oeste a este, se reduce de 4.6 l/s a 2.5 l/s. De la información disponible, se tiene conocimiento que, en este sector se exponen depósitos no consolidados del tipo aluvial, el cual está conformado por gravas permeables; lo que sugiere que flujo superficial que discurre por los cauces se

infiltra de manera gradacional al subsuelo y transita a través de un medio hiporréico, el cual finalmente descarga en el Río San Juan.

### **Modelo Hidrogeológico Conceptual**

El modelo hidrogeológico conceptual para la UM Cerro de Pasco fue determinado mediante la revisión y análisis de la información hidrogeológica disponible y, sobre todo, de los resultados obtenidos a partir de las investigaciones hidrogeológicas de campo ejecutadas en el presente estudio, incluyendo, datos geológicos, hidrológicos e hidroquímicos, para evaluar, en su conjunto, el comportamiento del sistema hidrogeológico.

El objetivo es representar de manera cualitativa el comportamiento del sistema hidrogeológico actual a una escala determinada. La integración comprensiva de la información antecedente y los resultados de nuevas investigaciones, permitieron analizar conceptualmente el comportamiento del sistema de flujo de agua subterránea y, por consiguiente, constituye el modelo hidrogeológico conceptual.

Geológicamente el entorno de la UM Cerro de Pasco se encuentra constituida por rocas metamórficas del Grupo Cabanillas de edad Devónica, en discordancia angular le sobreyace rocas volcanso sedimentarias del pérmico-triásico del Grupo Mitu y, en discordancia, le sobreyace rocas calcáreas del triásico-jurásico representadas por el Grupo Pucará; estas se encuentran intruídas por rocas plutónicas, las cuales trajeron consigo la mineralización del sector, asociadas a una chimenea de explosión que atraviesa al Grupo Cabanillas.

Luego de varios episodios de deformación durante el Eoceno y el Mioceno temprano, comenzó la actividad volcanso-magmática. En la zona de estudio el magmatismo consistió en repetidas intrusiones de domos relacionadas

al cuello de una diatrema asociada a una subsidencia. Al mismo tiempo, la mineralización ocurría particularmente a lo largo del lado este del complejo de domos y diatremas, extendiéndose principalmente en las rocas carbonatadas del Grupo Pucará.

El relieve actual del entorno de la UM Cerro de Pasco está fuertemente afectado por los eventos de erosión y sedimentación de las últimas eras glaciares, como resultado de estos eventos, se formaron los relieves actuales y, posteriormente se sedimentaron depósitos de morrenas, aluviales y coluviales. Las erosiones glaciales ocurridas en el área de estudio son significativas desde el punto de vista hidrogeológico, debido a que, como resultado de la erosión dejan expuestos afloramientos rocosos en las cabeceras de las cuencas hidrográficas (glaciares antiguos), las cuales sufrieron intensos procesos de intemperismo y gelifracción, desarrollando superficies de rocas fragmentadas; por lo cual, se asume que las infiltraciones, en estos sectores son significativamente mayores.

La definición y caracterización de las unidades hidrogeológicas en el área de la UM Cerro de Pasco, se consideró de acuerdo con sus propiedades litológicas de las unidades geológicas y depósitos no consolidados presentes que influyen en el comportamiento hidráulico de las mismas y del agua subterránea como un todo. A partir de la caracterización hidrogeológica, se definieron ocho (8) unidades hidrogeológicas (UH) principales en el modelo hidrogeológico conceptual.

#### **UH Depósitos No Consolidados:**

- Esta unidad forma una capa relativamente delgada de espesores de hasta 30 m (aproximadamente) desde la superficie del terreno, está compuesta principalmente de gravas limo arcillosas por depósitos de morrenas, aluviales y coluviales (en los taludes de las márgenes de la cuenca hidrográfica); su

extensión es muy limitada y conforman depósitos que rellenan las quebradas principales (depósitos de morrenas y aluviales) o cubren basamentos de roca en laderas de poca profundidad (depósitos coluviales); por lo tanto es una UH muy limitada en extensión y profundidad.

- En la UM Cerro de Pasco, las pruebas de conductividad hidráulica (59 pruebas) muestran que esta unidad presenta una conductividad hidráulica moderada, con un valor promedio de aproximadamente  $3.3 \times 10^{-6}$  m/s, según la media geométrica y  $4.1 \times 10^{-5}$  m/s según la media aritmética. Presentan una variabilidad de los resultados los cuales corresponden a la heterogeneidad litológica de los estratos y tipos de depósitos; los cuales representan una conductividad hidráulica relativamente baja, para estratos de composición arcillosa y, una conductividad hidráulica moderada para estratos con predominancia de gravas, no se observa una disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad.
- Según su tipo hidroquímico no se presenta predominancia de algún tipo de agua; por lo tanto, se tienen aguas tipo sulfatada magnésica, bicarbonatada cálcica magnésica sódica, clorurada sódica y sulfatada bicarbonatada cálcica. Los depósitos someros que conforman esta unidad se ven influenciados por la cercanía de las instalaciones mineras y, en la cuenca hidrográfica del Río Ragre, por aportes de agua de contacto. Sin embargo, puntualmente, durante época seca, las concentraciones fueron más bajas debido a la ausencia de lluvias.

#### **UH Roca Intemperizada:**

- Está conformada por una capa continua de espesores menores a 30 m desde superficie o bajo el contacto con los depósitos no consolidados y es

principalmente un producto de la meteorización mecánica y química de las capas de basamento de roca expuestas en superficie o que están bajo sedimentos no consolidados.

- Las pruebas hidrogeológicas disponibles a partir de 20 ensayos, definen que, esta unidad es moderadamente permeable con una conductividad hidráulica media de  $3.8 \times 10^{-6}$  m/s (media geométrica) y  $3.2 \times 10^{-5}$  m/s (media aritmética). En general, las conductividades hidráulicas fueron más altas en los tramos superiores, en comparación con las conductividades hidráulicas de los tramos inferiores, los cuales indican que la conductividad hidráulica disminuye con la profundidad y con la menor frecuencia de fracturas a profundidad.

#### **UH Pocobamba - Calera:**

- Esta unidad lo conforman las formaciones Pocobamba y Calera, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de conglomerados, areniscas y algunos niveles de limolitas.
- Según las pruebas hidrogeológicas (18 ensayos), definen que, esta unidad es de conductividad hidráulica baja con valores de  $6.5 \times 10^{-8}$  m/s (media geométrica) y  $8.4 \times 10^{-7}$  m/s (media aritmética). De manera general el grado de fracturamiento de esta roca es bajo, con un RQD mayor a 95 %, y una matriz compuesta por arcilla y limo; por lo cual, la conductividad hidráulica es baja. Se observa una disminución de la fracturación con respecto a la profundidad y, como consecuencia, una tendencia a la disminución en la conductividad hidráulica respecto a la profundidad.

- Esta unidad presenta predominancia a aguas del tipo sulfatada cálcica, se tienen otros tipos como, sulfatada sódica, bicarbonatada cálcica, sulfatada cálcica magnésica y bicarbonatada sulfatada cálcica sódica magnésica.

#### **UH Rocas Intrusivas:**

- Esta unidad corresponde al basamento roca intrusivo que no presenta intemperismo o, que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. Litológicamente es de composición dacítica y andesítica y están representadas por la diatrema de Cerro de Pasco, aglomerado Rumiallana y pórfidos dacíticos. o Según las pruebas hidrogeológicas disponibles a partir de 76 ensayos, definen que, esta unidad es de permeabilidad moderada a baja con una conductividad hidráulica media de  $1.4 \times 10^{-7}$  m/s (media geométrica) y  $2.2 \times 10^{-6}$  m/s (media aritmética). De manera general, se observa una tendencia a la disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad.
- En el entorno próximo del tajo Raúl Rojas, la roca a profundidad se encuentra con una alteración respecto a su grado de fracturamiento, como consecuencia de los trabajos extractivos de las actividades mineras; en ese sentido, se presentan algunos valores con conductividades hidráulicas moderadas a profundidades mayores a 300 m, lo cual evidencia la alteración del grado de fracturamiento a profundidad en los sectores cercanos al tajo.
- Esta unidad presenta una predominancia de tipo de agua sulfatada magnésica, y presenta otros tipos minoritarios de aguas tipo bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, clorurada magnésica y clorurada sulfatada sódica. La

presencia de sulfato podría corresponder a su cercanía a las instalaciones mineras superficiales.

#### **UH Goyllarisquizga:**

- Conformada por las formaciones Santa-Carhuaz y Farrat, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de areniscas y lutitas, con algunos niveles calcáreos. Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad, en otros estudios se le asigna un valor de  $1 \times 10^{-7}$  m/s con conductividad hidráulica baja a moderada.

#### **UH Pucará:**

- Esta unidad lo conforman las unidades geológicas calcáreas del Grupo Pucará litológicamente compuesta por secuencias de calizas tipo wackstone y mudstone, en su mayoría. Esta unidad comprende la UH de mayor extensión en el área de estudio.
- Según las pruebas hidrogeológicas (237 ensayos), se ha definido que, esta unidad es de una conductividad hidráulica moderada con valores de  $2.2 \times 10^{-7}$  m/s (media geométrica) y  $1 \times 10^{-6}$  m/s (media aritmética). Esta unidad no presenta una disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad, presentando valores de conductividad hidráulica moderada incluso a profundidades mayores a 200 m.
- Los piezómetros instalados en los alrededores de la Laguna Yanamate presentan predominancia a aguas del tipo bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sulfatada cálcica magnésica y sulfatada bicarbonatada cálcica. Se pudo observar una separación del tipo de agua; la zona de la laguna Huaysacocha estaba influenciada por aguas de contacto, mientras que, en la zona de Yanamate estrictamente, no se observó esta influencia. En las

inmediaciones de la Laguna Patarcocha, el piezómetro FS22-PZ10-I presenta aguas del tipo bicarbonatada cálcica, siendo los carbonatos que definen la calidad del agua. Los piezómetros FS22-PZ02- I y FS22-PZ02-II, en calizas ubicadas al este del tajo, tuvieron un aporte alto de sulfato, indicando una influencia en esta zona por aguas de contacto. De la misma forma, los piezómetros en carbonatos Pucará en cercanía del botadero Rumiallana, muestran los aportes especialmente de sulfato de esta instalación. El piezómetro FS22-PZ13-II, aguas abajo de la ciudad Cerro de Pasco en la quebrada Carmen Chico, tuvo altas concentraciones de cloruro, probablemente por infiltración de aguas servidas de la ciudad. Por último, al Sur del tajo Raúl Rojas las aguas son del tipo sulfatada cálcica magnésica y bicarbonatada cálcica magnésica. El aporte de sulfato puede ser indicativo del transporte de agua de contacto de la UM Cerro de Pasco o de la Laguna Yanamate, debido a que este piezómetro está muy cerca a la falla Cerro de Pasco.

#### **UH Mitu:**

- Corresponde al basamento de roca volcánico sedimentario de edad Permo-Triásico que no presenta intemperismo, o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. En las perforaciones no se ha interceptado esta unidad. Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad geológica, en otros estudios se le asigna un valor referencial de  $3 \times 10^{-7}$  m/s.

#### **UH Cabanillas:**

- Esta unidad corresponde al basamento de roca metamórfica compuesta por pizarras, esquistos y filitas que no presentan intemperismo o que se encuentra

a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios.

- De acuerdo con las pruebas hidrogeológicas (35 ensayos), se ha definido que, esta unidad es de una conductividad hidráulica baja a muy baja con valores de  $2.5 \times 10^{-8}$  m/s (media geométrica) y  $2.7 \times 10^{-7}$  m/s (media aritmética). De manera general, se observa una tendencia a la disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad. Según los valores obtenidos se clasifica a esta unidad como una unidad de conductividad hidráulica baja; sin embargo, a profundidades mayores a 100 m, la clasificación de la conductividad hidráulica es muy baja.
- Se presenta una variedad en la clasificación de las aguas, en los alrededores de la planta de Óxidos se tienen del tipo bicarbonatada magnésica cálcica, bicarbonatada sódica magnésica y sulfatada magnésica cálcica. En el entorno de la relavera Ocroyoc se tienen del tipo bicarbonatada sódica y sulfatada sódica. En los alrededores de relavera Quiulacocha, las aguas son del tipo sulfatada bicarbonatada cálcica, sulfatada sódica y sulfatada sódica cálcica y, en el entorno del botadero Excelsior, se tienen aguas del tipo sulfatada cálcica magnésica. Los piezómetros ubicados en las inmediaciones del botadero Rumiallana, presentan predominancia en aguas del tipo sulfatada magnésica, sulfatada bicarbonatada sódica y bicarbonatada sulfatada sódica cálcica magnésica, probablemente influenciada por agua de contacto del botadero Rumiallana como por las rocas intrusivas locales.

**Tabla 17. Se resume las características y propiedades de cada unidad hidrogeológica (UH).**

Crono-estratigrafía			Unidad Hidrogeológica (UH)	Características Litológicas	Características Hidrogeológicas
Eratema	Sistema	Serie			
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno / Pleistoceno	Unidad Hidrogeológica de Depósitos No Consolidados	Compuesta por depósitos no consolidados, litológicamente está compuesta por gravas arcillosas y limosas	Presenta una conductividad hidráulica muy variable, con una media geométrica de $3.3 \times 10^{-4}$ m/s. Los depósitos no consolidados corresponden a sedimentos Cuaternarios a Pliocuaternarios conformados por depósitos de morenas, aluviales, coluviales y depósitos antrópicos. Su extensión vertical y horizontal es muy acotada.
			Unidad Hidrogeológica de Rocas Intemperizadas	Corresponde al tramo del basamento de roca superficial que presenta intemperismo, el cual muestra un intenso fracturamiento y oxidación supérgena, como consecuencia de la exposición atmosférica del basamento de roca.	Tiene una conductividad hidráulica como media geométrica de $3.8 \times 10^{-4}$ m/s. Su extensión vertical y horizontal es muy acotada.
	Neógeno	Mioceno	Unidad Hidrogeológica Rocas Intrusivas	Conformada por el basamento de roca intrusiva que no presenta intemperismo, o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios. Litológicamente esta unidad es de composición dacítica y andesítica y están representadas por la diatema de Cerro de Pasco, aglomerado Rumialana y pórfidos dacíticos.	Los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde $2.4 \times 10^{-4}$ m/s a $1.3 \times 10^{-3}$ m/s, con una media geométrica de $1.4 \times 10^{-3}$ m/s. Presenta una disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad.
			Unidad Hidrogeológica Pocobamba - Calera	Conformada por las unidades geológicas del Terciario inferior como las formaciones Pocobamba y Calera, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de origen continental como conglomerados, areniscas y algunos niveles de limolitas.	Tiene una conductividad hidráulica como media geométrica de $6.5 \times 10^{-4}$ m/s.
Mesozoico	Cretácico	Inferior	Unidad Hidrogeológica Goyllarisquizga	Comprende las unidades geológicas que conforman el Grupo Goyllarisquizga como las formaciones Santa-Carhuaz y Farrat, las cuales están compuestas por secuencias sedimentarias de areniscas y lutitas, con algunos niveles calcáreos.	En las perforaciones no se ha interceptado esta unidad; sin embargo, su exposición superficial se encuentra restringida en la margen izquierda de la confluencia del río San Juan y el río Ragra. Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad, en otros estudios se le asigna un valor de $1 \times 10^{-7}$ m/s.
			Unidad Hidrogeológica Pucará	Esta unidad lo conforman las unidades geológicas calcáreas del Grupo Pucará litológicamente conformada por secuencias de calizas tipo wackstone y mudstone, en su mayoría.	De acuerdo a los valores de conductividad hidráulica calculados a partir de estas pruebas varían desde $2.6 \times 10^{-5}$ m/s a $8.8 \times 10^{-11}$ m/s, con una media geométrica de $2.2 \times 10^{-7}$ m/s. No presenta una disminución de la conductividad hidráulica con respecto a la profundidad, presentando valores de conductividad hidráulica moderada incluso a profundidades mayores a 200 m.
	Triásico	Inferior	Unidad Hidrogeológica Mitu	Corresponde al basamento de roca volcánico sedimentario que no presenta intemperismo, o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios.	Según información de pruebas hidráulicas en esta unidad geológica, en otros estudios se le asigna un valor referencial de $3 \times 10^{-7}$ m/s.
Paleozoico	Pérmico	Superior	Unidad Hidrogeológica Cabanillas	Corresponde al basamento de roca metamórfica compuesta por pizarras, esquistos y filitas que no presentan intemperismo o que se encuentra a profundidades por debajo de 50 m con respecto a la superficie o contacto con los depósitos cuaternarios.	Los valores de conductividad hidráulica calculados varían desde $2.5 \times 10^{-9}$ m/s a $2.7 \times 10^{-7}$ m/s, con una media geométrica de $1.7 \times 10^{-8}$ m/s y una media aritmética de $3.7 \times 10^{-8}$ m/s. Se ha clasificado como una unidad de conductividad hidráulica baja, sin embargo a profundidades mayores a 100 m, la clasificación de la conductividad hidráulica es muy baja.

## Modelo Conceptual del funcionamiento hidrodinámico

La precipitación es la principal fuente de agua que alimenta al sistema de agua subterránea en el área de la UM Cerro de Pasco. La precipitación se origina por el movimiento ascendente de las masas de aire húmedo que saturan el aire formando nubes y, eventualmente pierden altura y caen verticalmente al suelo. Este tipo de precipitación se mide directamente mediante pluviómetros. Las condiciones de la cobertura del suelo y los materiales subsuperficiales someros contribuyen directamente a la escorrentía, evapotranspiración e infiltración. La escorrentía total superficial está compuesta por varios componentes, basados en el tiempo de respuesta a la precipitación, estos incluyen el escurrimiento directo, el flujo subsuperficial y el flujo base (descarga de agua subterránea en superficie). En zonas con pendientes empinadas, se presenta una mayor escorrentía directa, debido al menor tiempo de tránsito en las laderas y pérdidas menores de retención del suelo.

El agua subterránea fluye desde los altos topográficos que rodean la cuenca hidrográfica del entorno de la UM Cerro de Pasco, hacia las quebradas principales en los fondos de los valles. El agua subterránea se recarga en estos altos topográficos.

La recarga de las aguas subterráneas, principalmente, es por efecto de la infiltración producto de la precipitación; sin embargo, algunos factores de los afloramientos del basamento rocoso o de los depósitos no consolidados emplazados, entre los cuales, se encuentran el grado de fracturamiento, grado de alteración, grado de meteorización, reacciones químicas que originan la disolución de la roca, la porosidad primaria, la composición litológica, la distribución granulométrica de los depósitos no consolidados, la presencia de materiales finos como arcillas y limos, el grado de compactación de los suelos, la existencia y el tipo de cobertura vegetal, además de la presencia de lluvias, tasa de evaporación, entre otros, son factores que influyen en las estimaciones de tasas de recarga.

Con base en los resultados obtenidos, se observa que la tasa de infiltración más elevada se desarrolla en las calizas del Grupo Pucará (42 % a 52 %), en la superficie del Tajo Raúl Rojas (58 % a 71 %) y en las calizas del Grupo Pucará del entorno de Yanamate (62 % a 71 %); mientras que, las formaciones de roca sedimentaria (no carbonatada) evidencian tasas de infiltración bajas (2 % a 9 %) dependiendo de su composición litológica, al igual que las rocas ígneas (5 % a 7 %); en los depósitos no consolidados se presenta de moderada a baja (8 % a 30 %) cuya variabilidad se asocia principalmente a la composición granulométrica de los materiales; adicionalmente, los depósitos asociados a un origen lacustre e hidromórficos estarían presentando recargas entre 0 y 2 %. Adicionalmente, se

considera que el subsuelo de la ciudad de Cerro de Pasco presenta una recarga artificial por efecto de las pérdidas de flujo a partir de la red de distribución de agua potable y del sistema de alcantarillado que conduce las aguas servidas al subsuelo.

Se considera que el flujo base es la descarga del agua subterránea a lo largo de todo el curso de los ríos de flujo perenne, suministrando el agua que mantiene el flujo de los ríos y quebradas durante la época seca. En ese sentido se ha estimado que el flujo medido durante la época seca en los ríos y quebradas del entorno de UM Cerro de Pasco, representa la descarga en superficie del flujo de agua subterránea (flujo base).

De acuerdo con los piezómetros instalados a distintas profundidades (somero y profundo), se observan diferencias en los niveles de agua subterránea; los niveles someros típicamente corresponden a las zonas más permeables, que reciben la recarga directa de las lluvias en forma rápida a través de los depósitos no consolidados y zonas intemperizadas del basamento rocoso; mientras que, el nivel profundo en muchos casos corresponde a un sistema semiconfinado o confinado del basamento rocoso, conformado por las unidades del basamento de roca, donde la respuesta a las lluvias es más lenta y atenuada. Por lo tanto, se interpretan dos sistemas de flujo de agua subterránea.

El primer sistema hidrogeológico, corresponde a la zona somera concordante con las capas permeables de gravas y limos de los depósitos no consolidados y rocas intemperizadas, suprayacentes al basamento rocoso no intemperizado, donde el flujo se presenta en la base de esta zona, generalmente subparalelo al drenaje superficial con direcciones de flujos hacia los drenajes secundarios como las quebradas locales. La profundidad y extensión lateral de

esta zona intemperizada es muy acotada en extensión (limitada), por lo que las propiedades hidráulicas de las zonas intemperizadas dependerán en gran medida del grado de fracturamiento.

Este sistema somero también ofrece la oportunidad para una infiltración hacia estratos más profundos, donde existen vías permeables (fracturas, fallas) y recargan al sistema de flujo profundo. Los horizontes más permeables se sitúan justo en el contacto con la roca intemperizada en lo que se denomina capa de transición o capa con mayor fracturación. En el entorno cercano al tajo Raúl Rojas las zonas saturadas temporales del sistema somero estarían conectadas con las labores subterráneas más profundas; según información, se tienen registros de ingresos de agua (filtraciones) que ocurren en todos los niveles de labores mineras más superficiales desde el nivel 800 (4056 msnm) (nivel que corresponde a una zona no saturada por el efecto de desaguado de la mina).

El segundo sistema hidrogeológico profundo, lo conforma las zonas del basamento de roca a profundidad. El flujo presenta direcciones preferentes hacia los drenajes principales de las cuencas hidrográficas o en direcciones preferentes a través de zonas de fallas. Según la información en los piezómetros profundos instalados en el entorno del tajo Raúl Rojas, los niveles de agua subterránea se encuentran en descenso como consecuencia del drenaje de la mina subterránea, indicando un efecto directo del sistema profundo por el efecto del bombeo de las labores mineras subterráneas a profundidad, lo cual genera un cono de descenso.

El cono de descenso generado en el sistema profundo, presenta una elongación a lo largo de las labores subterráneas y a lo largo de la falla regional Cerro de Pasco; este cono de descenso presenta una gradiente más abrupta en el sector oeste del tajo y una gradiente más suave en el sector este; esto indica una

diferencia de las propiedades hidráulicas del basamento de roca del entorno del tajo, debido a que, en el lado oeste del tajo lo conforma rocas intrusivas y metamórficas del Grupo Cabanillas con conductividades hidráulicas bajas; mientras que, hacia el lado este del tajo lo conforman calizas del Grupo Pucará con conductividades hidráulicas moderadas.

Las zonas de fallas principales se caracterizan por valores de conductividad hidráulica relativamente altos, baja porosidad y almacenamiento. Estas zonas representan el conducto principal de flujo de agua subterránea alrededor de las unidades hidrogeológicas asociadas a estas zonas de falla. En el anexo N° 01 se presenta el mapa hidrogeológico de la UM Cerro de Pasco, en el anexo N° 02 y el anexo N° 03 se presenta las secciones hidrogeológicas y en el anexo N° 04 se presenta la sección hidrogeológica que corresponde a la extensión del Tajo Raúl Rojas, el modelo hidrogeológico conceptual se presenta en el anexo N° 05. En las secciones hidrogeológicas se observan las direcciones de flujo para el primer sistema, que corresponde a la zona somera concordante con las capas permeables de gravas y limos de los depósitos no consolidados y rocas intemperizadas, suprayacentes al basamento rocoso no intemperizado, donde el flujo se presenta en la base de esta zona, generalmente subparalelo al drenaje superficial con direcciones de flujos hacia los drenajes secundarios como las quebradas locales. El segundo sistema representa el flujo a profundidad en los basamentos de roca con direcciones de flujo preferente hacia los drenajes principales, como es el río San Juan. Según los piezómetros profundos instalados en la cercanía a las labores subterráneas de la UM Cerro de Pasco se ha definido que, estos piezómetros, presentan los niveles deprimidos como consecuencia del

drenaje de mina subterránea, indicando un efecto directo del sistema profundo, por el efecto de bombeo desde las labores mineras subterráneas.

Respecto a la zona de extensión del Tajo Raúl Rojas, se estima que la profundidad máxima de profundización del tajo sería de 50 m (equivalente a 4265 msnm), según la información y análisis de piezómetros en su entorno próximo, indican que, la extensión del Tajo Raúl Rojas se desarrollará en una zona donde la influencia por el bombeo de las labores mineras subterráneas han deprimido los niveles de agua subterránea del sistema profundo hasta niveles más bajos que la máxima profundización de la extensión del Tajo Raúl Rojas; sin embargo, se ha determinado la existencia un sistema somero local distribuido en los horizontes más permeables que se sitúan justo en el contacto con la roca intemperizada en lo que se denomina capa de transición o capa con mayor fracturación; en ese sentido, se presume que, la parte más profunda de la extensión del tajo podría interceptar este sistema somero, generando unas filtraciones hacia el tajo, desde la zona oeste (Figura 8-4).

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

Damos por aceptado la hipótesis de que: La determinación hidrogeológica de la UM. Cerro de Pasco, si permitirá describir el funcionamiento hidrodinámico del Tajo Raúl Rojas – 2022.

Debido a que al realizar la evaluación e interpretación geológica y hidrogeológica

Se podrá determinar los parámetros hidráulicos adecuados que permite la caracterización hidrodinámica del open pit.

Así mismo, se acepta las hipótesis específicas dado que:

- Las características geológicas de la UM Cerro de Pasco, si influyen en la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas, donde se identificaron ocho unidades hidrogeológicas.
- Las características hidrogeológicas de la UM Cerro de Pasco, si influyen en la caracterización hidrodinámica del Tajo Raúl Rojas, al encontrarse dos sistemas hidrogeológicos a nivel profundo y somero.

#### **4.4. Discusión de resultados**

La determinación hidrogeológica de la UM, Cerro de Pasco, con el propósito de describir el funcionamiento hidrodinámico del Tajo Raúl Rojas, se encuentra controlada geológicamente por la falla Cerro de Pasco, que también es la causante de la mineralización en este sector, hidrodinámicamente la ampliación del tajo Raúl Rojas es considerado un tajo seco dado que no intercepta al sistema de flujo subterráneo. Las características geológicas de la UM. Cerro de Pasco, influyeron en caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas, encontrando ocho unidades hidrogeológicas.

Por otro lado, las características hidrogeológicas de la UM. Cerro de Pasco, influyeron en la caracterización Hidrodinámica del Tajo Raúl Rojas, donde se evidencio dos sistemas hidrogeológicos; a nivel somero y a nivel profundo. Que tiene un régimen hidrológico superficial no teniendo interacción con el sistema hidrogeológico profundo debido a que el sector aún se encuentra con un sistema de drenaje de las labores subterráneas que se encuentra por debajo.

Hidrodinámicamente el tajo Raúl Rojas es considerado un tajo seco dado que no intercepta al sistema de flujo subterráneo, producto de la depresión del constante bombeo en las labores inferiores de la mina subterránea ubicado bajo el tajo Raúl Rojas, haciendo que el nivel freático forme un cono de abatimiento

en este sector. Durante la época de lluvia, la escorrentía superficial generada en las paredes del tajo es captada por cunetas impermeabilizadas y conducidas hacia dos pozas ubicadas en la primera rampa y en la rampa Chasqui del Tajo, para luego ser bombeadas hacia la planta de neutralización. Durante la época de lluvia, la escorrentía superficial generada en las paredes del tajo es captada por cunetas impermeabilizadas y conducidas hacia dos pozas ubicadas en la primera rampa y en la rampa Chasqui del Tajo, para luego ser bombeadas hacia la planta de neutralización.

El flujo que no es captado por las cunetas va hacia el fondo del tajo y se infiltra al sistema de flujo subterráneo. Los flujos provenientes de la infiltración en el tajo son captados a través de las labores mineras y bombeados a superficie para ser conducidos a la planta neutralizadora.

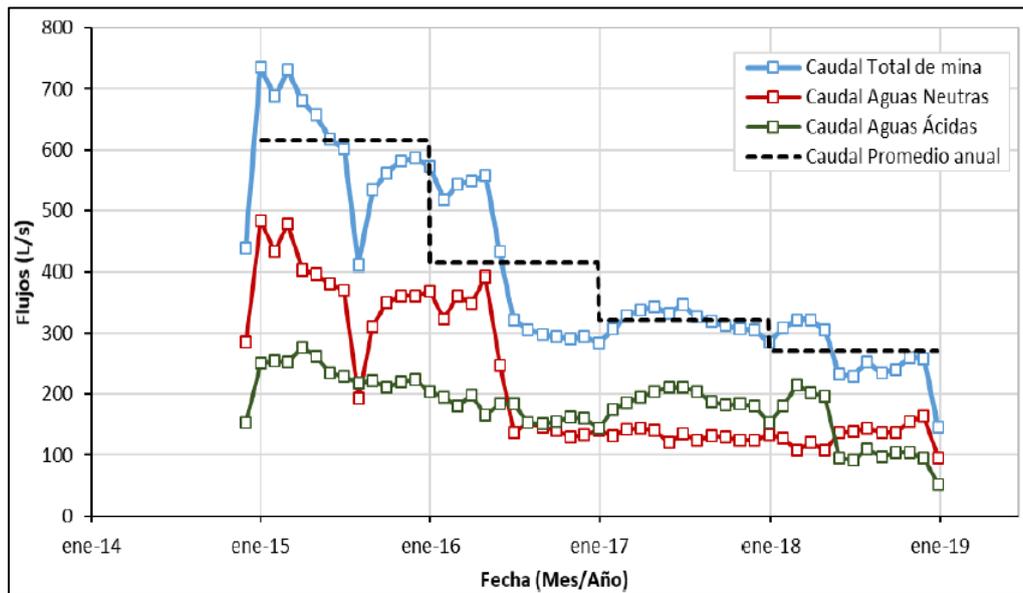
Las características geológicas de la UM Cerro de Pasco, influyeron en la caracterización hidrogeológica del Tajo Raúl Rojas, ya que el macizo rocoso (rocas sedimentarias de la formación Pucará) que afloran en el sector este del tajo Raúl Rojas, lo constituyen rocas generalmente de moderada a alta permeabilidad, haciendo que el nivel freático en este sector se encuentre más tendido en comparación al sector W, donde las rocas del grupo excelsior, volcánicas e intruidas, se comportan como medios de baja permeabilidad debido a los procesos de meteorización química de la roca, presentando niveles de agua con comportamiento más somero o superficial. Ambas unidades geológicas se encuentran dividida por la Falla Cerro de Pasco la cual presenta comportamiento hidráulico de estructura drenante, influenciando de manera directa la morfología de la superficie piezométrica, esta falla representa una vía preferente para el

movimiento del flujo subterráneo, motivo por el cual conduce todas las aguas que interaccionan con esta y son conducidas hacia la mina subterránea.

El tajo abierto Raúl Rojas tiene una extensión de 123.84 Ha y una profundidad aproximada de 500 metros. Este tiene un régimen hidrológico superficial no teniendo interacción con el régimen de flujo subterráneo. Los procesos que se dan en las paredes del tajo están asociados principalmente por infiltración y escorrentía con escasa evaporación debido a la baja capacidad de retención del medio. Asimismo, se destaca que los procesos de escorrentía se presentan principalmente por aquellos sectores en los que la superficie del terreno presenta materiales más compactos pero las aguas terminan infiltrando hacia el subsuelo formando parte de la recarga de agua hacia las labores subterráneas que se encuentran por debajo.

La mina subterránea, ubicada específicamente por debajo del tajo Raúl Rojas, en la actualidad alcanza un flujo de drenaje promedio anual de 296 l/s, estos flujos están conformados por 02 grupos, diferenciados entre sí por su comportamiento químico (aguas neutras y ácidas). Sobre la base de lo manifestado por UM Cerro, la mayor cantidad de agua de drenaje de mina proviene de los niveles que interaccionan con los macizos rocosos sedimentarios, lo cual resulta coherente con el comportamiento hidráulico que presentan estos materiales, los cuales presentan un grado moderado de fracturación y en consecuencia una permeabilidad moderada a alta, asociada con la porosidad secundaria del medio. La Figura 39 muestra la evolución de los flujos de drenaje de la mina subterránea.

**Figura 42.** Evolución de los flujos de la mina subterránea



## CONCLUSIONES

- Según el contexto geológico e información y resultados colectados durante las investigaciones hidrogeológicas de campo, que fueron utilizados como base para determinar las unidades de similares características hidrogeológicas, fueron identificadas un total de ocho (8) unidades hidrogeológicas (UH):
  - Unidad Hidrogeológica (UH) de Depósitos No Consolidados;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) de Roca Intemperizada;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) Pocobamba - Calera;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) de Rocas Intrusivas;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) Goyllarisquizga;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) Pucará;
  - Unidad Hidrogeológica (UH) Mitu; y
  - Unidad Hidrogeológica (UH) Cabanillas
  
- La principal fuente de recarga que alimenta al sistema de agua subterránea en el área de la UM Cerro de Pasco es la precipitación. El agua subterránea fluye desde los altos topográficos que rodean la cuenca hidrográfica, hacia las quebradas en los fondos de los valles. El agua subterránea se recarga en estos altos topográficos, según los piezómetros instalados a distintas profundidades (somero y profundo), se observan diferencias importantes en los niveles de agua subterránea; los niveles someros típicamente corresponden a las zonas más permeables, que reciben la recarga directa de las lluvias en forma rápida a través de los depósitos no consolidados y zonas intemperizadas del basamento rocoso; mientras que, el nivel profundo en muchos casos corresponde a un sistema semiconfinado o confinado del basamento rocoso, donde la respuesta a las lluvias es más lenta y atenuada.

- El caudal de bombeo total del agua del interior de las labores mineras subterráneas es 428 l/s; sin embargo, se considera que el caudal de 302 l/s registrado durante el 2021, refleja las condiciones de caudales actuales de las labores mineras subterráneas. Generalmente, según el registro histórico, se tiene una variación de caudales de 100 l/s por efecto de la estacionalidad entre época húmeda y seca.
- Según diferencias en los niveles de agua subterránea; los niveles someros típicamente corresponden a las zonas más permeables, que reciben la recarga directa de las lluvias en forma rápida a través de los depósitos no consolidados y zonas intemperizadas del basamento rocoso; mientras que, el nivel profundo en muchos casos corresponde a un sistema semiconfinado o confinado del basamento rocoso, conformado por las unidades del basamento de roca, donde la respuesta a las lluvias es más lenta y atenuada. Por lo tanto, se interpretan dos sistemas de flujo de agua subterránea.
- El primer sistema hidrogeológico, corresponde a la zona somera concordante con las capas permeables de gravas y limos de los depósitos no consolidados y rocas intemperizadas, el flujo se presenta en la base de esta zona, generalmente subparalelo al drenaje superficial con direcciones de flujos hacia los drenajes secundarios como las quebradas locales. La profundidad y extensión lateral de esta zona intemperizada es muy acotada en extensión (limitada). Este sistema somero también ofrece la oportunidad para una infiltración hacia estratos más profundos, donde existen vías permeables (fracturas, fallas) y recargan al sistema de flujo profundo.
- En el entorno cercano al tajo Raúl Rojas las zonas saturadas temporales del sistema somero estarían conectadas con las labores subterráneas más profundas; según información, se tienen registros de ingresos de agua (filtraciones) que ocurren en todos los niveles de labores mineras más superficiales desde el nivel 800 (4056

msnm) (nivel que corresponde a una zona no saturada por el efecto de desaguado de la mina).

- El segundo sistema hidrogeológico profundo, lo conforma las zonas del basamento de roca a profundidad. El flujo presenta direcciones preferentes hacia los drenajes principales de las cuencas hidrográficas o en direcciones preferentes a través de zonas de fallas. Los niveles de agua subterránea, en el entorno próximo al Tajo Raúl Rojas, se encuentran en descenso, como consecuencia del drenaje de la mina subterránea, indicando un efecto directo del sistema profundo por el efecto del bombeo de las labores mineras subterráneas a profundidad, lo cual genera un cono de descenso.
- La zona de extensión del Tajo Raúl Rojas tiene una profundidad máxima de profundización del tajo de 50 m (equivalente a 4265 msnm), según la información y análisis de piezómetros en su entorno próximo, indican que, la extensión del Tajo Raúl Rojas se desarrollará en una zona donde la influencia por el bombeo de las labores mineras subterráneas han deprimido los niveles de agua subterránea del sistema profundo hasta niveles más bajos que la máxima profundización de la extensión del Tajo Raúl Rojas; sin embargo, se ha determinado la existencia un sistema somero local distribuido en los horizontes más permeables que se sitúan justo en el contacto con la roca intemperizada en lo que se denomina capa de transición o capa con mayor fracturación; en ese sentido, se presume que, la parte más profunda de la extensión del tajo podría interceptar este sistema somero, generando unas filtraciones hacia el tajo, desde la zona oeste.

## **RECOMENDACIONES**

- Establecer un protocolo para la configuración, descarga y procesamiento de la data meteorológica registrada en la estación local, que incluya el intervalo de registro, la unidad de descarga y la metodología para el procesamiento de cada variable meteorológica. De esta manera la data registrada en la estación local estará estandarizada bajo el mismo criterio y ofrecerá valores más confiables.
- Establecer las medidas necesarias para complementar la caracterización hidrogeológica mediante la construcción de piezómetros en el sector este de la UM Cerro de pasco, específicamente en los macizos rocosos sedimentarios. Gestionar los permisos tanto administrativos como con las comunidades para que faciliten la accesibilidad a dichos sectores.
- Continuar con el monitoreo de los flujos provenientes de mina, con el objetivo de tener actualizado el comportamiento y las variaciones de los flujos del área.
- Evaluar la presencia de posibles procesos kársticos relacionados principalmente con los macizos rocosos sedimentarios (rocas carbonatadas o calizas).
- Realizar un muestreo más extendido de agua subterránea que ingresa al Tajo Abierto, adicionales a los puntos de colección principal de agua en la mina subterránea. En particular se recomienda tomar muestras del agua subterránea entrando en la mina subterránea en la fase del cierre, cuando el agua empieza a una posible inundación de la mina subterránea.

## BIBLIOGRAFÍA

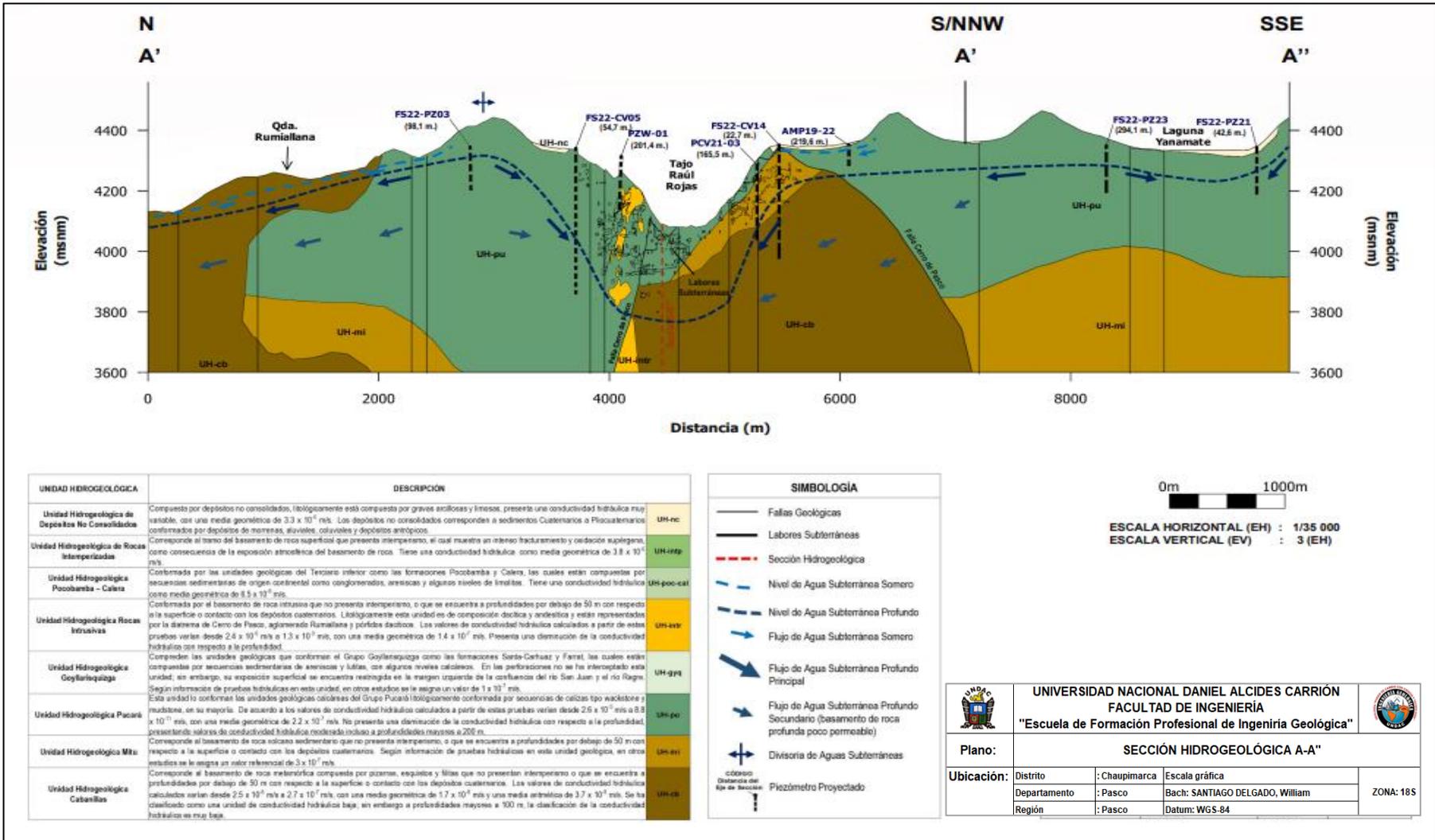
- Álvarez, G., & Edson, K. (15 de Marzo de 2023). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estudioshirogeologicos.com>
- Amphos21. (2020). *Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de las Instalaciones de la UM Cerro de Pasco: Depósitos de Aguas Ácidas Yanamate, Tajo Abierto Raúl, Stock Piles, Botadero de desmonste Hanancocha, Miraflores y Rumiallana*. Cerro de Pasco: Amphos21.
- Cabello, C. (20 de Marzo de 2008). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.hidrologiaminera.com>
- Consultoría, W. S. P. (2023). *Primera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la UM Cerro de Pasco - Informe de data Meterológica*. Cerro de Pasco: WSP.
- Cueva, E., Carlotto, V., & Rodríguez, R. (8 de Mayo de 2011). *INGEMMET*. Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/106>
- Custodio Gimena, E., & Ramon Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Ediciones Omega.
- De La Cruz, N., & David, H. (19 de Junio de 2015). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.geologiasubterranea.com>
- FloSolutions. (2022). *Informe de Actividades de Campo - Estación Húmeda*. Lima, Perú: FloSolutions.
- Freeze, R. A., & Whitherspoon, P. A. (1967). *Theoretical analysis of regional groundwater flow*. New Jersey: Englewood Cliff.
- GWI, G. W. (2007). *Investigación Hidrogeológica de la Mina*. Cerro de Pasco: GWI.
- Huaraya, O., & Washinton, J. (12 de Noviembre de 2020). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.ensayoshirogeologicos.com>
- Hubbert, M. K. (1940). *The theory of groundwater motion*. Texas EE. UU.: Sciencia.
- Nolasco Ibia, M. (12 de Diciembre de 2020). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estudiohirogeologico.com>
- Olaya, S., & Israel. (12 de Octubre de 2019). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estudioshirogeologicos.com>
- Quide Barrientos, K. (24 de Agosto de 2018). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.hirogeologiadelperu.com>
- Quintana Huaricapcha, M. E. (15 de Septiembre de 2021). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estimaciomeshirogeologicas.com>

- Ramos , & Ramos Espinoza, E. M. (19 de Julio de 2018). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estudioshirogeologicos.com>
- Robles, V. M. (26 de Febrero de 2007). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.hidrogeologia.com>
- Rojas Delgado, K. N. (6 de Abirl de 2016). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.estudioshirotermicos.com>
- Salazar Herrera, J. E. (12 de Abril de 2014). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.hidrodinamica-de-una-mina-cielo-abierto.com>
- Sánchez San Román, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Toth, J. (1962). *A theory of groundwater motion in small drainage basins in centra*. New Jersy: Scienca.
- Toth, J. (1963). *A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins*. New Jersy: Scienca.
- Ünsal, B. (12 de Diciembre de 2013). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.geolgiahidrogeología.com>
- Vaca, C., & Nathaly, A. (9 de Junio de 2017). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.temashidrogeológicos.com>
- Vizcarra Alponete, W. J. (28 de Febrero de 2017). *Google Académico*. Obtenido de <http://www.varacteristicashirogeologicas.com>

# **ANEXOS**

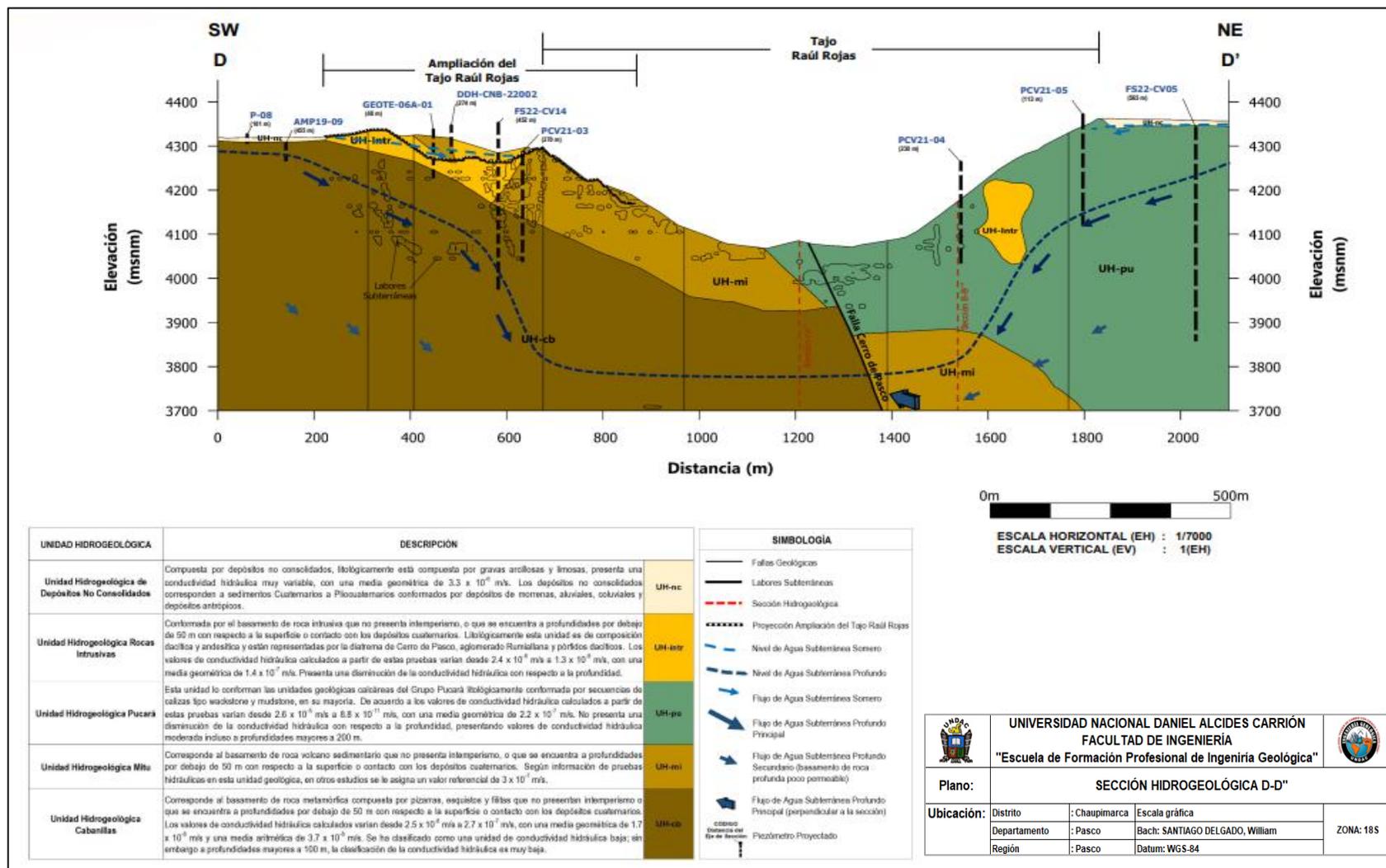


## Anexo 2. Sección Hidrogeológica A – A''



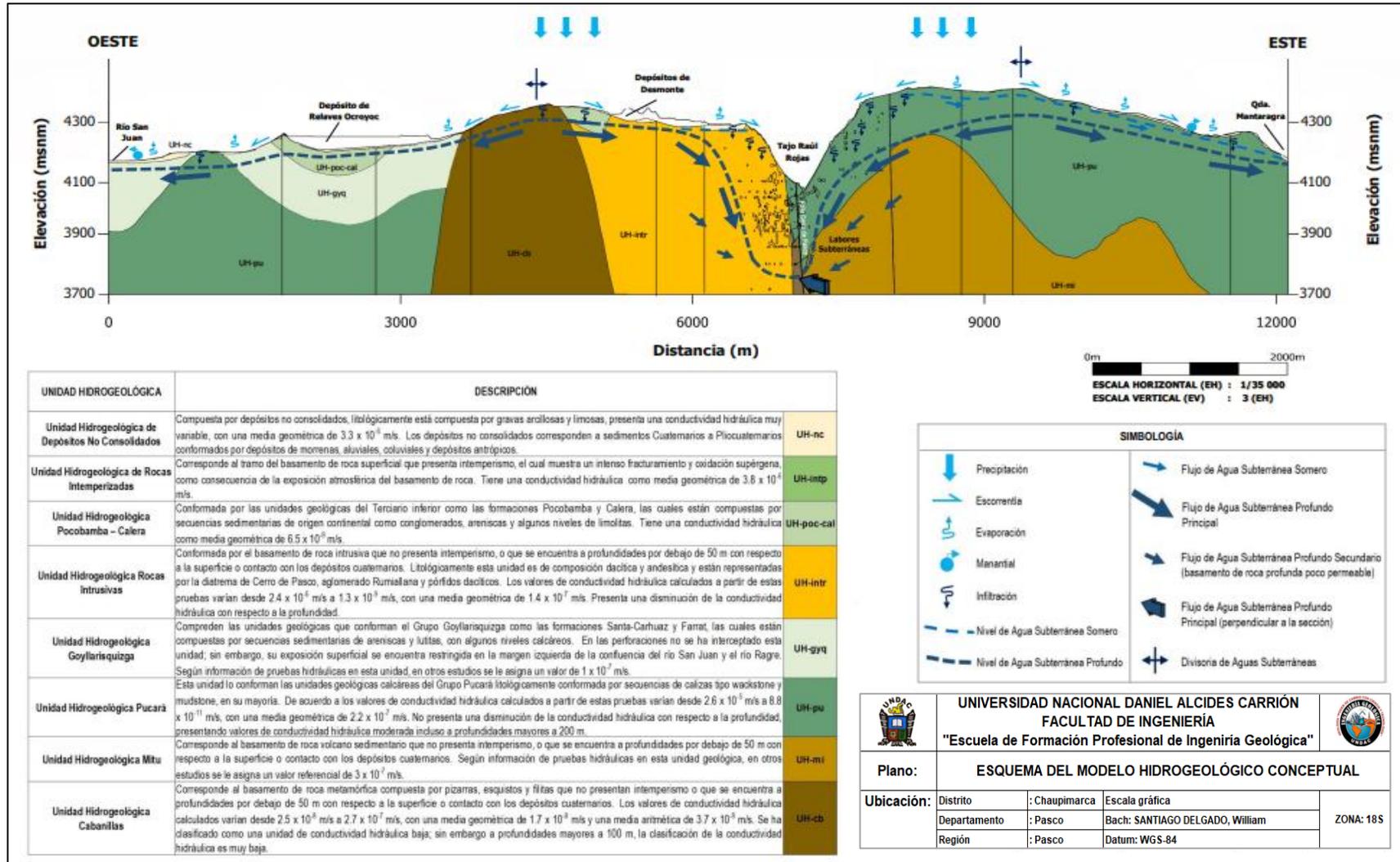


### Anexo 4. Sección Hidrogeológica D – D''

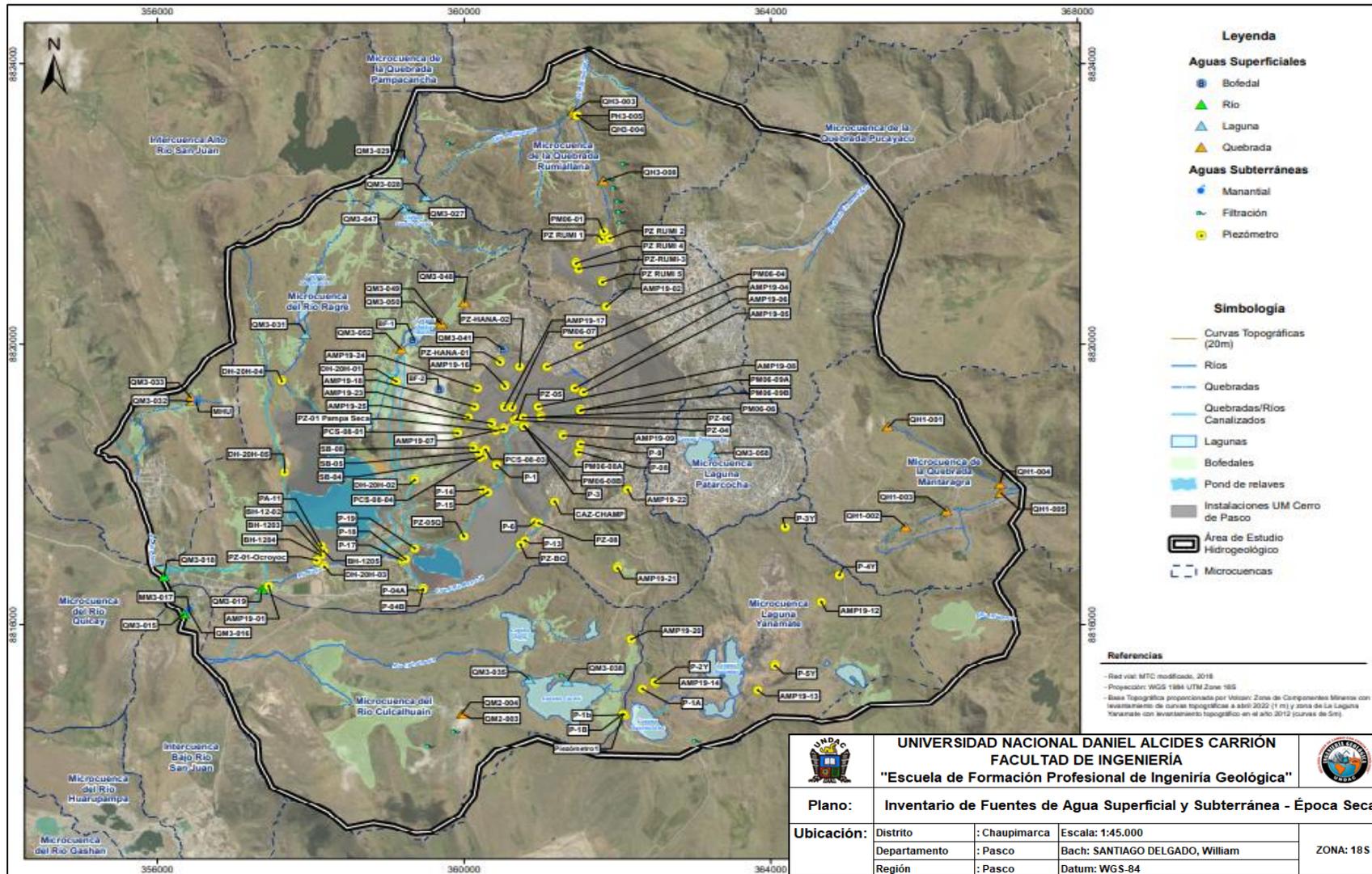


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>"Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica"</b>			
Plano:	SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA D-D''		
Ubicación:	Distrito	: Chaupimarca	Escala gráfica
	Departamento	: Pasco	Bach: SANTIAGO DELGADO, William
	Región	: Pasco	Datum: WGS-84
			ZONA: 18S

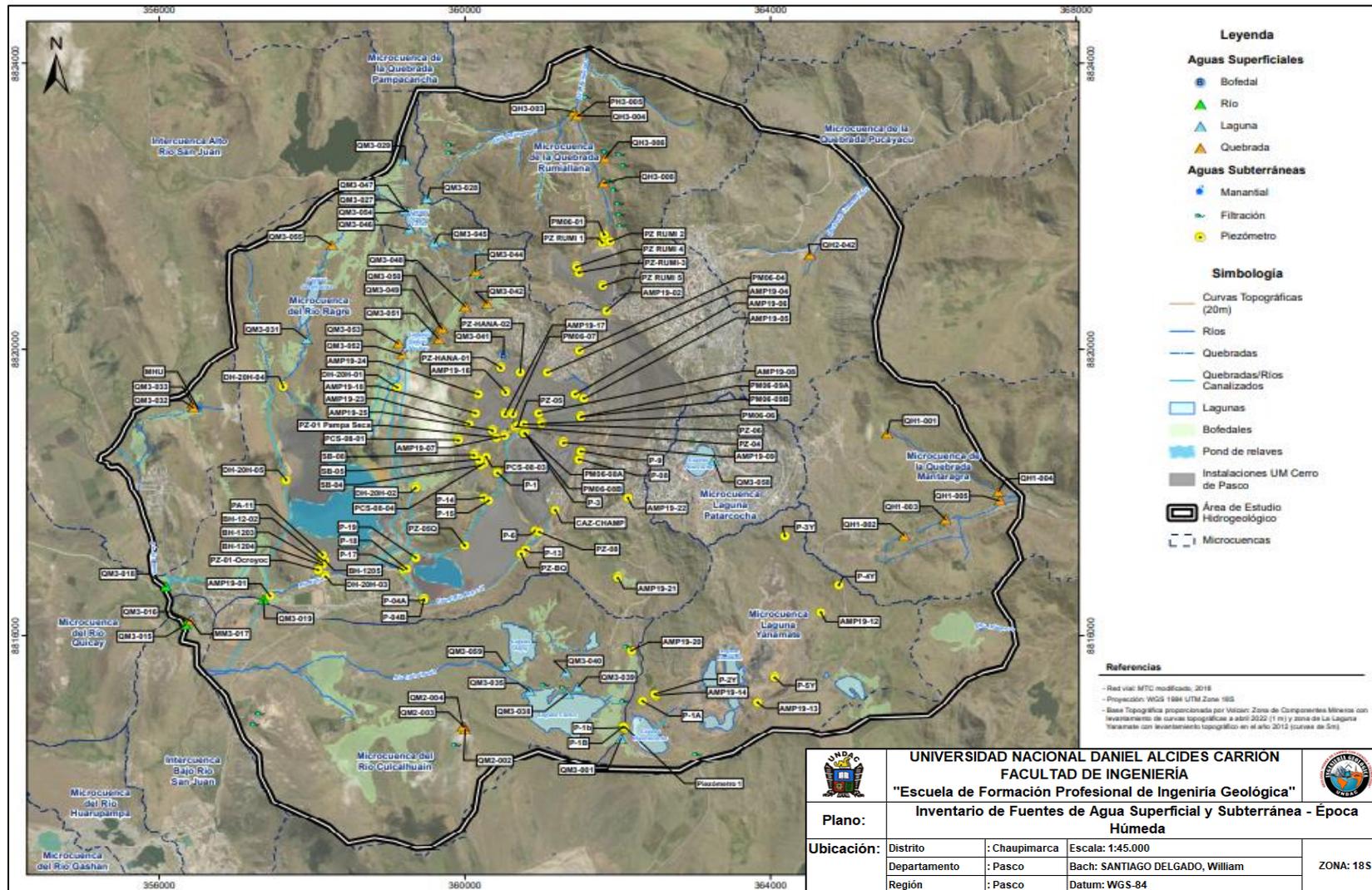
### Anexo 5. Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual



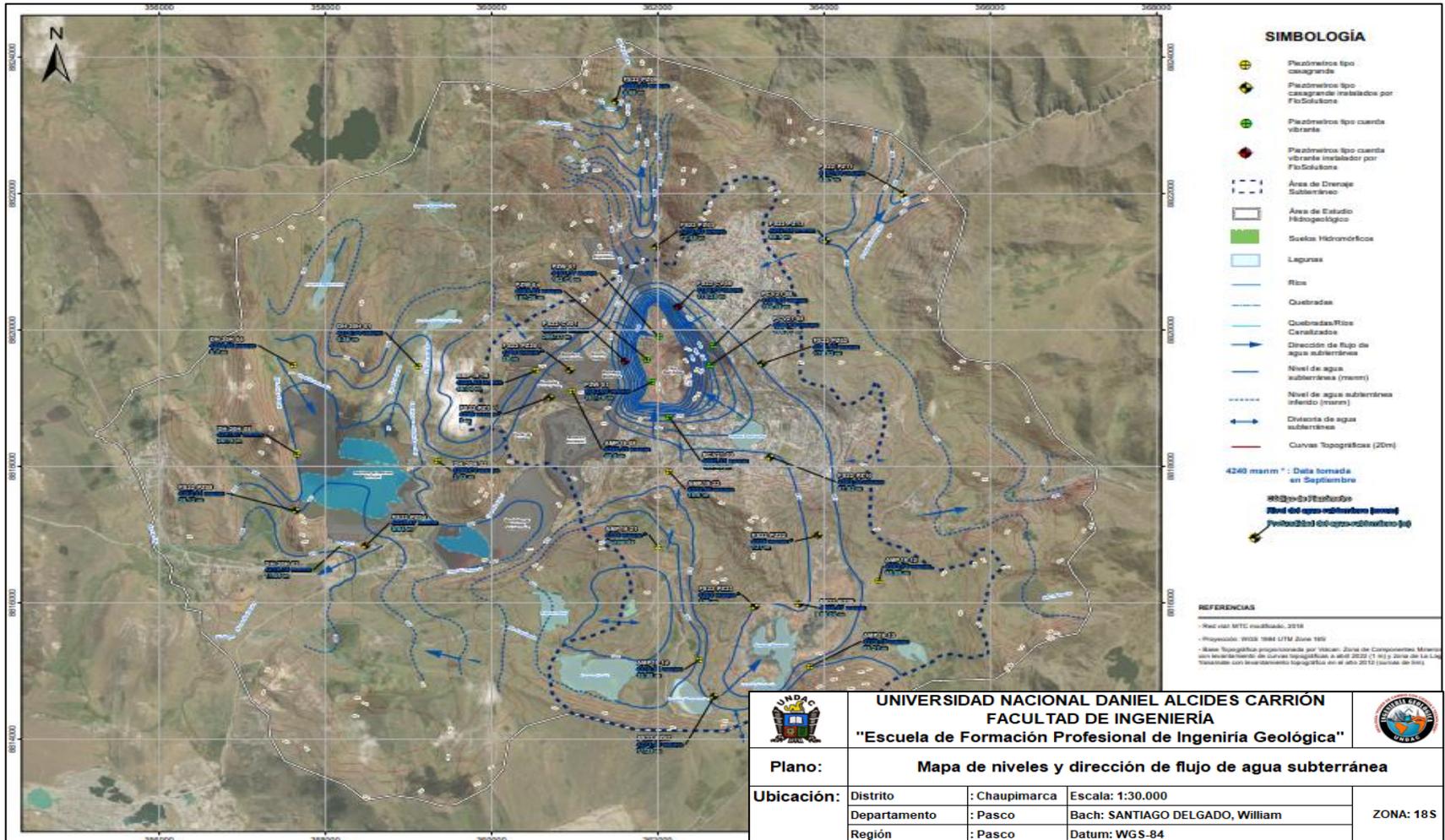
## Anexo 6. Mapa de Inventario de Fuentes de Agua Superficial y Subterránea - Época Seca



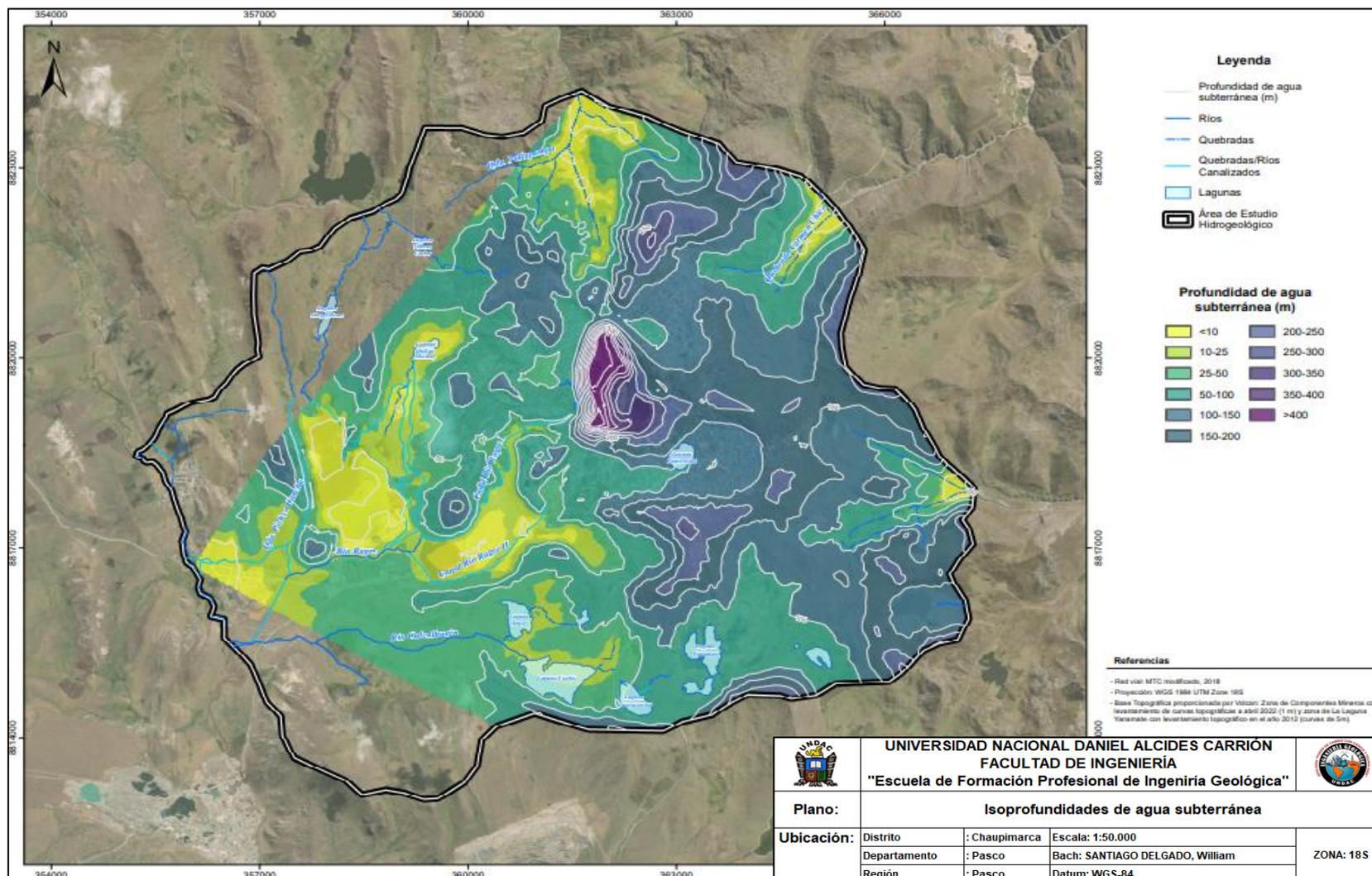
## Anexo 7. Mapa de Inventario de Fuentes de Agua Superficial y Subterránea - Época Húmeda



Anexo 8. Mapa de niveles y dirección de flujo de agua subterránea



### Anexo 9. Mapa de isopropfundidades de agua subterránea



## Anexo 10. Estaciones Meteorológicas

