

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



TESIS

Estudio Hidrogeológico de la Minera Aurífera
Retamas, 2019

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor : Bach. Kenedy Kenyi ESPINOZA AYALA

Asesor : Mg. Eder Guido ROBLES MORALES

Cerro de Pasco – Perú - 2019

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



TESIS

Estudio Hidrogeológico de la Minera Aurífera
Retamas, 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Reynaldo MEJIA CACERES
PRESIDENTE

Mg. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO
MIEMBRO

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

DEDICATORIA

Agradecer a Dios por sus bendiciones y su protección inconmensurable, a mis Padres Charles Espinoza y Emma Ayala por su apoyo incondicional en todo momento, a los ingenieros de mi alma mater que me guiaron en mi formación profesional y a todas las personas que hicieron realidad este proyecto.

Gracias.

RECONOCIMIENTO

Se realiza el reconocimiento a mi asesor el Ing. Eder Robles Morales que me guio en todo momento para la elaboración de la presente tesis y a todos los profesionales que me apoyaron con sus experiencias compartidas a lo largo de mi formación profesional.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en sus entrañas aprendí el camino de la formación profesional y realización como persona.

Gracias.

RESUMEN

Se estudió hidrogeológicamente la zona de estudio perteneciente a la Minera Aurífera Retamas con el objetivo de caracterizar hidrogeológicamente la zona de para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas. Es una investigación para evaluar las condiciones hidrogeológicas de las relaveras actuales y proyectadas, además del futuro depósito de desmonte y con base en el entendimiento del sistema hidrogeológico y sus características en general, se podrá tener una herramienta adicional para planificar con mayor eficacia futuros proyectos en las operaciones mineras y tenerlo como base para el desarrollo de estudios correspondientes a mayor detalle. Se utilizó como instrumento de investigación las guías de observación, los análisis de contenido, hoja de registros de datos de perforación y muestreo, libreta de campo, perforadoras de aire reverso para evaluar las características del agua. En el estudio se utilizó el método científico con todos sus procedimientos y como método específico el descriptivo el que nos ayudará buscar la información de los hechos o fenómenos de la realidad, recopilando los datos sobre las variables a investigar. Con la investigación hidrogeológica pudo obtenerse resultados significativos, identificando 71 quebradas de las cuales 60 son permanentes y 11 temporales, con respecto a las quebradas permanentes, su caudal varía entre 0.15 y 795 L/s siendo predominantes los valores altos en aquellas quebradas de mayor orden. Se definieron 6 unidades hidroestratigráficas según su capacidad para transmitir agua. Finalmente se obtuvo el modelo hidrogeológico conceptual donde coexisten diferentes materiales geológicos que presenta distinto comportamiento en términos hidrogeológicos.

Palabras clave: Hidrogeología, piezómetro, nivel freático.

ABSTRACT

The study area belonging to the Retamas Gold Minera was studied hydrogeologically with the objective of hydrogeologically characterizing the area to develop a global concept of the behavior of the water system in the Retamas UEA. It is an investigation to evaluate the hydrogeological conditions of the current and projected tailings, in addition to the future clearing tank and based on the understanding of the hydrogeological system and its characteristics in general, an additional tool may be available to plan future projects more effectively in mining operations and have it as the basis for the development of studies corresponding to greater detail. Observation guides, content analysis, drilling and sampling data record sheet, field notebook, reverse air drills were used as a research instrument to assess water characteristics. In the study the scientific method was used with all its procedures and as a specific method the descriptive one that will help us to find the information of the facts or phenomena of reality, collecting the data on the variables to investigate. With the hydrogeological investigation significant results could be obtained, identifying 71 streams of which 60 are permanent and 11 temporary, with respect to the permanent streams, their flow varies between 0.15 and 795 L / s, with high values prevailing in those of higher order streams. 6 hydro-stratigraphic units were defined according to their capacity to transmit water. Finally, the conceptual hydrogeological model was obtained, where different geological materials coexist, presenting different behavior in hydrogeological terms.

Keywords: Hydrogeology, piezometer, water table.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación: **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA MINERA AURÍFERA RETAMAS, 2019** se realiza con el propósito de caracterizar hidrogeológicamente la zona de estudio para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas.

La delimitación del área de estudio se realiza con base en la inclusión de todos los componentes mineros actuales, proyectados y de cierre progresivo, en límites hidrogeológicos, es así que el límite Norte es el río Llacuabamba, el Oeste es el río Huinchus y el Este y Sur es la divisoria de aguas superficial de la microcuenca del río Porvenir, cubriendo un área de 25 km².

Existe el problema que se deberá integrar los componentes de la UEA Retamas en superficie y en el subsuelo poniendo énfasis en aquellos que se encuentran operativos y los proyectados, de esta manera se desarrollará un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas, por lo que se formula el siguiente problema: ¿Cuáles son las características hidrogeológicas de la zona de estudio para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas?

En el desarrollo de la investigación se ha aplicado el método descriptivo el cual nos ayuda a buscar información de los hechos de la realidad, recopilando los datos sobre las variables a investigar.

El contenido del presente trabajo de investigación consta de 4 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento de los problemas de investigación; en el cual se describe la realidad problemática, se formula el problema, la justificación y se establecen los objetivos de la investigación. En el segundo capítulo, se presenta el marco teórico. En el tercer capítulo, trata de la metodología del estudio. En el cuarto capítulo, se presenta los resultados y discusión de la investigación. Finalmente se presenta las conclusiones, las recomendaciones, la bibliografía y los anexos respectivos.

El autor.

ÍNDICE

CARATULA
DEDICATORIA
RECONOCIMIENTO
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN
ÍNDICE

CAPITULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

	Pág.
1.1 Identificación y determinación del problema	1
1.2 Delimitación de la Investigación	1
1.3 Formulación del problema	2
1.3.1 Problema general	
1.3.2 Problemas específicos	
1.4 Formulación de Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	
1.3.2 Objetivos Específicos	
1.5. Justificación de la investigación	4
1.6 Limitaciones de la investigación	4

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.2. Bases teóricos - científicas	8
2.3. Definición de términos básicos	17
2.4 Formulación de Hipótesis	20
2.4.1 Hipótesis General	
2.4.2 Hipótesis específicos	
2.5 Identificación de las variables	21

2.5.1	Variables independientes	
2.5.2	Variables dependientes	
2.6	Definición Operacional de variables e indicadores	21

CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de investigación	22
3.2	Métodos de investigación	22
3.3	Diseño de investigación	23
3.4	Población y muestra	23
	3.3.1. Población	
	3.3.2. Muestra	
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	25
3.7	Tratamiento estadístico	25
3.8	Selección, Validación y Confiabilidad de los instrumentos de Investigación	25
3.9	Orientación ética	25

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Descripción del Trabajo de Campo	26
4.2	Presentación, análisis e interpretación de resultados	40
4.3	Prueba de Hipótesis	109
4.4	Discusión de resultados	110

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1:** Mapa de ubicación del área de estudio
FIGURA 2: Variación de Temperatura
FIGURA 3: Precipitación vs Altitud
FIGURA 4: Diagrama de Precipitación mensual estimada
FIGURA 5: Mapa Hidrográfico
FIGURA 6: Diagrama fluvial de la microcuenca del río Llacuabamba
FIGURA 7: Descomposición del hidrograma
FIGURA 8: Distribución de afloramientos volcánicos de la formación tres lagunas
FIGURA 9: Mapa Geológico
FIGURA 10: Perfil Geológico
FIGURA 11: Fotografía del Afloramiento de Cuarzitas quebrada Mush Mush y Laguna Blanca
FIGURA 12: Fotografía Metapelitas e intrusivo
FIGURA 13: Fotografía afloramiento de cuarzitas granoblásticas
FIGURA 14: Fotografía afloramiento de formación lavasen
FIGURA 15: Fotografía Quebrada y Cerro Balcones
FIGURA 16: Fotografía veta de cuarzo lechoso en cerro Cabana Alta
FIGURA 17: Fotografía de Bloques erráticos
FIGURA 18: Fotografía de depósitos fluvioglaciares
FIGURA 19: Fotografía de depósitos Coluviales
FIGURA 20: Fotografía de Terraza Aluvial
FIGURA 21: Fotografía del afloramiento del Batolito de Pataz en la Quebrada Pomachay
FIGURA 22: Mapa de inventario de aguas Norte, Centro y Sur del área de estudio
FIGURA 23: Fuentes de Agua Superficial
FIGURA 24: Temporalidad de los manantiales
FIGURA 25: Valores de Permeabilidad promedio de la litología local
FIGURA 26: Diagrama Scholler
FIGURA 27: Diagrama Piper
FIGURA 28: Diagrama Stiff
FIGURA 29: Mapa hidrogeológico
FIGURA 30: Perfil hidrogeológico
FIGURA 31: Área tributaria de la microcuenca del Río Llacuabamba
FIGURA 32: Croquis del balance Hídrico
FIGURA 33: Componentes Hidrológicos del Balance
FIGURA 34: Croquis del balance hídrico con caudales calculados
FIGURA 35: Modelo Hidrogeológico conceptual

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1:** Estación Meteorológica representativa del área de estudio
TABLA 2: Temperatura media mensual
TABLA 3: Calculo de Evotranspiración Potencial
TABLA 4: Estaciones Meteorológicas
TABLA 5: Precipitación mensual estimada
TABLA 6: Parámetros geomorfológicos del río Llacuabamba
TABLA 7: Numero de curvas de escorrentía del río Llacuabamba
TABLA 8: Escorrentía directa para la microcuenca del río Llacuabamba
TABLA 9: Caudales históricos E-6
TABLA 10: Caudales históricos E-21
TABLA 11: Principales características de las fuentes de agua superficial
TABLA 12: Principales características de las fuentes de agua subterránea (manantiales)
TABLA 13: Principales características de las fuentes de agua subterránea (Piezómetros)
TABLA 14: Principales características de agua de mina
TABLA 15: Unidades Hidroestratigráficas
TABLA 16: Área de la microcuenca del Río Llacuabamba
TABLA 17: Cálculo de Recarga
TABLA 18: Recarga al acuífero por infiltración de agua de lluvia
TABLA 19: Escorrentía Superficial por agua de lluvia
TABLA 20: Puntos de captación de agua para fines mineros y caudales asociados
TABLA 21: Caudal medio en los puntos de captación
TABLA 22: Descarga de efluentes punto P-7
TABLA 23: Descarga de efluentes punto P-10
TABLA 24: Aportes de agua subterránea a los Cauces Naturales
TABLA 25: Balance Hídrico en la Microcuenca del Río Llacuabamba
TABLA 26: Caudales del Río Llacuabamba en el punto de monitoreo E-21

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Los impactos de la explotación minera en el contexto mundial, nacional y local constituyen una preocupación de parte del estado, de las autoridades y de los habitantes del entorno donde se desarrolla la actividad minera.

Los efectos que genera la minería son diversos y se presentan en las diferentes etapas de la explotación ya sea subterránea o a cielo abierto y uno de ellos está vinculado a las aguas subterráneas y por ende a los acuíferos.

La Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA), ha desarrollado de manera separada estudios hidrológicos, hidrogeológicos y de ingeniería con el fin de evaluar las condiciones hidrogeológicas de las relaveras actuales y proyectadas, además del futuro

depósito de desmonte. Sin embargo, no se han hecho estudios específicos en el entorno de algunos componentes mineros que podrían causar contaminación a los recursos hídricos locales. Tampoco se han hecho estudios hidrogeológicos dentro de la mina subterránea, los cuales deberían servir para evaluar la interacción con los componentes mineros de superficie y para futuras ampliaciones o para planificar el cierre de la mina.

1.2. Delimitación de la Investigación

Conociendo el sistema hidrogeológico y sus características en general, La Minera Aurífera Retamas, podrá tener una herramienta adicional para planificar con mayor eficacia futuros proyectos en las operaciones mineras y tenerlo como base para el desarrollo de estudios correspondientes a mayor detalle.

1.3. Formulación del problema

El estudio hidrogeológico deberá integrar los componentes de la UEA Retamas en superficie y en el subsuelo poniendo énfasis en aquellos que se encuentran operativos y los proyectados, de esta manera se desarrollará un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas, por lo que se formula el siguiente problema:

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las características hidrogeológicas de la zona de estudio para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas, 2019?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las formaciones geológicas que almacenan y transmiten agua subterránea?
- ¿Cuál es el modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero de la U. E. A. Retamas, que involucra un diagrama de flujos y un balance hídrico del agua superficial y subterránea circulante?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas, 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las formaciones geológicas que almacenan y transmiten agua subterránea.
- Conocer el modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero de la U. E. A. Retamas, que involucra un diagrama de flujos y un balance hídrico del agua superficial y subterránea circulante.

1.5. Justificación de la investigación

Se justifica el estudio porque constituirá una herramienta básica, que brindará información hidrogeológica, para caracterizar el acuífero, y determinar si la napa freática tiene un control importante de la topografía y el sentido del flujo de agua subterránea es consistente al correspondiente del agua superficial ubicando zonas de captación como zonas de recarga y protección de acuíferos.

El presente trabajo de investigación es de análisis y detalle de ingeniería y de esta manera desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas.

El estudio hidrogeológico tiene alcance en la integración de los componentes de la UEA Retamas en superficie y en el subsuelo poniendo énfasis en aquellos que se encuentran operativos y los proyectados, en los cuales involucra la mina subterránea, la presa de relaves, la planta de degradación de cianuro, pozas ubicadas en la zona denominada manganeso, la poza de grandes eventos, la disposición del relleno hidráulico, relleno sanitario, los proyectados depósito de relaves y depósito de desmontes.

1.6. Limitaciones

- ✓ El estudio está limitado a la zona de estudio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

La UEA Retamas desarrolla su producción por medio de minería subterránea. El yacimiento conocido como Cerro El Gigante, que viene explorando y explotando sostenidamente hace 36 años, se encuentra ubicado en el Batolito de Pataz, que forma parte del complejo geológico del Marañón, rico en concentraciones de oro y plata. Se encuentra ubicada a 3,900 msnm, en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad, en el flanco Oeste de la cordillera de los Andes.

Diversos estudios hidrológicos, hidrogeológicos y de ingeniería han sido desarrollados hasta la fecha con el fin de evaluar las condiciones hidrogeológicas de las relaveras actuales y proyectadas, además del futuro depósito de desmonte. Sin embargo, no se han hecho estudios específicos en el entorno de algunos componentes mineros que podrían causar contaminación a los recursos hídricos locales. Tampoco se han hecho estudios

hidrogeológicos dentro de la mina subterránea, los cuales deberían servir para evaluar la interacción con los componentes mineros de superficie y para futuras ampliaciones o para planificar el cierre de la mina. Con base en el entendimiento del sistema hidrogeológico y sus características en general, se podrá tener una herramienta adicional para planificar con mayor eficacia futuros proyectos en las operaciones mineras y tenerlo como base para el desarrollo de estudios correspondientes a mayor detalle.

García A, (2012). En la tesis titulado “Caracterización hidrogeológica de un sector del acuífero del Valle de Iguala, Guerrero.”, cuyo objetivo fue Establecer el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del Valle de Iguala en el Estado de Guerrero, que representa una fracción del acuífero definido con la clave 1205 Iguala en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, para una gestión idónea y evitar la sobre explotación. Se llega a la conclusión que la dirección del flujo en el acuífero de Iguala es noreste-suroeste, pero se ha visto ligeramente afectada direccionándola hacia el centro de la ciudad de Iguala por la alta concentración de pozos. Pasando esta zona, continúa con su dirección habitual, siguiendo el Río Iguala, asimismo la transmisividad cualitativa en el acuífero va de mediana a baja y las conductividades hidráulicas horizontales son consistentes con la literatura citada para materiales de arenas arcillosas a arenas medias y conglomerados, lo cual nos confirma que el agua que se extrae en el Valle de Iguala proviene de los materiales granulares y de una marcada heterogeneidad en el acuífero, lo cual es notorio en los variados caudales de extracción que puede ir de 1.5 lt/s a 20 lt/s en distancias cortas.

Palacio L, (2012). En la tesis titulado “Actualización del Modelo Conceptual y Modelo Numérico de flujo de agua subterránea en el acuífero libre de General Pico. Dorila, provincia de La Pampa, Argentina”, cuyos objetivos han sido realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa del sistema acuífero que revele el estado actual del conocimiento sobre el mismo e integrar la información hidrogeológica disponible en un modelo numérico de flujo de agua subterránea que sirva para validar el modelo conceptual de su funcionamiento. Los resultados permitieron cuantificar la recarga en torno al 14% de la precipitación la que se verificaría fundamentalmente en otoño y primavera. El análisis de las fluctuaciones del nivel freático permitió además identificar una zona de recarga preferencial en el sector medanoso central que se correlacionaría con un mayor espesor de la cobertura de arenas.

Valencia J, (2017). En la tesis titulado “Análisis Hidrogeológico de la Cuenca Del Río Manglar Alto para la caracterización de sus Sistemas Acuíferos”, cuyo objetivo fue analizar hidrogeológicamente la cuenca del río Manglar alto a través de técnicas de análisis espacial y métodos geofísicos eléctricos para la localización de acuíferos adicionales al acuífero principal de Manglar alto y su utilización para el consumo humano. Se llega a la conclusión que el análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglar alto permitió definir la importancia de los acuíferos de Manglaralto, Cadeate y Simón Bolívar respecto a un mayor volumen de la capacidad de almacenamiento, calculada en 23'816.282 m³, distribuidas en 56% para el acuífero del río Manglaralto, 25% para el acuífero de río Simón Bolívar y 19.08% para el acuífero del río Cadeate, es decir que los acuíferos de Cadeate y Simón Bolívar le aumentarían al acuífero de Manglaralto un 44% de su volumen total, en relación a los parámetros hidrogeológicos

utilizados en el análisis espacial utilizando sistemas de información geográficas y la interpretación realizada de los sondeos eléctricos verticales.

Cervetto M, (2012). En la tesis titulado “Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de las cuencas: salar de aguas calientes 2, puntas negras, laguna tuyajto, pampa colorada, pampa las tecas y salar el laco, Iii region de Chile”, cuyo objetivo fue caracterizar el funcionamiento hidráulico de las cuencas piloto de la Puna de la II Región de Antofagasta: Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas, Salar El Laco. Se llega a la conclusión que el modelo hidrogeológico conceptual generalizado definido para la región, se compone por sub-cuencas hidrográficas aisladas donde el acuífero principal está compuesto por ignimbrita fracturada. Las interconexiones del flujo de aguas subterráneas son restringidas por zonas de baja permeabilidad, ubicadas en los márgenes de las cuencas, y horizontes permeables de potencia menor, ubicados en profundidad en el contacto entre las diferentes unidades volcánicas.

2.2. Bases Teóricas - Científicas

2.2.1 Recarga y descarga de aguas subterráneas

La **recarga** de aguas subterráneas es definida como el flujo de agua descendiente que alcanza el nivel freático acrecentando el almacenamiento de aguas subterráneas (Healy, 2010). La recarga de aguas subterráneas ocurre de forma difusa (Directa) o por medio de mecanismos focalizados (Indirecta). La recarga difusiva es distribuida alrededor de grandes áreas en respuesta a la infiltración de la precipitación en la superficie del suelo percolando a través de la zona no saturada hasta alcanzar el nivel freático, siendo ésta la principal fuente

de infiltración al sistema de aguas subterráneas (Healy, 2010). La recarga focalizada es el movimiento a partir de cuerpos de aguas superficiales, tales como, ríos, canales o lagos.

La **descarga** de aguas subterráneas puede ser definida como el flujo que abandona el área en estudio o a las que descargan en las aguas superficiales. Por ejemplo, en este mecanismo la Evapotranspiración (ET) puede ser considerado un sistema de descarga, siendo éste definido como el agua removida por efectos combinados de evaporación a partir de la superficie del terreno y transpiración por las plantas a partir de sus raíces. Generalmente, la ET es considerada activa en las zonas de las raíces, hasta una profundidad de 4 a 6 metros debajo de la superficie. En áreas de recarga de aguas subterráneas (*e.g.* áreas de grandes elevaciones) el nivel del agua subterránea está típicamente debajo de las zonas de las raíces y la ET es tomada en cuenta implícitamente (*i.e.*, por ajuste de la recarga). La descarga del agua subterránea en áreas de planicie (*e.g.* valles, terrenos húmedos), la superficie freática está próxima a la superficie y la influencia de la ET en el balance de aguas subterráneas puede ser significativa y podría ser tomado en cuenta explícitamente.

2.2.2 Unidades hidrogeológicas y propiedades hidráulicas

Las unidades hidrogeológicas son materiales geológicos (o grupo de materiales) que tienen propiedades hidráulicas suficientemente similares, de tal forma que puedan ser consideradas como unidades hidráulicas para el propósito de estudio hidrogeológico.

El modelo conceptual considera las propiedades de las más grandes unidades hidrogeológicas, tales como: conductividad hidráulica (k), parámetros de almacenamiento (S), almacenamiento específico (S_s), rendimiento específico (S_y) o porosidad específica (ϵ).

2.2.3 Definición y componentes del proceso de modelación.

El proceso de modelación conceptual hidrogeológica constituye la fase de identificación y caracterización de un acuífero. Por lo tanto, se requiere definir una serie de parámetros que describan los componentes geométricos como forma, límites etc.; además, sus componentes físicos como permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, transmisividad, etc. Existen también variables que describen la situación del sistema en cada momento como son las alturas piezométricas, las componentes del vector velocidad, concentración química, etc.

Los suelos naturales, constituyen un sistema trifásico formado por partículas sólidas y huecos que a su vez pueden estar o no rellenos total o parcialmente de agua o aire (gas o vapor de agua). En el primer de los casos estaremos hablando de suelos saturados y de suelos semisaturados en el segundo. (Custodio, 1996)

Según (Custodio, 1996), el acuífero es un elemento de un sistema hidráulico más complejo, por lo tanto, existirán una serie de acciones exteriores a él que lo modifiquen. Estas acciones podrán ser controlables o incontrolables. Las primeras son las que se emplean para conseguir un objetivo, pueden ser bombeos, recarga artificial, drenajes, etc. Las incontrolables dependen del estado del acuífero, por

ejemplo, el drenaje de un manantial, drenaje de un acuífero a un río, etc.; o pueden depender de factores climatológicos e hidrológicos, como la recarga natural de un acuífero, recarga de un río influente a un acuífero

Existen además una serie de restricciones presentes que pueden ser físicas, por ejemplo, en el caso de los acuíferos libres el nivel piezométrico no puede ser superior a la altura topográfica ni menor a la del basamento; o pueden ser impuestas artificialmente, como por ejemplo limitar la altura de bombeo para evitar problemas de intrusión salina en una zona, etc. Inclusive pueden ser restricciones que obedecen a criterios de planificación como, por ejemplo, el establecimiento de caudales de bombeo máximos y mínimos.

2.2.4 Impacto de la actividad minera en el componente hidrogeológico

A pesar de que el componente hidrogeológico tiene una gran importancia tanto en la operación de minas subterráneas como en el ambiente, en muy pocos estudios se desarrolla una caracterización hidrogeológica de las estructuras asociadas a las formaciones mineras.

Con el fin de analizar el marco conceptual hidrogeológico es importante determinar los factores relevantes particulares relacionados con la geología local, incluyendo propiedades hidráulicas de las formaciones, el tipo de explotación, y las características geométricas de fracturas en el área de estudio. En ese sentido, debido a que comúnmente se encuentra una escasez evidente de información primaria, ésta debe ser complementada con información secundaria, metodologías empíricas y estimaciones. El análisis conceptual hidrogeológico del

área de estudio en este tipo de problemas se debe enfocar en los posibles impactos derivados de la actividad minera subterránea en el componente subsuperficial.

Tradicionalmente, los aspectos que son objeto de estudio en el contexto de explotación minera subterránea están relacionados con la alteración de las trayectorias de flujo subterráneo y las implicaciones en el componente geoquímico. También, eventualmente con el flujo de agua entre unidades hidrogeológicas antes desconectadas, o entre la superficie y la subsuperficie.

Otros impactos de la minería subterránea están relacionados con el drenaje de agua desde las formaciones permeables vecinas hacia el interior de las excavaciones. Este efecto puede extenderse a través de muchos kilómetros, dependiendo de la profundidad de las excavaciones, y derivar en el abatimiento del nivel freático a nivel local y regional. Los factores que controlan el grado de afectación son la estructura regional de los acuíferos, la litología del área de explotación, la permeabilidad, la distribución de niveles freáticos locales y regionales y las características generales de los abatimientos (por ejemplo radio de influencia, tipo de acuífero, entre otros).

Las dinámicas hídricas superficiales también son afectadas por cambios de la distribución de presiones inducida por las excavaciones mineras. Algunos de esos efectos son la formación de sumideros, pozos y vaguadas, así como la entrada directa de agua desde la superficie al interior de la mina. Éste último factor puede también afectar considerablemente los patrones de flujo y la calidad del agua superficial.

2.2.5 Drenaje de mina

Este método más comúnmente usado para el control de las aguas en la minería subterránea, y puede variar desde una simple captación de aguas infiltradas en la mina (por medio de las fracturas o a través del propio medio poroso), hasta procedimientos más complejos que involucran la instalación de pozos de abatimiento a partir de la superficie del terreno, perforaciones de drenaje situada dentro de la mina o por medio de galerías de drenaje.

La técnica de abatimiento usando pozos verticales perforados es una práctica común en minas a cielo abierto, pero, este método también es empleado en minas subterráneas siempre que el análisis económico sea viable. Una de las ventajas de esta técnica es que es ejecutada normalmente antes de los trabajos y no causa interferencias con las operaciones mineras, aparte de que consigue extraer el agua limpia. Dentro de las desventajas se encuentran los costos de perforación y bombeo, así como las limitaciones en profundidades alcanzadas en el abatimiento, debido a que estos sistemas difícilmente pueden alcanzar las profundidades de la mina subterránea. Normalmente estos métodos son usados en combinación con perforaciones de drenajes instalados en el interior de la mina.

Perforaciones profundas de pozos de bombeo a partir de la superficie del terreno son capaces de bombear grandes volúmenes de agua y han sido práctica común en los últimos años en los Estados Unidos. Existen al menos tres minas subterráneas de oro en el oeste de los Estados Unidos donde pozos profundos de bombeo son el principal sistema de abatimiento. Estas minas, localizadas en Nevada (Meikle, West Leeville, y Turquoise Ridge), usan grandes diámetros de

pozos (25 – 40 cm) y bombas sumergibles capaces de bombear hasta 360 m³/h (8640 m³/d).

2.2.6 Cuenca hidrográfica

Según Villón (2012), la cuenca de drenaje de una corriente es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, la cual es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por las precipitaciones, ya que cada área donde fluye una corriente de agua hasta el punto de salida de una cuenca se toma como un sistema único y por eso se debe de estudiar cada cuenca por separado ya que presentan distintas formas de escurrimiento y generación de red hídrica. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación aforo.

2.2.7 Parámetros hidrogeológicos

A.- Porosidad

Custodio y Llamas (1983), La porosidad de este tipo de sedimentos acostumbra a ser superior a la de muchas formaciones acuíferas: entre 0.2 y 0.65 según Davis y De Wiest (1966), para la porosidad total, mientras que la porosidad eficaz estaría entre 0 y 0.50 aunque típicamente por debajo de 0.25. Debe tenerse presente que la porosidad puede verse influida por:

- La uniformidad granulométrica, es decir, su clasificación por el tamaño de grano. Una arena de duna, generalmente de tamaño muy uniforme, tendrá más porosidad eficaz que una morrena o un depósito de derrubios de ladera o de cono de deyección, con una granulometría o distribución del tamaño de grano muy dispersa.
- La morfología de las partículas, los depósitos con predominio de grano anguloso suelen tener una mayor porosidad que aquellos que incluyan partículas más redondeadas, siempre que no existan procesos de compactación o asentamientos posteriores.
- El propio empaquetado de las partículas, ya que la consolidación de los sedimentos reduce progresivamente la porosidad. Debe también recordarse que la porosidad total es independiente del tamaño absoluto de las partículas. Una arena de duna, de tamaño uniforme y perfectamente homométrica (con un diámetro de 0.5 mm, por ejemplo), tendrá teóricamente la misma porosidad total que una masa de esferas de acero de 10 mm de diámetro, siempre que tengan la misma disposición o empaquetamiento. Por el contrario, la porosidad eficaz varía con el tamaño del grano, y así una arcilla o limo tendrá una porosidad eficaz mucho menor que una arena gruesa, aunque sus respectivos valores de porosidad total sean equivalentes, (Custodio y Llamas, 1983).

El concepto de la porosidad eficaz va ligado al tiempo o lapso de tiempo que se tome para el drenaje de la muestra los valores facilitados por los ensayos de laboratorio en muestras de terreno o formaciones acuíferas suelen dar valores mínimos o por defecto condicionados por la razón antes citada. Si no se ha obtenido ninguna medida del valor de la porosidad, esta puede estimarse

directamente o evaluarse con ayuda de las tablas de valores de la porosidad en función de la granulometría. De todas formas, debe recordarse siempre que estos valores de la porosidad proceden de estudios específicos y no puedan generalizarse sin más a otras zonas.

Por ello, los valores de aquellas deben tomarse solamente como referencias cualitativas o estimaciones. Una alternativa puede ser la utilización de valores extremos o rangos de variación. El uso de estos valores extremos, fijados por simple evaluación visual del sedimento, puede ser un ejercicio hidrogeológico muy aconsejable a la hora de acotar determinadas características hidrogeológicas de una zona dada. Además, debe considerarse que el error que se comete en estas evaluaciones es mucho más pequeño que el que se pueda cometer en otras evaluaciones como, por ejemplo, de la conductividad hidráulica, ya que los respectivos rangos de variación o fluctuación son muy distintos, siendo menor en el caso de la porosidad, de 0.01 a 0.5-0.6, es decir de 0 a 50-60 veces mayor, y muy grande en el caso de la permeabilidad, de 10^{-3} a 10^{-4} m/día hasta 103 o 104 m/día, es decir, unas 108 veces superior.

B.- Conductividad Hidráulica

Custodio y Llamas (1983), Es con mucho el parámetro hidrológico de mayor variabilidad en estos medios. Se encuentran valores reales comprendidos entre 1 y varios centenares de m/d, entre arenas finas y gravas gruesas, respectivamente. Por el contrario, como valores mínimos suelen aceptarse conductividades entre 10^{-2} a 10^{-4} m/día para los limos o arcillas (acuitardo, acuícludos) o incluso menos, en función de las características hidrológicas de cada lugar. Las causas de

esta gran variación en los valores se deben a motivos tan diversos como la propia granulometría del material, la presencia de intercalaciones finas entre las formaciones más groseras y, a una escala de trabajo superior, de la propia variabilidad sedimentológica de la cuenca sedimentaria. En los depósitos no consolidados relacionados genéticamente con el relleno de fosa tectónica, suelen registrarse valores de permeabilidad inferiores a los de los depósitos aluviales. Las gravas o zonas con sedimentos más gruesos se localizan en paleocauces con un carácter muy localizado, generalmente cubiertas por zonas de materiales más finos, en todos sus límites, por lo cual se suelen dar problemas de agotamiento de los caudales en caso de tiempo de bombeo largo, de escasa o muy escasa recarga, con el mismo resultado práctico. Paralelamente, en las zonas centrales de este tipo de acuíferos, se localizan cuerpos sedimentarios de granulometría más fina, con lo que la permeabilidad es comparativamente menor en el centro que en las zonas de margen de cuenca.

2.3. Definición de términos básicos

Acuífero

Unidad hidrogeológica que puede almacenar y transmitir agua subterránea a un caudal suficientemente rápido para abastecer razonables cantidades de agua a los pozos.

Balance Hídrico

Heras, Rafael (1972), El balance hídrico consiste en aplicar el principio de la conservación de la masa, aunque en este caso se calcula en volumen, ya que a efectos de este balance las densidades se pueden considerar siempre constantes.

Este principio se aplica a una región definida por unas determinadas condiciones de constantes. Este principio se aplica a una región detenida por unas determinadas condiciones de contorno y para un determinado periodo de tiempo. Se establece que la diferencia entre las entradas y las salidas del sistema que se ha definido, es igual a la variación de almacenamiento, es decir, debe existir una igualdad entre las entradas menos las salidas y las variaciones de agua almacenada en el sistema definido, positivas o negativas. Para calcular un balance hídrico, el autor debe definir en primer lugar la zona y los contornos donde se aplicará. Así, puede calcular el balance para una capa de un acuífero, para el conjunto del sistema acuífero, o para este más la red de aguas superficiales, pero siempre teniendo claro que la delimitación de este volumen de control es distinta en cada caso y que dará lugar a balances con unos términos que pueden variar en número y valor.

Ensayos de laboratorio

Son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras previamente obtenidas en el terreno y, dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra.

Ensayos de permeabilidad Lefranc/ Lugeon

Mediante estos ensayos se puede determinar el nivel de permeabilidad, en suelos o rocas altamente fracturadas (Lefranc) y en roca (Lugeon). El test Lugeon se realiza en el interior de sondeos geotécnicos y permite calcular de forma más o menos cuantitativa la permeabilidad in situ de un macizo rocoso fracturado.

Cabe indicar que en suelos el ensayo más idóneo a realizar es el ensayo de permeabilidad Lefranc ya sea en su variante de carga constante para suelos más permeables o de carga variable para los suelos con una permeabilidad más reducida.

Evapotranspiración

Es el volumen de agua que desde el estado sólido o líquido pasa a la atmósfera a estado de vapor, bien por evaporación directa o bien por transpiración de las plantas. Se expresa en milímetros en un tiempo determinado.

Macizo Rocoso

Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

Muestra

Material de suelo o roca tomada con propósito de estudio en un laboratorio de mecánica de suelos.

Nivel Freático

Es el lugar geométrico de los puntos en los que la presión del agua es la atmosférica. Este es el nivel que alcanza la superficie del agua en pozos o piezómetros en comunicación libre con los huecos del suelo. Por debajo del nivel freático la presión del agua es positiva y al agua situada bajo este nivel, y en comunicación continua con él, recibe el nombre de agua freática.

Nivel Piezométrico

La presión del agua en un acuífero confinado la indica el nivel piezométrico, que se obtiene uniendo los niveles de agua, en equilibrio, de piezómetros que penetran en el acuífero confinado.

Perfil Estratigráfico

Es el que se realiza a partir de datos de perforaciones, de datos de prospección geofísica, o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran las rocas que conforman la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede reconstruir la estratigrafía del subsuelo, acorde con la profundidad que demanda el proyecto.

Suelo

Se puede definir como una masa de partículas que forman un esqueleto estructural.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

El cartografiado litológico y estructural de cada formación geológica, inventario de fuentes de agua, pruebas de infiltración, nos permitirá caracterizar hidrogeológicamente a las formaciones geológicas para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- a. Reconociendo las formaciones hidrogeológicas nos permitirá caracterizar hidrogeológicamente la zona de estudio.

- b. Definiendo el modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero de la U. E. A. Retamas, que involucra un diagrama de flujos y un balance hídrico del agua superficial y subterránea circulante nos permitirá caracterizar hidrogeológicamente.

2.5. Identificación de las Variables

Se identificaron las siguientes variables:

2.5.1. Variable Independiente

Estudio Hidrogeológico

2.5.2. Variable Dependiente

Caracterización de la zona de estudio

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Se determinará el estudio hidrogeológico dentro de los 25 kilómetros cuadrados que comprende la microcuenca del río Llacuabamba; para la medición de indicadores se realizará el inventario de las aguas superficiales y subterráneas para luego conocer las condiciones hidrogeológicas de las aguas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación a emplear en el desarrollo del presente estudio de acuerdo al problema planteado, es una investigación **descriptiva** aplicada a problemas de reconocimiento hidrogeológico relacionado a solucionar problemas de contaminación de las aguas subterráneas.

3.2. Métodos de investigación

El método a emplear es el científico como método general. Asimismo, se emplearon el método descriptivo, analítico y aplicativo, considerando los hechos o fenómenos de la realidad, recopilando los datos sobre las variables a investigar mediante técnicas e instrumentos adecuados, la metodología empleada se describe a continuación:

- a) Recopilación y revisión bibliográfica
- b) Caracterización geomorfológica
- c) Geología de superficie
- d) Caracterización hidrológica
- e) Caracterización hidrogeológica

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación que se utiliza será el Descriptivo - Comparativo, ya que mediante de la caracterización hidrogeológica de las unidades hidrogeológicas se deducirá los parámetros hidrogeológicos que se emplearán para planificar con mayor eficacia futuros proyectos en las operaciones mineras y tenerlo como base para el desarrollo de estudios correspondientes a mayor detalle.

Se emplea el diseño descriptivo simple:



Donde:

M = muestra que representa los datos geológicos e hidrogeológicos.

O = observación o información

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

La población está representada por el total de los datos geológicos e hidrogeológicos de la zona de estudio que cubre un área de 25 km².

3.4.2. Muestra

La muestra representa los datos geológicos e hidrogeológicos que consta de 131 manantiales y 20 piezómetros en donde se recolectó información hidrogeológica relevante, así como en 83 puntos en cauces naturales. En las

galerías visitadas dentro de la mina subterránea, se identificaron 24 fuentes de agua de mina y 4 flujos producto del rebose en sistemas de captación de agua. En la toma de muestra se empleó el método no probabilístico.

Para la evaluación climatológica, se ha utilizado principalmente a la estación San Andrés por ser la estación meteorológica representativa del área de estudio debido a su ubicación geográfica y altitud. Sin embargo, el análisis de la precipitación se realizó con base en datos de cuatro (4) estaciones meteorológicas adicionales propiedad de SENAMHI.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para realizar las investigaciones geológicas e hidrogeológicas se delimitaron el área de estudio con base en la inclusión de todos los componentes mineros actuales, proyectados y de cierre progresivo, en límites hidrogeológicos, es así que el límite Norte es el río Llacuabamba, el Oeste es el río Huinchus y el Este y Sur es la divisoria de aguas superficial de la microcuenca del río Porvenir, cubriendo un área de 25 km².

Para reconocer las diferentes características del agua tanto superficial como subterránea y relacionarlas con la morfología local, se realizaron 2 campañas para la realización del inventario de fuentes de agua dentro de toda el área de estudio.

Técnicas:

- Sondeos.
- Muestreo.
- Ensayos.

Instrumentos:

- Guía de análisis documental
- Guía de observación
- Correntómetro
- Equipo Multiparámetro

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El estudio comprendió varios aspectos siendo los principales: La preparación de una adecuada estrategia de trabajo de campo; observaciones detalladas de campo; interpretación y evaluación de las características geológicas e hidrogeológicas de los acuíferos. Con el uso de planos geológicos, secciones geológicas finalizándose con el informe y elaboración de la presente tesis.

3.7. Tratamiento Estadístico

Los resultados que se obtienen son organizados en tablas estadísticas en un ordenador, posteriormente se realizará la impresión de los mismos con planos que faciliten su entendimiento.

3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los instrumentos de investigación

La Validación y confiabilidad de los instrumentos cumplen los estándares de calidad para poder realizar las pruebas hidrogeológicas en superficie e interior mina.

3.9. Orientación ética

La presente investigación cumple con un adecuado comportamiento ético que reconoce las fuentes externas y la aprobación de los jurados calificadores.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1 Ubicación y Acceso

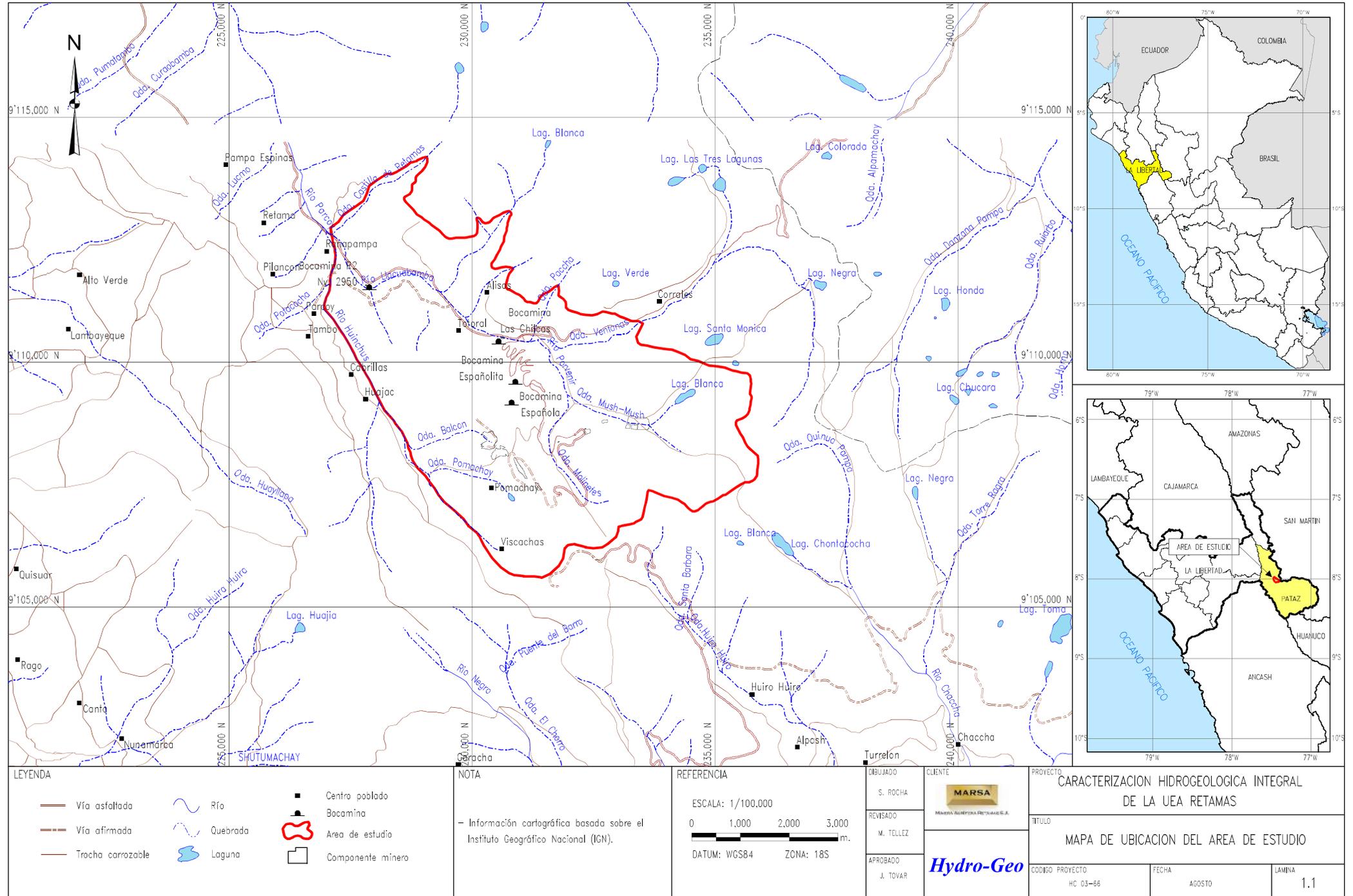
El área de estudio se encuentra ubicada en la parte central del distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad, la cual está limitada entre las siguientes coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 (ver figura 1)

Este: 227,000 – 235,825.

Norte: 9'106,636 – 9'112,458.

La delimitación del área de estudio se realiza con base en la inclusión de todos los componentes mineros actuales, proyectados y de cierre progresivo, en límites hidrogeológicos, es así que el límite Norte es el río Llacuabamba, el Oeste es el río Huinchus y el Este y Sur es la divisoria de aguas superficial de la microcuenca del río Porvenir, cubriendo un área de 25 km².

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN



4.1.2 Hidrología

4.1.2.1 Climatología

Para la evaluación climatológica, se ha utilizado principalmente a la estación San Andrés por ser la estación meteorológica representativa del área de estudio debido a su ubicación geográfica y altitud (ver el Tabla 1). Sin embargo, el análisis de la precipitación se realizó con base en datos de cuatro (4) estaciones meteorológicas adicionales propiedad de SENAMHI.

Tabla 1. Estación Meteorológica Representativa del Área de Estudio

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM		ALTITUD (msnm)	FUENTE
	Este	Norte		
San Andrés	232,009	9'108,737	3,900	Minera Aurífera Retamas SA

Temperatura

En la tabla 2 se presenta los valores de temperatura media mensual así como también sus valores máximos y mínimos mensuales para el periodo 1998-2013 en la estación meteorológica San Andrés. En la Figura 2 se muestra la representación de las tendencias de estas temperaturas.

En la estación meteorológica San Andrés en dicho periodo, la temperatura máxima mensual es de 31.2 °C registrada en Noviembre de 2000 y la temperatura mínima mensual es de -2.4°C registrada en Julio de 2001.

Tabla 2. Temperatura Media Mensual, Estación San Andrés (1998-2013)

PARÁMETRO	TEMPERATURAS											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura Media Mensual	8.0	8.0	7.8	8.1	8.1	7.7	7.3	7.4	7.5	7.7	8.0	7.9
Temperatura Máxima Mensual	19.5	22.8	22.5	25.9	28	26.4	27.4	28.9	30.7	27.3	31.2	29.1
Temperatura Mínima Mensual	0.2	0.5	0	0.2	0.4	-0.8	-2.4	-1.9	1	-0.1	-1.5	0.7

Fuente: MARSA.

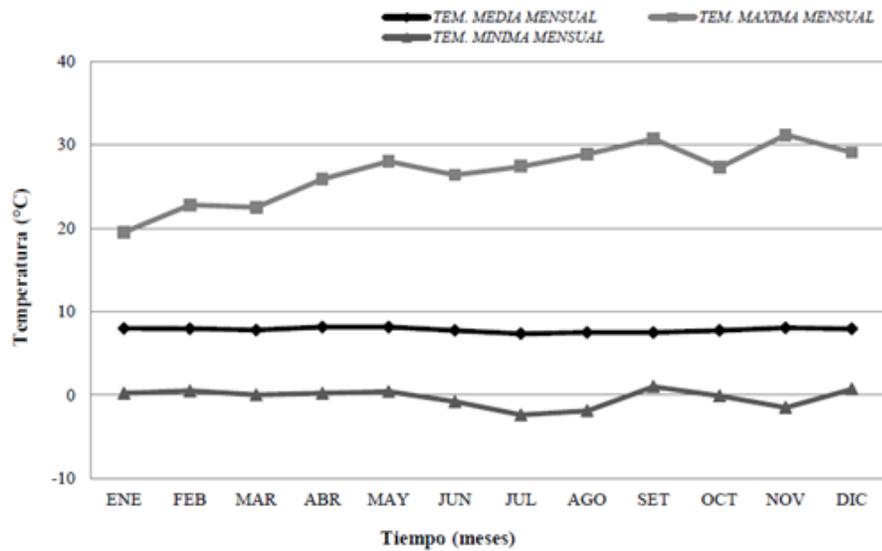


Figura 2. Variación de la Temperatura Media, Máxima y Mínima Mensual Estación San Andrés (1998-2013)

Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración potencial es definida como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación que se desarrolla en óptimas condiciones y, en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua en toda la cuenca (Thornthwaite, 1948).

El método de Thornthwaite proporciona una estimación de la evapotranspiración

potencial (ETP) basada sobre la temperatura media, índice de calor mensual y el número máximo de horas de sol, con una corrección en función de la duración astronómica del día y número de días del mes. El cálculo de la evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite se resume en la tabla 3.

$$ETP = 16f \left[\frac{10t}{I} \right]^a$$

$$i = \left[\frac{t}{5} \right]^{1.514} \quad I = \sum i$$

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.77110^{-4} I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239$$

Dónde:

- i: Índice térmico mensual.
- t: Temperatura media mensual en °C.
- I: Índice anual.
- a: Formula simplificada de Serra.
- f: Factor de corrección para la latitud 8° Sur.
- ETP: Evaporación potencial mensual (mm).

Tabla 3. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura media (°C)	8	8	7.8	8.1	8.1	7.7	7.3	7.4	7.5	7.7	8	7.9	--
Índice de Calor (%)	2.04	2.04	1.96	2.08	2.08	1.92	1.77	1.81	1.85	1.92	2.04	2.00	--
ETP sin ajustar (mm)	47	47	46	47.5	47.5	45.5	43.4	43.9	44.4	45.5	47.0	46.5	--
Factor de Corrección	1.06	0.96	1.05	0.99	1.01	0.97	1.01	1.02	1.00	1.06	1.04	1.08	--
Evapotranspiración ETP - (mm/mes)	50	45.2	48.1	47.2	48.2	44.2	43.7	44.7	44.4	48.0	49.0	50.4	563.1

Elaboración propia

Precipitación

Para describir la ocurrencia de las precipitaciones en la zona del proyecto se analizaron los registros de cinco (5) estaciones (ver tabla.4), localizadas en altitudes que varían entre 3,150 y 3,900 msnm, mientras que el área de estudio está localizada alrededor de los 3,800 msnm.

Tabla 4. Estaciones Meteorológicas

ESTACION	ALTITUD (msnm)	COORDENADAS UTM GS-84		PARAMETRO	FUENTE
		Este	Norte		
San Andrés	3,900	232,0	9'108,737	Precipitación, T°	MARSA
Sihuas	3,375	208,2	9'052,050	Precipitación	SENAMHI
Tayabamba	3,250	248,4	9'083,625	Precipitación	SENAMHI
Conchucos	3,200	239,1	9'102,013	Precipitación	SENAMHI
Buldibuyo	3,150	239,1	9'102,044	Precipitación	SENAMHI

Se desarrolló una relación precipitación media versus altitud, basada en los registros consistentes de las cinco (5) estaciones cercanas al área de estudio.

Tal como se observa en la Figura 3, las precipitaciones anuales en la zona están influenciadas por el factor orográfico en un 97%, mientras que el 3% está asociado a características propias de la ubicación de cada estación. Acorde con la curva precipitación vs altitud, se estima la precipitación para la altitud media del proyecto en 918.3 mm/año.

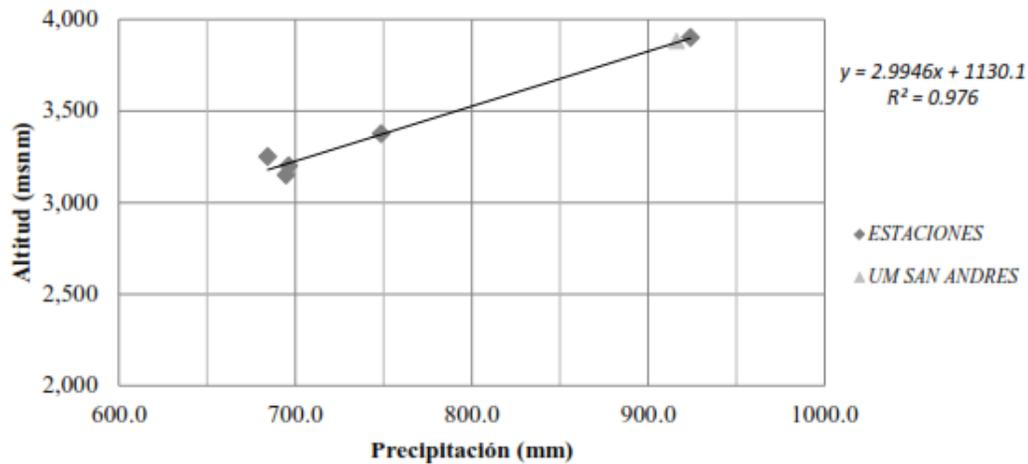


Figura 3. Precipitación Vs. Altitud

La distribución mensual de la precipitación se estimó a partir del registro mensual de la estación San Andrés - MARSÁ, considerada como la estación representativa para el área del proyecto. Los valores de precipitación mensual en el área de proyecto se obtuvieron escalando el registro de la estación San Andrés hasta alcanzar el valor anual estimado para la altitud y ubicación del proyecto (918.3 mm).

En la tabla 5 se muestra la precipitación mensual promedio, máxima, mínima, desviación estándar, además de los totales mensuales promedio como un porcentaje de la precipitación total anual. En la Figura 4 se muestra la distribución típica de la precipitación anual estimada para la altitud media del área del proyecto (3,880 msnm). Los resultados indican que la precipitación es estacional, como es típico en los Andes peruanos, con los valores más altos registrados entre Noviembre y Marzo (66% de la precipitación anual) durante la temporada de lluvias y, los valores más bajos registrados durante la temporada seca, entre abril y octubre (34% de la precipitación anual).

Tabla 5. Precipitación Mensual Estimada para la UEA Retamas

PRECIPITACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Promedio (mm)	95.8	123.1	144.1	81.4	41.9	23.8	21.0	21.5	36.4	90.7	114.0	124.6	918
Máximo (mm)	224.8	280.6	229.4	154.8	121.2	60.2	87.4	102.4	96.4	133.0	182.6	181.6	1,229
Mínimo (mm)	50.7	28.2	68.2	30.8	7.6	7.0	5.6	2.6	15.3	36.8	32.2	52.3	649
Desv. Std.	45	63	43	33	25	16	19	24	18	28	37	35	157
Proporción Anual (%)	10	13	16	9	5	3	2	2	4	10	13	14	100

Elaboración propia

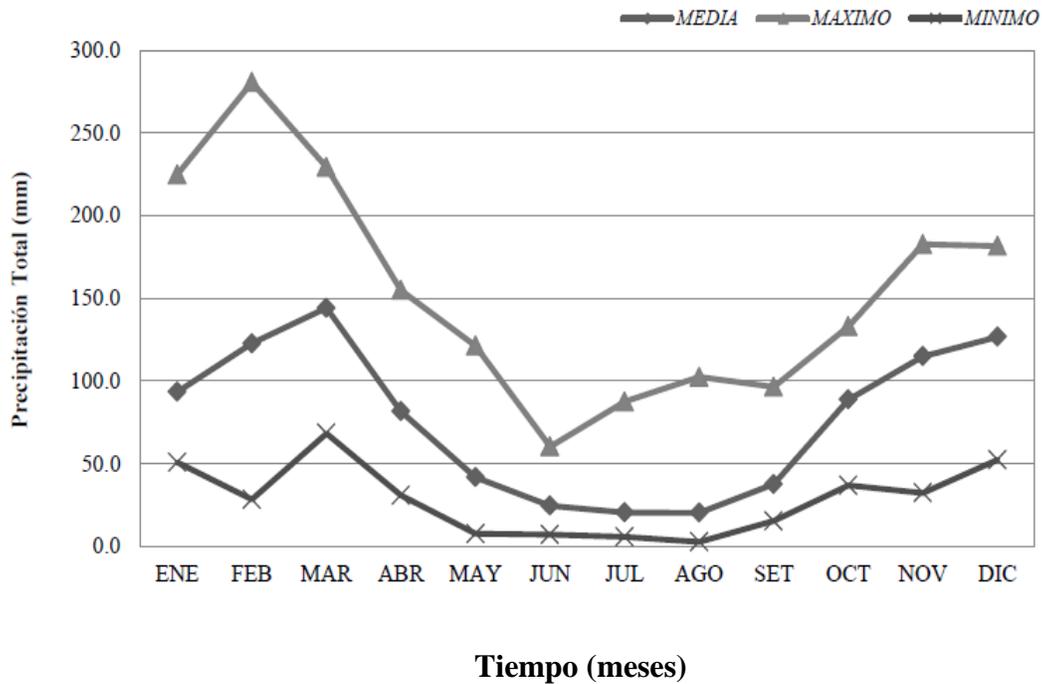
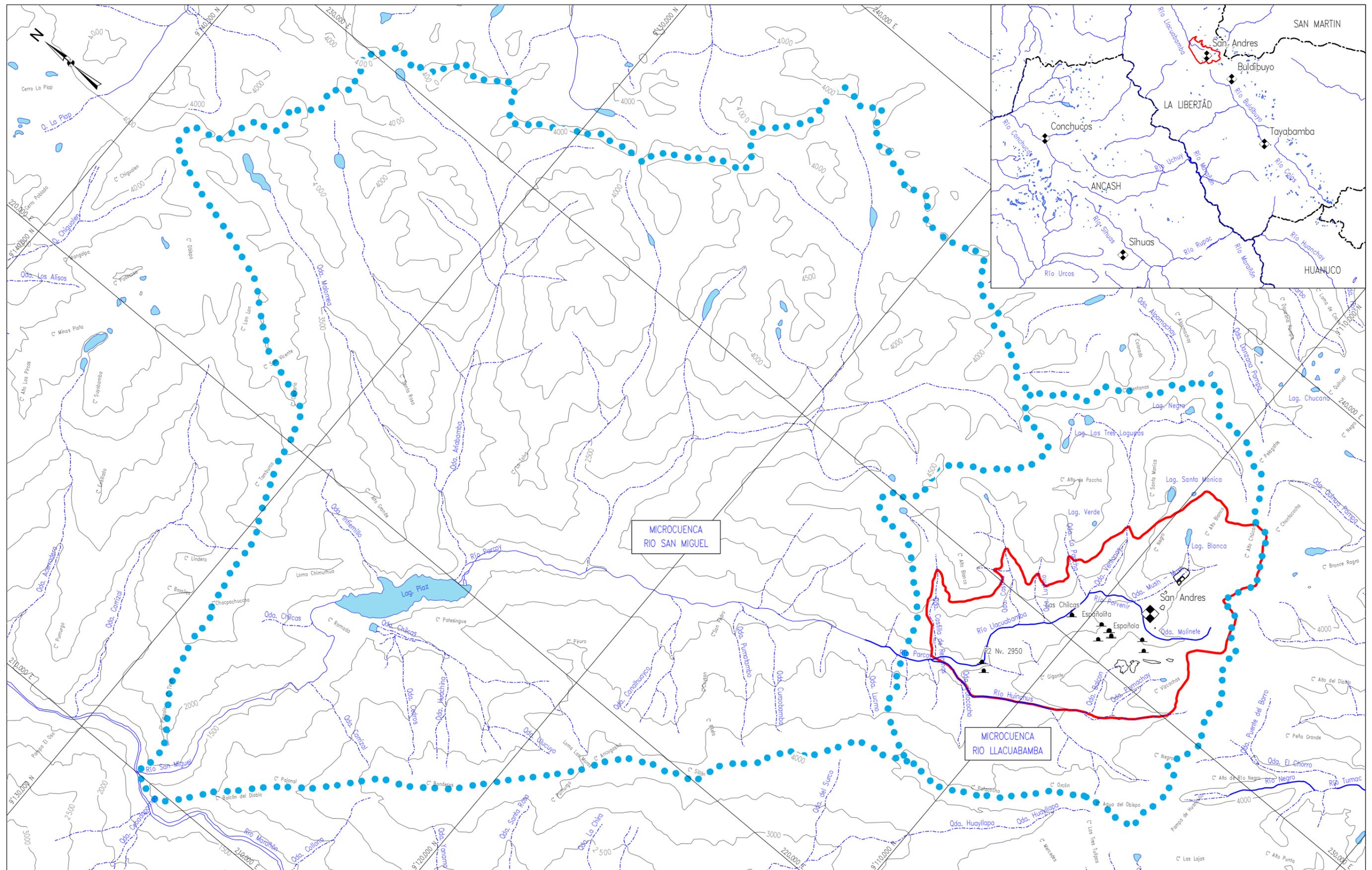


Figura 4. Precipitación Mensual Estimada para la UEA Retamas (1997-2013)

4.1.2.2 Fisiografía

El estudio se ubica en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. El relieve en la parte de la cabecera de la microcuenca está conformado por geformas producto de la erosión glaciaria tales como valles en U, picos y valles colgados ocupadas

FIGURA 5: MAPA HIDROGRÁFICO



<p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> --- Límite departamental ~ Curva de nivel principal ~ Curva de nivel secundaria ~ Río ~ Quebrada permanente ~ Laguna Area de estudio ~ Límite cuenca hidrográfica Estación meteorológica Componente minero Bocamina 	<p>NOTA</p> <p>- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).</p>	<p>REFERENCIA</p> <p>ESCALA: 1/100,000</p> <p>0 1,000 2,000 3,000 m.</p> <p>DATUM: WGS84 ZONA: 18S</p>	<p>DIBUJADO S. ROCHA</p> <p>REVISADO M. TELLEZ</p> <p>APROBADO J. TOVAR</p>	<p>CLIENTE MARSÁ MINERA ALRIPERA RETAMAS S.A.</p> <p>Hydro-Geo</p>	<p>PROYECTO CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS</p> <p>TÍTULO MAPA HIDROGRAFICO</p> <p>CODIGO PROYECTO HC 03-66</p> <p>FECHA AGOSTO</p> <p>LAMINA 2.1</p>
---	---	---	--	--	--

frecuentemente por lagunas separadas por taludes y plataformas. En la parte baja de la microcuenca presenta en su extensión zonas montañosas con pendientes pronunciadas generalmente formando valles encañonados.

Para los propósitos de este estudio, se ha definido el área de drenaje de la microcuenca del río Llacuabamba (ver figura 5) en función al área de interés (componentes mineros de la UEA Retamas). Las características fisiográficas de la microcuenca son resumidas en la tabla 6.

El valor obtenido para el factor de forma de la microcuenca es de 0.3 y el coeficiente de compacidad es 1.2, indicando que la microcuenca del río Llacuabamba tiene una forma cercana a la circunferencia. Estos valores definen que en una tormenta se tendría una hidrógrafa moderada en los aumentos de caudal y tiempo de concentración lenta, por lo anterior, es de esperarse que la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación sea mayor.

Tabla.6 Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca del Río Llacuabamba

TIPO DE PARAMETRO	PARAMETRO	MAGNITUD	
Parámetros Básicos	Área	98.83	km ²
	Perímetro	44.37	km
	Longitud del Cause	17.06	km
Parámetros de Forma	Coeficiente de Compacidad	1.2	
	Factor de Forma	0.3	
Parámetros de Relieve	Altitud Máxima	4,600	msnm
	Altitud Mínima	2,750	msnm
	Altitud Media	3,883.6	msnm
	Pendiente Media de la Cuenca	12	%

4.1.2.3 Hidrografía

El ámbito de estudio de la UEA Retamas comprende la red hídrica de la microcuenca del río Llacuabamba la cual es tributaria principal del río Parcoy que desemboca en la laguna Pías. La laguna Pías entrega sus aguas al río San Miguel, afluente del río Marañón dentro de la unidad Hidrográfica intercuenca alto Marañón V perteneciente a la vertiente del Atlántico.

El río Llacuabamba tiene un recorrido total de 17 km y su microcuenca asociada cuenta con un área de 98.83 km². La cabecera de esta área de drenaje superficial, está a una altura de 4,500 msnm y su punto más bajo corresponde a la confluencia con el río Huinchos y la quebrada Castilla de Retamas a los 2,850 msnm, sector en el que se forma el río Parcoy.

La microcuenca del río Llacuabamba en general presenta un drenaje sub-dendrítico. En la parte alta de la microcuenca se tienen dos afluentes principales como son la quebrada Mush Mush y la quebrada Molinetes dando origen al río Porvenir, ambos se originan por el aporte de flujo subterráneo a través de los manantiales ubicados a cotas mayores a los 4,100 msnm, en el caso de la quebrada Mush Mush presenta un embalse denominado Laguna Blanca, la batimetría realizada por Hydro-Geo al embalse dio como resultados, un área máxima embalsable de 66,168 m² y un volumen de almacenamiento máximo de 323,795 m³. El embalse, permite regular el consumo de agua durante todo el año para los diversos procesos de la mina.

Por la margen derecha, aguas abajo después del aporte del río Porvenir, se presenta un afluente principal de la quebrada Llacuabamba, la quebrada Ventanas, cuya naciente proviene de la laguna Negra y de las lagunas denominadas Tres Lagunas; del mismo margen, pero con menor aporte a lo largo de su recorrido se tienen los aportes de las quebradas La Paccha, Castilla y Castilla de Retamas, mientras que por el margen izquierdo existe el aporte de la quebrada Huinchos (ver la Figura 6).

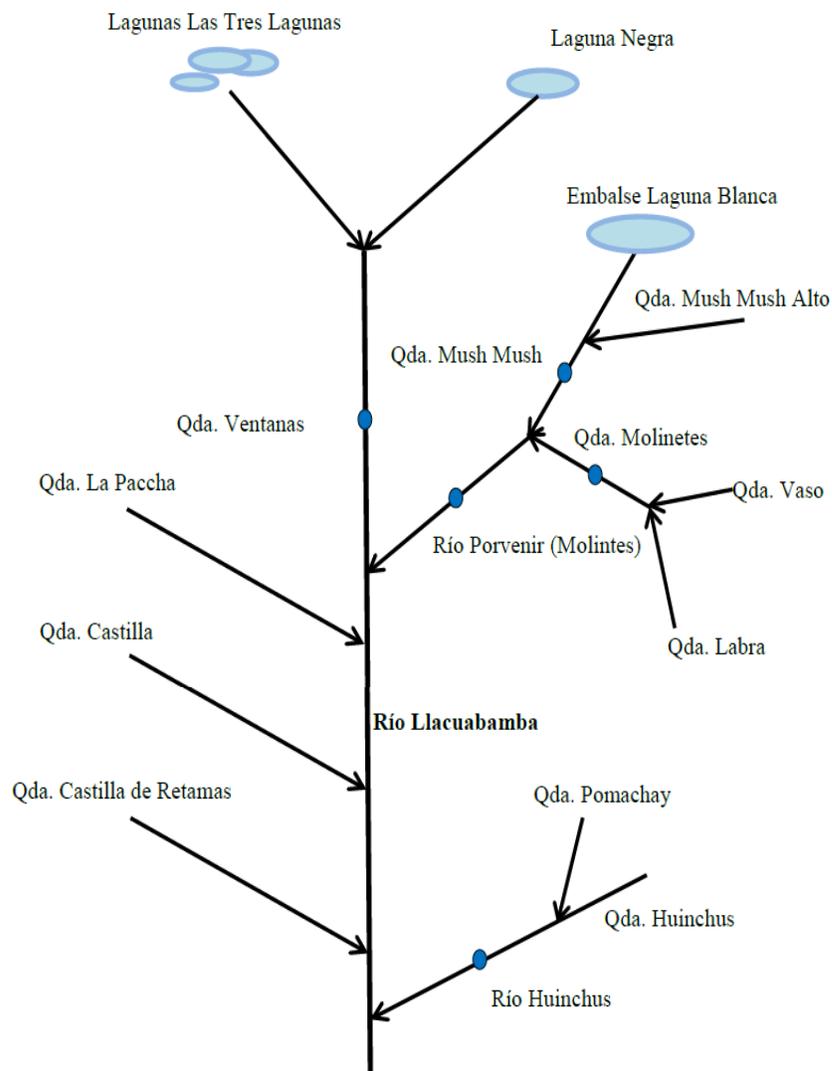


Figura 6. Diagrama Fluvial de la Microcuenca del río Llacuabamba

4.1.2.4 Escorrentía

La escorrentía directa es el flujo de agua que discurre libremente por la superficie de la cuenca durante y después de las lluvias. La lámina de escorrentía directa será calculada por el método del Número de Curva del Soil Conservation Service (Chereque Wendor, 1989). Este método consiste en asignar un número de curva de escorrentía (CN) de 0 a 100. La asignación se hace mediante el uso de tablas que agrupan el suelo hidrológicamente basado en su cubierta, uso y capacidad de infiltración.

La lámina de escorrentía está definida como:

$$E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

Dónde:

E: Lámina de escorrentía (mm).

CN: Número de curva determinada por tablas.

S: Diferencia máxima potencial entre lluvia y escorrentía (mm).

P: Lámina de precipitación (mm).

Para el área de drenaje que delimita el estudio, tiene como cobertura predominante del suelo el pastizal con moderado a alto potencial de escurrimiento. Este suelo pertenece al grupo C con una condición hidrológica regular debido a su cobertura vegetal (Chereque Wendor, 1989). El número de curva de escorrentía correspondiente a la microcuenca del río Llacuabamba sería 79 (ver tabla 7)

Tabla 7 : Cálculo de CN para la Microcuenca del río Llacuabamba

AREA (km ²)	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELO	USO DEL SUELO	NUMERO DE CURVA CN
98.83	Regular	C	Pastizales	79

Elaboración propia

Aplicando esta información en las fórmulas expuestas se genera la lámina de escorrentía directa mensual mostrada en la tabla 8. A partir de esta lámina se calculará el volumen de escorrentía proveniente del área de drenaje de la microcuenca. El área total de la microcuenca del río Llacuabamba es de 98.83 km².

Tabla 8 Escorrentía Directa Calculada para la Microcuenca del río Llacuabamba

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Escorrentía (mm)	5.8	41.2	60.1	69.1	45.2	67.8	86.1	34.0	8.4	1.4	0.7	0.8	420.7

Elaboración propia

Caudal Base

Con el fin de conocer la disponibilidad hídrica de los drenajes superficiales naturales es preciso realizar de manera continuada aforos dado que estos constituyen a menudo las principales fuentes de datos del sistema a analizar, ya que permiten la elaboración de hidrogramas que son la representación gráfica de la evolución en el tiempo del caudal que pasa en una sección de un cauce natural. Es así que la descomposición gráfica de los

hidrogramas proporcionan información importante sobre cómo se drenan las aguas subterráneas de una cuenca, y por tanto, es frecuente que sea imprescindible tratar los recursos superficiales y subterráneos de forma conjunta (ver Figura 7).

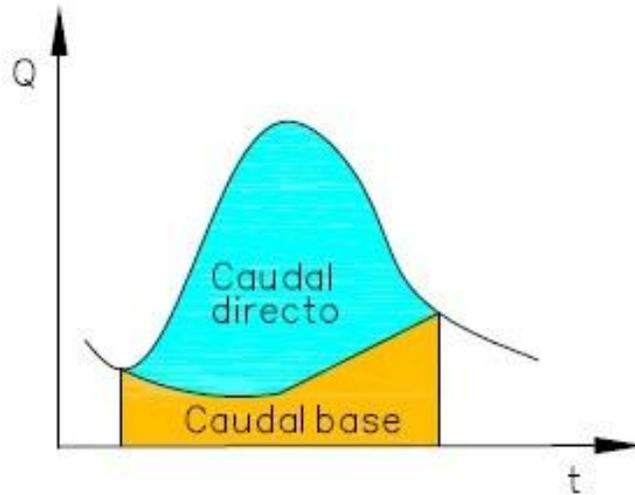


Figura 7. Descomposición del Hidrograma

Principalmente, el hidrograma se descompone en dos partes, el volumen de agua subterránea que se drena y pasa por el punto de aforo denominado como caudal o flujo base, y el agua superficial directa. Así mismo, en épocas de estiaje en donde las precipitaciones son muy bajas a nulas, se considera que los caudales registrados en los ríos o quebradas es principalmente producto del aporte subterráneo considerándose como el flujo base.

La UEA Retamas cuenta con dos puntos de monitoreo de agua superficial con datos históricos de caudales. Estos puntos se encuentran en el sector medio y final del río Llacuabamba. Este registro permitió conocer el volumen y caudal base de este drenaje siendo el de mayor envergadura presente en la zona de estudio.

Los datos de monitoreo en el punto denominado E-6 e incluido dentro de las red de monitoreo de las aguas superficiales (ver tabla 9), permitieron determinar que el volumen del agua subterránea que se drena es de 2,484 m³ y constituye el 30% del volumen total de agua que pasa en un año por esta sección del río Llacuabamba. Así mismo, el caudal base es el promedio de los aforos históricos en los meses de estiaje (Junio, Julio, Agosto y Setiembre) que tiene como valor 412 L/s.

Tabla 9. Caudales Históricos en el Punto de Monitoreo E-6

AÑOS	CAUDALES											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2010	1,998	2,225	1,933	1,618	938	510	407	139	173	262	933	1,991
2011	1,534	2,291	2,143	2,883	1,277	703	685	356	683	1,130	1,480	2,822
2012	2,839	2,629	2,378	2,650	1,282	675	534	332	274	988	2,186	3,256
2013	1,755	2,683	3,076	2,812	1,030	1,022	793	629	316	820	1,716	1,961
Promedio	2,032	2,457	2,383	2,491	1,132	727	605	364	362	800	1,579	2,507

Fuente: MARSA.

De igual forma, en el punto correspondiente al E-21, se calculó que el volumen de agua subterránea que pasa por esta sección es de 4,071 m³ correspondiente al 31% del valor total. El caudal base promedio es de 734 L/s.

Tabla 10. Caudales Históricos (L/s) en el Punto de Monitoreo E-21

AÑOS	CAUDALES											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2010	3,454	4,530	2,433	2,851	2,185	987	873	459	536	461	1,428	3,437
2011	1,972	4,387	3,504	3,837	1,880	1,292	1,266	790	908	1,800	2,048	3,791
2012	3,976	3,254	3,071	3,048	2,017	1,268	969	594	738	1,448	2,871	4,953
2013	--	4,663	5,190	4,730	1,426	1,143	1,075	818	973	1,892	2,421	2,171
Promedio	3,134	4,208	3,550	3,617	1,877	1,172	1,046	666	789	1,400	2,192	3,588

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Geología Regional

4.2.1.1 Geomorfología

La zona se emplaza en la cordillera Oriental de los Andes, en el límite con el subandino Peruano, mostrando rasgos característicos de erosión glaciaria y fluvial, con una topografía muy variada y accidentada. En la zona de estudio, la cordillera Oriental alcanza cotas por encima de los 4,500 msnm. Se trata de un macizo ubicado entre los ríos Marañón y Huallaga y, consiste de cadenas paralelas separadas por estrechos valles longitudinales.

Durante el Mioceno ocurrió una etapa de erosión y aplanamiento generalizado del relieve, que afectó al territorio cordillerano dando lugar a una superficie llana a ondulada conocida como superficie de puna. Esta superficie en la cordillera Oriental es difícil de reconocer, debido a la fuerte erosión que ha sufrido. Sin embargo, las cumbres relativamente anchas y el hecho de que mayormente quedan entre los 4,200 y 4,400 msnm indican que se trata de remanentes de esta superficie. Los mejores ejemplos están en el área de la divisoria, especialmente en el sector septentrional del cuadrángulo de Tayabamba.

Las geoformas locales que caracterizan a la cordillera Oriental son los valles en V, valles en U, lagunas de origen glaciaria, picos, valles colgados y circos

glaciares, además de depósitos de morrenas y fluvio-glaciares, así como depósitos coluviales y aluviales en las partes bajas de las cuencas.

4.2.1.2 Marco Geológico Regional

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio está constituida por rocas desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente. En la región de Pataz-Parcoy, la cordillera Oriental comprende un basamento metamórfico denominado 'Complejo del Marañón' (Wilson y Reyes, 1964; Dalmayrac, 1988; Schreiber, 1989; Haerberlin, 2002).

Las rocas más antiguas comprenden un miembro metapelítico intensamente deformado, el cual se encuentra constituido por paraesquistos y paragneises caracterizados por un metamorfismo regional de facies de esquistos verdes a facies de anfibolita, con cuatro fases de deformación sobrepuestas (Schreiber, 1989; Haerberlin, 2002). La serie metamórfica se encuentra formando bloques levantados y alargados en dirección NO-SE, entre los 6 y 13° de Latitud Sur, limitados al Oeste y Este por fallas longitudinales reactivadas durante los periodos tectónicos (Palacios, 1995).

Wilson y Reyes (1964) describieron para el Complejo del Marañón, mica-esquistos, meta-andesitas y filitas. Posteriormente Schreiber (1989) estudió las meta-andesitas como rocas metavolcánicas también asignadas al Complejo Marañón, sin embargo, una segunda unidad pre-siluriana constituye una secuencia

volcanoclástica, localmente llamada la Formación Vijus (Haeberlin, 2002) que incluye basaltos, lutitas, conglomerados e ignimbritas, que corresponden a las meta-andesitas y metavolcánicos.

En el Ordovícico y Silúrico, se depositó una serie detrítica a modo de secuencias turbidíticas, que tras las condiciones de metamorfismo termal en la zona pasaron a conformar alternancias de cuarcitas masivas, areniscas grises oscuras y pizarras grises, atribuidas a la Formación Contaya (Dalmayrac, 1980). Estratigráficamente las partes bajas de esta formación constan de bancos masivos de cuarcitas grises, mientras que las más altas muestran ciclos turbidíticos con pizarras negras ricas en graptolites, areniscas y menos cuarcitas. Posteriormente, Galdós (2005) describe una secuencia de lavas afaníticas con estructura almohadillada, intercaladas con pelitas y areniscas, denominadas como Formación Tres Lagunas la cual aflora de forma discontinua desde el Noreste de Huaylillas (La Libertad) hasta el sector Oeste de Leimebamba (Amazonas) a lo largo de 180 km y en una franja de 10 km de ancho promedio (Figura 8). Sobreyace en discordancia angular a las filitas y esquistos del complejo Marañón y a la Formación Contaya, la cual está constituida por alternancias de cuarcitas masivas, areniscas oscuras y pizarras grises (Dalmayrac, 1980).

Las secuencias de molasas epicontinentales están representadas por el Grupo Ambo, con intercalaciones de lavas almohadilladas intercaladas con sills basálticos-gabroicos. Estas se encuentran cubiertas por las secuencias de molasas

continentales rojas del pérmico superior conocidas como el Grupo Mitu, del Permiano medio al superior.

Durante el Triásico superior y Jurásico inferior se dio la invasión de los mares sobre una plataforma carbonatada, representada en el Grupo Pucará, compuesto principalmente de calizas y dolomitas. Durante el Cretáceo inferior el retiro de los mares dio lugar a una sedimentación clástica representada por las areniscas grisáceas del Grupo Goyllarisquizga. La transgresión del Albiano puede verse plasmada en esta zona del Perú en las margas y calizas de la Formación Crisnejas.

Durante la fase tectónica Peruana, se formaron los plegamientos y sobre-ejecurrimientos de las unidades inferiores, siendo cubiertas discordantemente por las capas rojas clásticas continentales de la Formación Chota (Mégard, 1978, 1984).

El Batolito de Pataz

El batolito de Pataz se trata de un gran cuerpo intrusivo de más de 90 km de largo, principal huésped de las vetas de oro que se explotan en la región, se trata de un cinturón intrusivo calco-alcalino de grandes dimensiones que se extiende a lo largo de la cordillera Oriental (Laubacher y Mégard, 1985). Se emplazó intruyendo al basamento del Complejo Marañón. Los pequeños apófisis dioríticos a tonalíticos en los márgenes del plutón representan a las intrusiones más tempranas.

El componente mayoritario del batolito es una granodiorita de grano medio, que hacia el núcleo del batolito grada, o tiene un contacto bien definido, con un monzogranito de grano grueso. En las partes apicales del batolito, los cuerpos de granodiorita- monzogranito son cortadas por diques de mica-aplita y algunos pequeños stocks de granito rosado (Haerberlin, 2004).

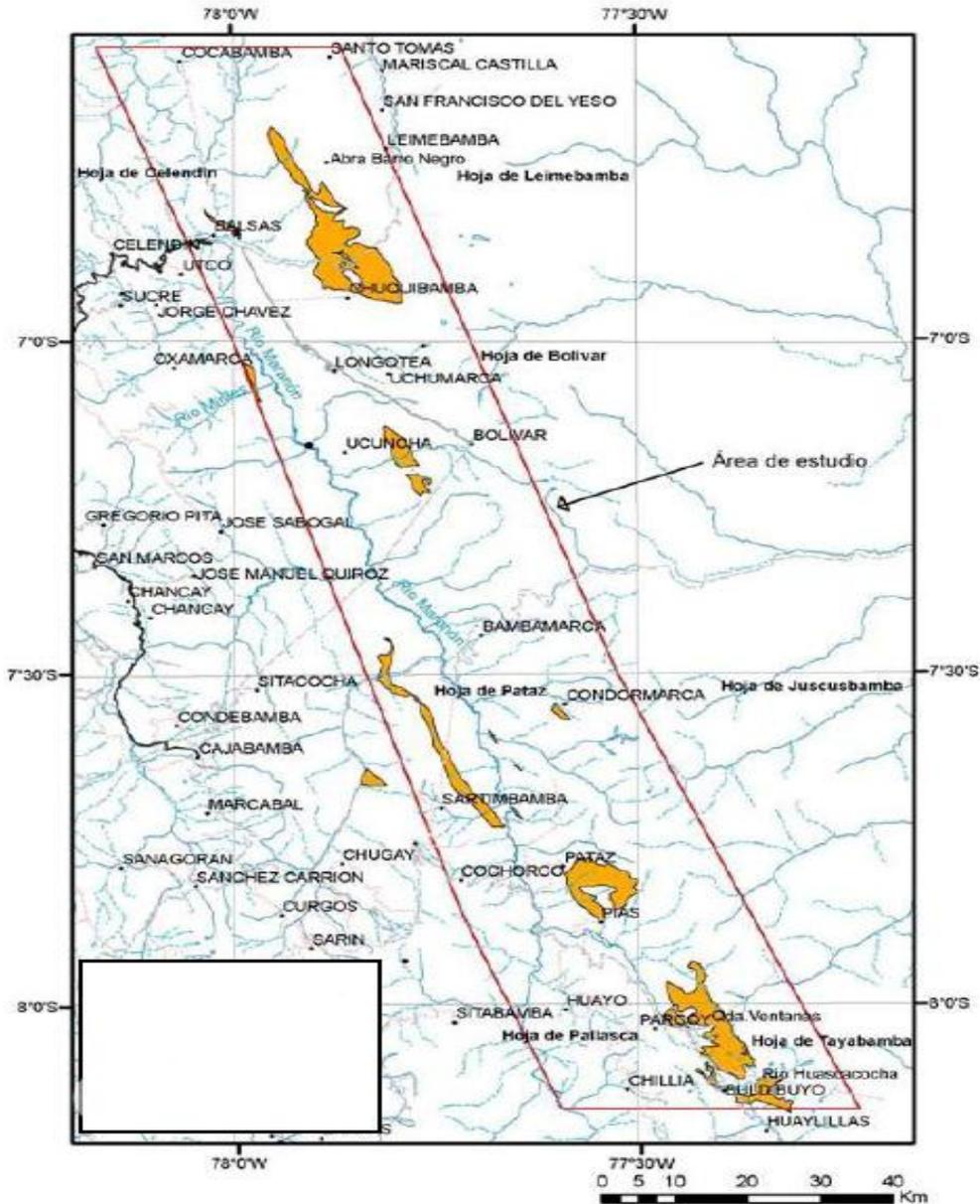


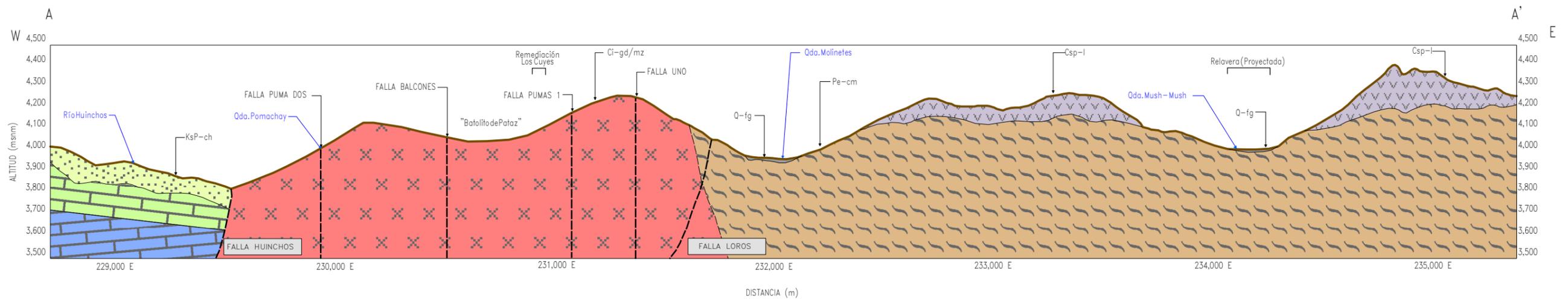
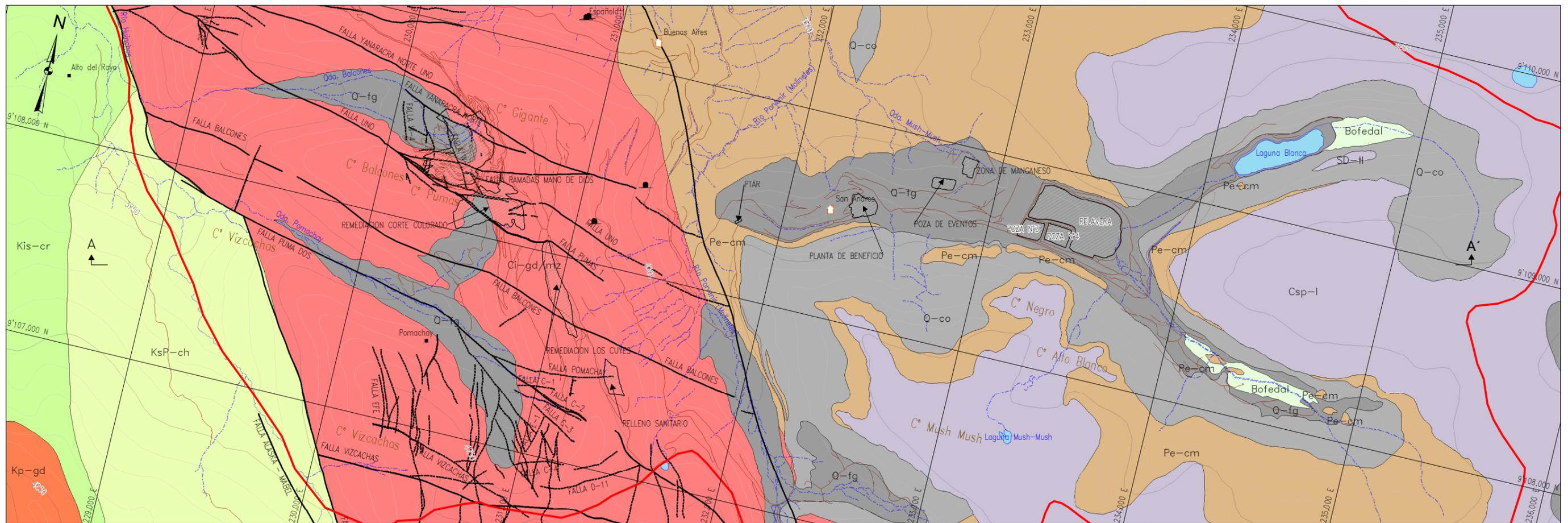
Figura 8. Distribución de Afloramientos Volcánicos de la Formación Tres Lagunas

4.2.2 Geología Local

En las partes altas de la zona de estudio (ver figura 9 y 10), correspondientes al embalse Laguna Blanca, quebradas Mush Mush y Molinetes, afloran secuencias de cuarcitas en bancos masivos correspondientes a la Formación Contaya. Sin embargo, a profundidad, las labores mineras subterráneas encuentran filitas y esquistos del Complejo del Marañón, por lo que la extensión y espesor de las cuarcitas de la Formación Contaya, no están bien determinadas (ver figura 11). El contacto con las rocas metamórficas del Complejo del Marañón es dudoso.

En la zona de la planta de tratamiento de aguas, hay afloramientos de metapelitas en grado metamórfico intermedio, a las cuales sobreyacen los bancos masivos de cuarcitas (ver figura 12). Estas cuarcitas se encuentran recubiertas por una coronación de rocas volcánicas de la Formación Tres Lagunas (Galdós, 2004). Las zonas de Laguna Blanca, quebrada Molinetes y quebrada Mush Mush, presentan buenas exposiciones de la Formación Tres Lagunas (ver la figura 13).

FIGURA 10: PERFIL GEOLÓGICO



PERFIL LONGITUDINAL A - A'
 ESCALA H. : 1/20,000
 ESCALA V. : 1/20,000

LEYENDA

- | | | | |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Vía afirmada Curva de nivel principal Curva de nivel secundaria Río Quebrada permanente Laguna | <ul style="list-style-type: none"> Eje de sección Centro poblado Bocamina Campamento Minero Area de estudio | <ul style="list-style-type: none"> Falla Falla inferida Contacto conocido Contacto inferido Componente minero | <ul style="list-style-type: none"> Depósitos Cuaternarios (Q-fg) Formación Chota (KsP-ch) Formación Crisnejas (Ki-cr) Grupo Pucará (TsJi-pu) Batolito de Pataz (Ci-gd/mz) Formación Lavasén (Csp-l) Complejo Maraón (Pe-cm) |
|---|---|---|---|

NOTA

- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
 - Información geológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) actualizada por Hydro-Geo.

REFERENCIA

ESCALA: 1/20,000

 DATUM: WGS84 ZONA: 18S

DIBUJADO

S. ROCHA
 REVISADO
 M. TELLEZ
 APROBADO
 J. TOVAR

CLIENTE

MARSA
 MINERA ALUMINERA RETAMAS S.A.
Hydro-Geo

PROYECTO

CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS
 TITULO
 PERFIL GEOLOGICO
 CODIGO PROYECTO HC 03-66
 FECHA AGOSTO
 LAMINA 3.2



Figura 11. Fotografía del Afloramiento de cuarcitas en bancos en la confluencia de las quebradas Mush Mush y Laguna Blanca.

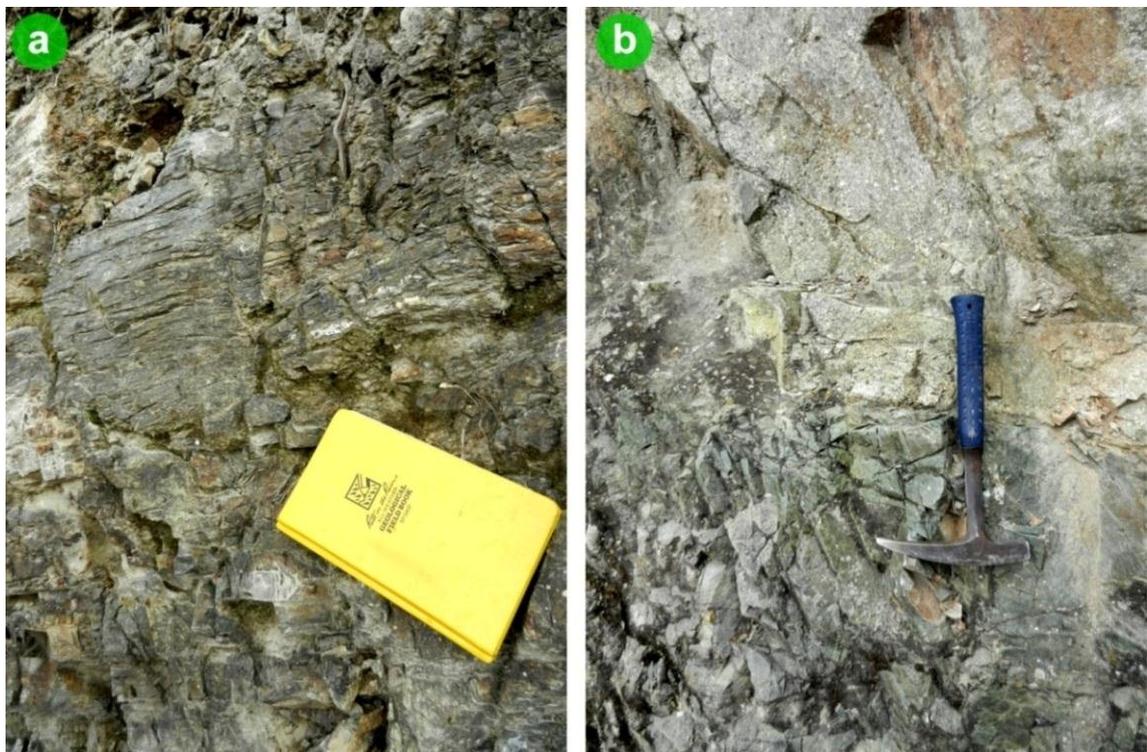


Figura 12. Fotografía a) Metapelitas en grado metamórfico bajo, conservando la estructura lutácea cerca de la planta de tratamiento de aguas. **b)** Intrusivo granodiorítico moderadamente fracturado, con fuerte cloritización en la quebrada Ventanas.

El batolito de Pataz aflora con un contacto poco definido en superficie y, delimitado por la falla Loros en subterráneo con las rocas metamórficas del Complejo del Marañón y, en superficie con las cuarcitas atribuidas a la Formación Contaya aproximadamente en la parte alta de la quebrada Molinetes, desde donde se deduciría que el trazo de la falla sigue el rumbo de la quebrada (ver la figura 14).

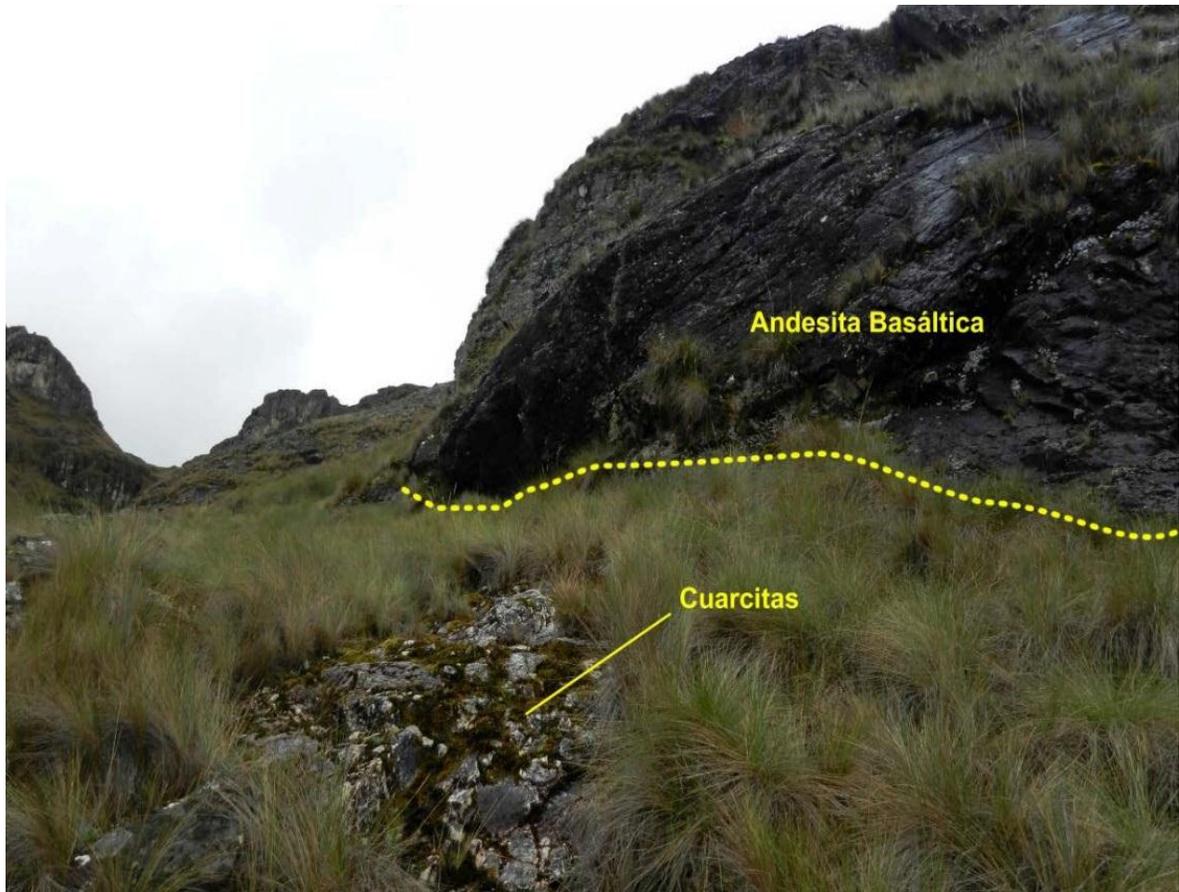


Figura 13. Fotografía de la Quebrada de la Laguna Blanca con afloramientos de cuarcitas granoblásticas, a las cuales sobreyace una secuencia volcánica andesítica-basáltica (Formación Lavasen).

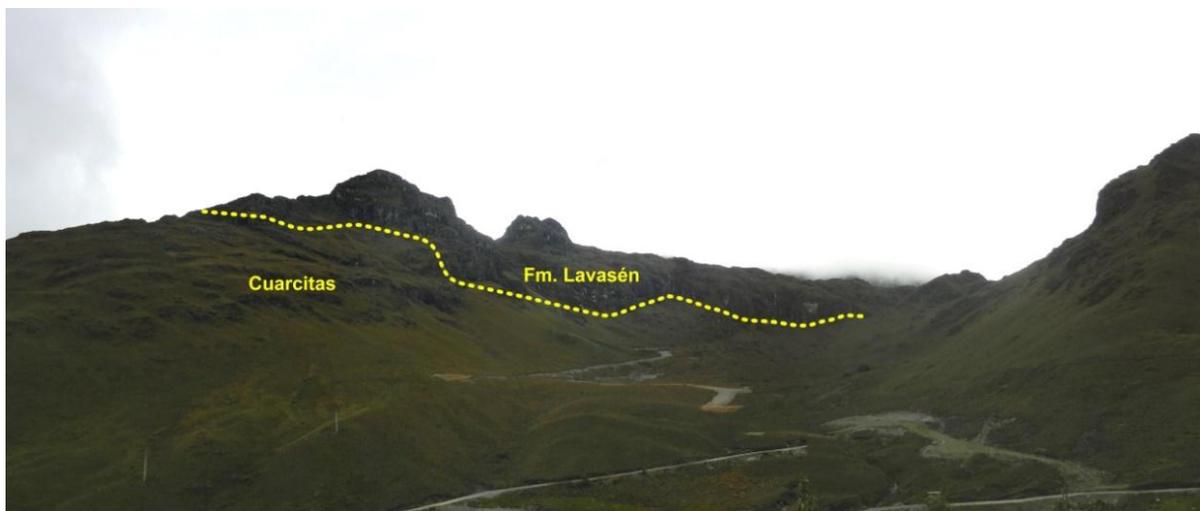


Figura 14. Fotografía de la Quebrada Molinetes con afloramientos de la Formación Lavasén (andesitas a andesitas basálticas) sobreyaciendo a cuarcitas granoblásticas.

En la zona de la quebrada Pomachay, hacia el sector Sureste de la zona de estudio, hay afloramientos del batolito de Pataz, los cuales se encuentran cortando a los volcánicos descritos anteriormente. En la quebrada Balcones, al Norte de la quebrada Pomachay, desaparecen las rocas volcánicas quedando únicamente expuestas las rocas intrusivas. De esta forma, en los cerros Balcones, Vizcachas y Cabana Alta ocurren afloramientos del batolito de Pataz, sin la cobertura volcánica que si están en la parte Este de la zona de estudio (suprayaciendo a la Formación Contaya).

Todo esto evidenciaría que el magmatismo fue un evento posterior a la Formación Tres Lagunas (ver la figura 15). El batolito se encuentra cortado por múltiples vetas de cuarzo lechoso, las cuales albergan la mineralización de oro (Figura 16).



Figura 15. Fotografía de la Quebrada y cerro Balcones con afloramientos del batolito Pataz (granodioritas)



Figura 16. Fotografía del Cima del cerro Cabana Alta. Veta de cuarzo lechoso, la roca caja es el intrusivo granodiorítico del batolito de Pataz

La zona se encuentra mayormente cubierta por depósitos cuaternarios, en su mayoría producto de la erosión fluvio-glaciar y, gruesos depósitos coluviales. El río Llacuabamba ha formado una gran terraza aluvial y, depositado material aluvial en sus márgenes.

4.2.3 Estratigrafía

Complejo de Marañón

Localmente se trata de una secuencia metamórfica cuya base es desconocida, consistente de filitas polideformadas y seritoesquistos con un grado de metamorfismo medio a alto. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas. Afloran en superficie en la zona de estudio hacia el sector E del mismo posiblemente estando en contacto fallado con el batolito de Pataz e infrayaciendo localmente a la formación Lavasen. Los materiales pertenecientes al Complejo Marañón son poco permeables por lo que se les asigna una permeabilidad baja a nula.

Adicionalmente, en la zona de estudio se presenta una secuencia de metasedimentos en bancos masivos, cuya extensión y potencia son desconocidas, por lo que no han sido diferenciadas en el cartografiado local y, que se encuentran sobreyaciendo a las filitas y esquistos del Complejo del Marañón. Se trata de cuarcitas granoblásticas de color gris claro que posiblemente puedan corresponder a la Formación Contaya. Son bastante competentes y compactas, con un grado de fracturamiento muy leve. En este sentido, el Complejo Marañón presenta una permeabilidad muy baja a nula comportándose como basamento impermeable.

Formación Lavasen

En la zona de estudio se ha identificado una secuencia de lavas afaníticas con estructura almohadillada de composición andesítica a basáltica, color gris oscuro con fenocristales de

hornablenda, piroxeno y escaso olivino, con un grado de fracturamiento leve a moderado que se encuentran sobreyaciendo a rocas metamórficas del Complejo Marañon y, se desconoce su tope, siendo la superficie de erosión actual.

Estas rocas volcánicas, que posiblemente pueden ser constitutivas de la formación Tres Lagunas, ocupan las cimas y los picos más altos de las montañas que se encuentran en las partes altas de la zona de estudio, con una geomorfología agreste y conspicua, con pendientes casi verticales, que lo diferencia de las unidades que lo circundan. Se estima que estas rocas tienen una permeabilidad baja.

Grupo Pucará

El Grupo Pucará se encuentra ubicado fuera del área local estudiada. Está constituida por calizas, de coloración gris a negras, bituminosas, bien estratificadas en capas delgadas y con pequeños lentes de sílice (Wilson y Reyes, 1964). El Grupo Pucará consiste en dos litologías diferenciadas, una inferior que se caracteriza por una estratificación maciza y una superior típicamente de una caliza negra y fétida, en capas delgadas y con intercalación de lutitas negras. A estos materiales se le asigna una permeabilidad media a baja.

Grupo Mitu

El Grupo Mitu que infrayace al Grupo Pucará se compone de conglomerado masivo, elementos subredondeados de caliza posiblemente de la formación Copacabana, arenisca parda, andesita rosada y roca metamórfica en una matriz de arenisca con un espesor

aproximado de 180 m. A estas rocas se le asigna una permeabilidad media a baja por ser un material consolidado y poco fracturado

Formación Crisnejas

La Formación Crisnejas se encuentra sobreyaciendo al Grupo Pucará y está controlado por una falla regional con rumbo NO-SE, por donde pasa el río Huinchus, esta formación consiste de calizas grisáceas, areniscas calcáreas y lutitas calcáreas, con una permeabilidad media a baja.

Formación Chota

La Formación Chota consiste de areniscas rojizas y conglomerados, guijarros de calizas, los cuales llevan capas de areniscas friables de grano grueso y de coloración rosada. Por su litología a esta unidad se le asignado una permeabilidad baja.

La Formación Tres Lagunas, el Grupo Pucará, la Formación Crisnejas y la formación Chota, poseen una permeabilidad media a baja, en consecuencia, estos materiales actúan como un acuitardo.

Depósitos Cuaternarios

En la quebrada de la Laguna Blanca afloran pequeños bloques erráticos de origen coluvial (ver la figura 17a). En la quebrada Mush Mush se encuentran pequeños eskeros constituidos principalmente de gravas (guijarros y gránulos gruesos), cubiertos de un suelo orgánico con vegetación, dando una topografía suave y ondulada, sobre los cuales yacen algunos bloques erráticos de composición volcánica andesítica (ver la figura 17b).



.Figura 17. Fotografía a) Bloque errático en la zona de la Laguna Blanca. b) Pequeños bloques erráticos yacen sobre un esker cubierto de vegetación. Quebrada Mush Mush

En la quebrada de la Laguna Blanca se presenta un perfil de los depósitos fluvio-glaciares (Figura 18a), donde se reconoce cierta selección gradando desde guijarros angulosos a gránulos gruesos en una matriz arenosa a limosa, cubiertos por un suelo orgánico de unos 40 cm aproximadamente. Se le asigna una permeabilidad media.

Los manantiales que alimentan al embalse Laguna Blanca han formado un bofedal con depósitos de gravas angulosas en una matriz de arenas gruesas (ver figura 18b)



Figura 18. Fotografía a) Perfil de los depósitos fluvioglaciares, con una cobertura de unos 40 cm de suelo orgánico en la zona de la Laguna Blanca **b)** Depósitos fluvioglaciares (gravas y arenas) en el bofedal de la Laguna Blanca.

Los depósitos coluviales tienen poca selección, tratándose de bloques subredondeados a angulosos, en una matriz constituida por guijarros y gránulos gruesos angulosos, constituyendo depósitos en tamiz (ver figura 19a). Se le asigna una permeabilidad de media a baja debido a la posible tortuosidad del flujo subterráneo, estos materiales constituyen un acuífero pobre.

Los depósitos aluviales se encuentran restringidos al cauce de los ríos, especialmente al río Llacuabamba (ver figura 19b). Se trata de cantos rodados subredondeados del tamaño de guijarros y guijas, en una matriz de gránulos y arenas muy gruesas subredondeadas. Estos materiales poseen una permeabilidad media a alta, constituyendo acuíferos libres.

A la margen izquierda del río Llacuabamba, aguas abajo, se ha formado una gran terraza aluvial (ver figura 20). Se le asigna una permeabilidad alta



Figura 19. Fotografía a) Depósitos coluviales. Bloques en matriz de guijas y guijarros, con gránulos gruesos, constituyendo depósitos en tamiz. b) Parte baja del río Llacuabamba con depósitos aluviales y fluviales.



Figura 20. Fotografía de la Terraza aluvial sobre la que se asienta el anexo de Llacuabamba

Rocas Intrusivas

El batolito de Pataz consta de un gran cuerpo intrusivo de composición granodiorítica a tonalítica, color gris parduzco, poco fracturado, constituido de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas (ver figura 21a). Se intemperiza a un color gris oscuro, encontrándose cortado por múltiples vetas de cuarzo lechoso (ver figura 21b). La composición no es uniforme, variando de granodioritas (composición intermedia) a monzonitas (menor proporción de cuarzo), con ocasionales afloramientos de granito (mayor proporción de feldespato potásico) y, tonalitas (ausencia de feldespato potásico). Este intrusivo se encuentra aflorando de forma extensiva en el sector occidental de la zona de estudio. Localmente aflora en los cerros Vizchachas, Balcones, Cabana Alta, Gigante y, hacia la margen izquierda aguas abajo de las quebradas Molinetes y Shucaque. Así mismo en la parte suroccidental afloran rocas intrusivas, granodioritas, de color grisáceo, de grano medio a grueso. Por su grado de fracturamiento, se estima que posee una permeabilidad media.



Figura 21. Fotografía de Afloramientos del batolito de Pataz en la quebrada Pomachay. a) Granodiorita, afloramiento y roca fresca. b) Veta de cuarzo lechoso cortando al intrusivo granodiorítico.

Estructuras Geológicas

Debido a la orogénesis, a una serie de esfuerzos compresionales y tensionales presentan una serie de plegamientos largos y angostos, con tendencia NO-SE-NO y pendientes que van desde los 35° hasta los 85° aproximadamente, asociados a estos pliegues se encuentran una serie de fallas regionales principalmente con rumbo NO-SE que controlan la geología y, unas cuantas fallas con rumbo SO-NE a N-S y fallas con rumbo E-O. Muchas de estas fallas regionales son lechos de ríos y quebradas que coinciden con la hidrografía superficial.

A continuación se detallan los diversos sistemas de fallas de mayor importancia:

Fallamiento NO-SE (Sistema Longitudinal)

Son fallas post-mineralización, de rumbo sub-paralelo y/o paralelo a las vetas, que originan ensanchamientos (cabalgamiento), acuñaientos y discontinuidad local de las estructuras mineralizadas; muchos de éstos son de carácter normal-sinistral e inversa- dextral, con desplazamientos que van desde centímetros a varios metros. En las labores desarrolladas sobre las vetas: Gigante Uno, Esperanza, Yanaracra Sur, Cachaco, Mano de Dios, Yanaracra Uno, etc., también se observan este tipo de fallas.

Fallamiento NE-SO a N-S (Sistema Diagonal)

De rumbo promedio Norte a noreste y alto buzamiento al Oeste. Son fallas que se presentan muchas veces agrupadas en bloque (fallamiento gravitacionales), otras veces como o estructuras aisladas relativamente. Las vetas en general se hallan afectadas por este tipo de fallamiento ya sea normal, inverso, sinistral o dextral. Es el caso de las fallas: Oeste Uno, Cabana Cuatro, Cinco, La Española, Sistema Chilcas, etc., con desplazamiento normal - sinistral. Cuando las fallas son de bajo ángulo se presentan Fallamiento E-O (Sistema Transversal) De rumbo promedio E-W y alto buzamiento al Norte o Sur, son fallas que desplazan hasta 100 m en la vertical y 300 m en la componente horizontal (sinistral) siendo el bloque Norte el que cae o hunde. Dentro de este sistema destacan: Falla Uno, E-1, falla veta Pumas Uno, Yanaracra Norte Uno, AB, Cinco, Cabana, San Vicente, etc.

La falla Uno es una estructura conocida por su extensión y persistencia y, por las observaciones de campo se deduce que es de movimiento inicial inverso o sinistral.

Muchas de estas fallas son pre-mineralización correspondientes al sistema de vetas NW- SE, con reactivaciones post-mineralización.

Nivel 2820

Adicionalmente, en el nivel 2820 se identificaron las siguientes estructuras y han clasificadas según su dirección.

- Fallas con dirección NO-SE, de carácter regional como la falla Ventanas y La Española (primer orden).
- Fallas de dirección NE-SO, de carácter local como la falla Patrick, falla NE-1 (2826.6) (segundo orden).
- Vetas-fallas de dirección NO-SE de corto recorrido como resultado de la cinemática de la falla Patrick siendo esta última una falla de rumbo.
- Fallas menores paralelas y con la misma cinemática de las vetas-fallas diferenciándose de estas últimas debido a que no se encuentran mineralizadas.

4.2.4 Fuentes de agua

Con el ánimo de reconocer las diferentes características del agua tanto superficial como subterránea y relacionarlas con la morfología local, se realizaron 2 campañas para la realización del inventario de fuentes de agua dentro de toda el área de estudio.

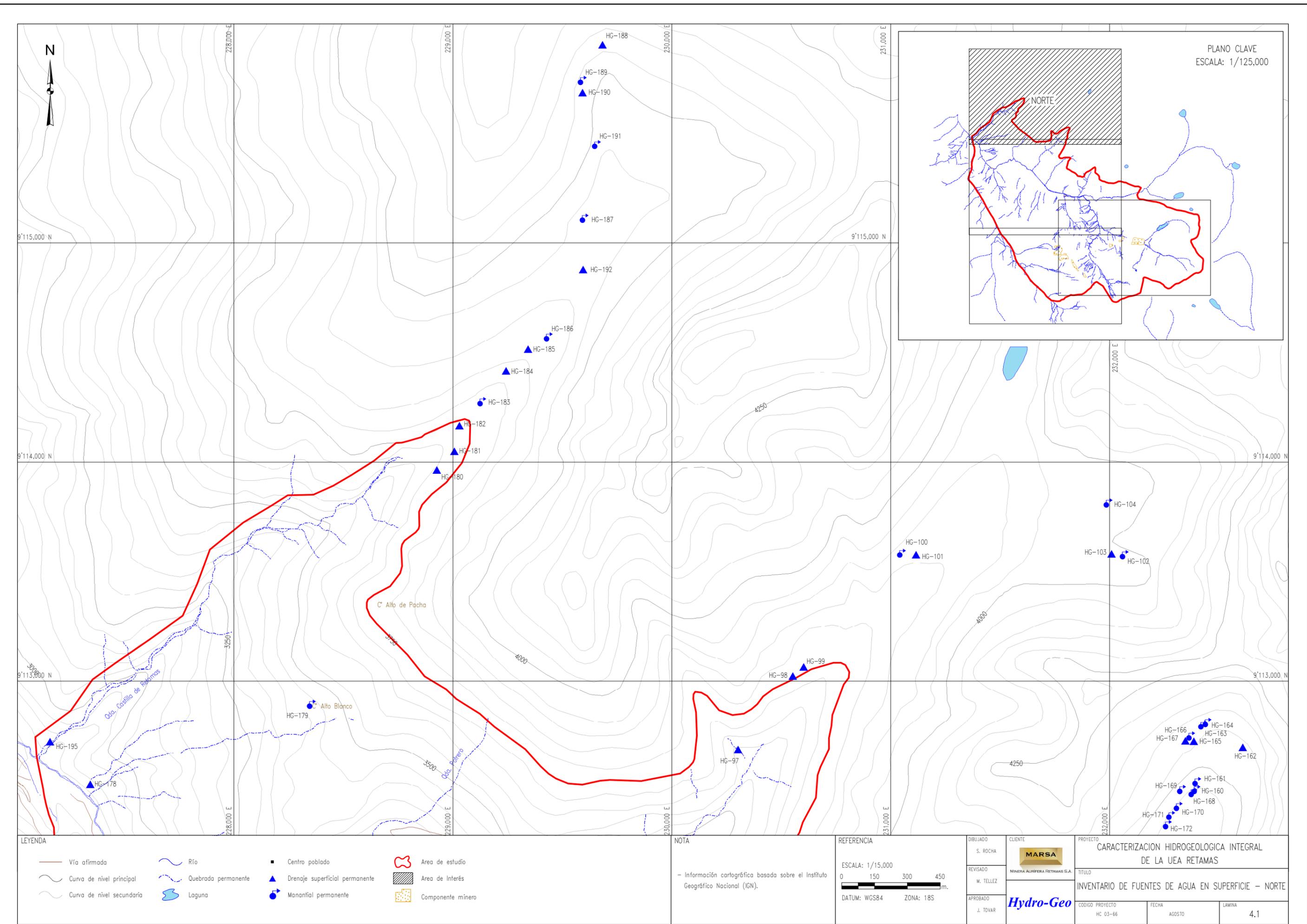
La primera de ellas se llevó a cabo durante el 19 al 26 de Febrero del 2014 hacia los sectores del embalse Laguna Blanca, quebradas Mush Mush, Molinetes, Pomachay y el río Llacuabamba. En esta etapa, se recopiló información hidrogeológica de 32 manantiales y goteras, 36 drenajes superficiales naturales, 20 piezómetros y, 28 efluentes de mina, en total se identificaron 116 fuentes de agua en toda el área de estudio.

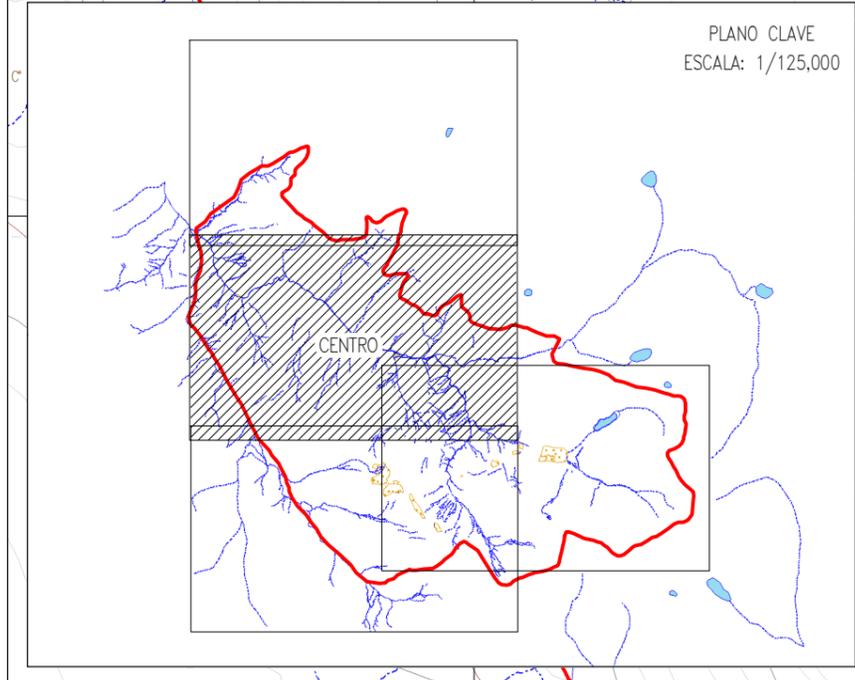
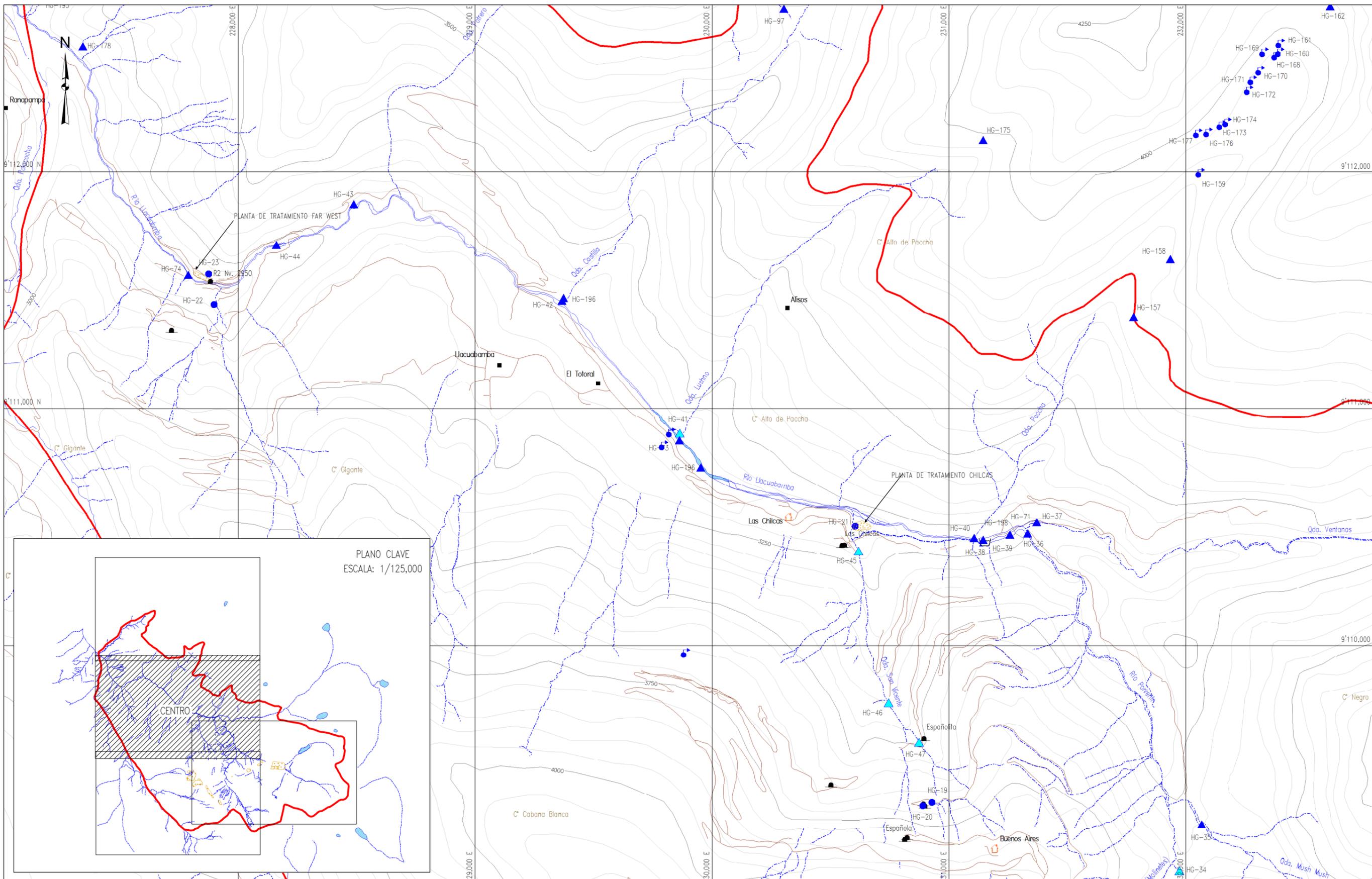
Con respecto a la segunda campaña, ocurrió entre los días 29 de Abril al 5 de Mayo del 2014 cubriendo las zonas de las quebradas Castilla Retamas 1, Castilla, La Paccha y río Huinchos. Asimismo se abarcó las cabeceras de Laguna Blanca y de las quebradas Mush Mush y río Porvenir (quebrada Molinetes). En esta nueva etapa, se recopiló información hidrogeológica de 99 manantiales y 47 drenajes superficiales naturales, en total se identificaron 146 fuentes de agua en toda la extensión adicional del área de estudio.

4.2.4.1 Fuentes de agua superficial

Como fuentes de agua superficial se identificaron en total 71 quebradas de las cuales 60 son permanentes y 11 temporales (ver figura 22). La permanencia se califica a partir de información recopilada de los pobladores quienes conocen el comportamiento del agua durante todo el año, así como por factores como el caudal, la dirección del flujo, alimentación a un cuerpo receptor y la geometría de su cauce.

FIGURA 22: MAPA DE INVENTARIO DE AGUAS





LEYENDA

Vía afirmada	Río	Centro poblado
Curva de nivel principal	Quebrada permanente	Campamento minero
Curva de nivel secundaria	Laguna	Bocamina

Agua de mina	Estructura hidráulica
Manantial permanente	Área de estudio
Drenaje superficial permanente	Área de interés
Drenaje superficial temporal	Componente minero

NOTA

- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

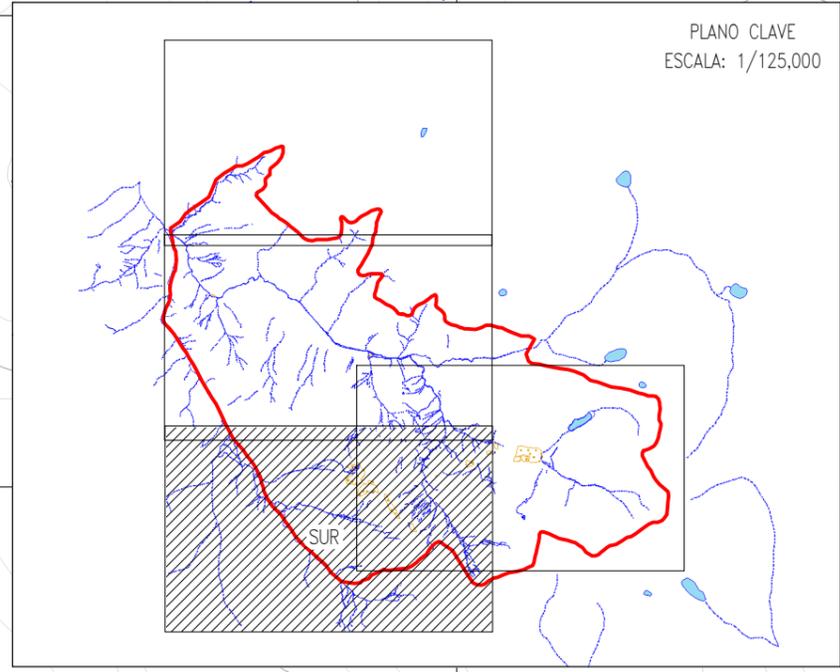
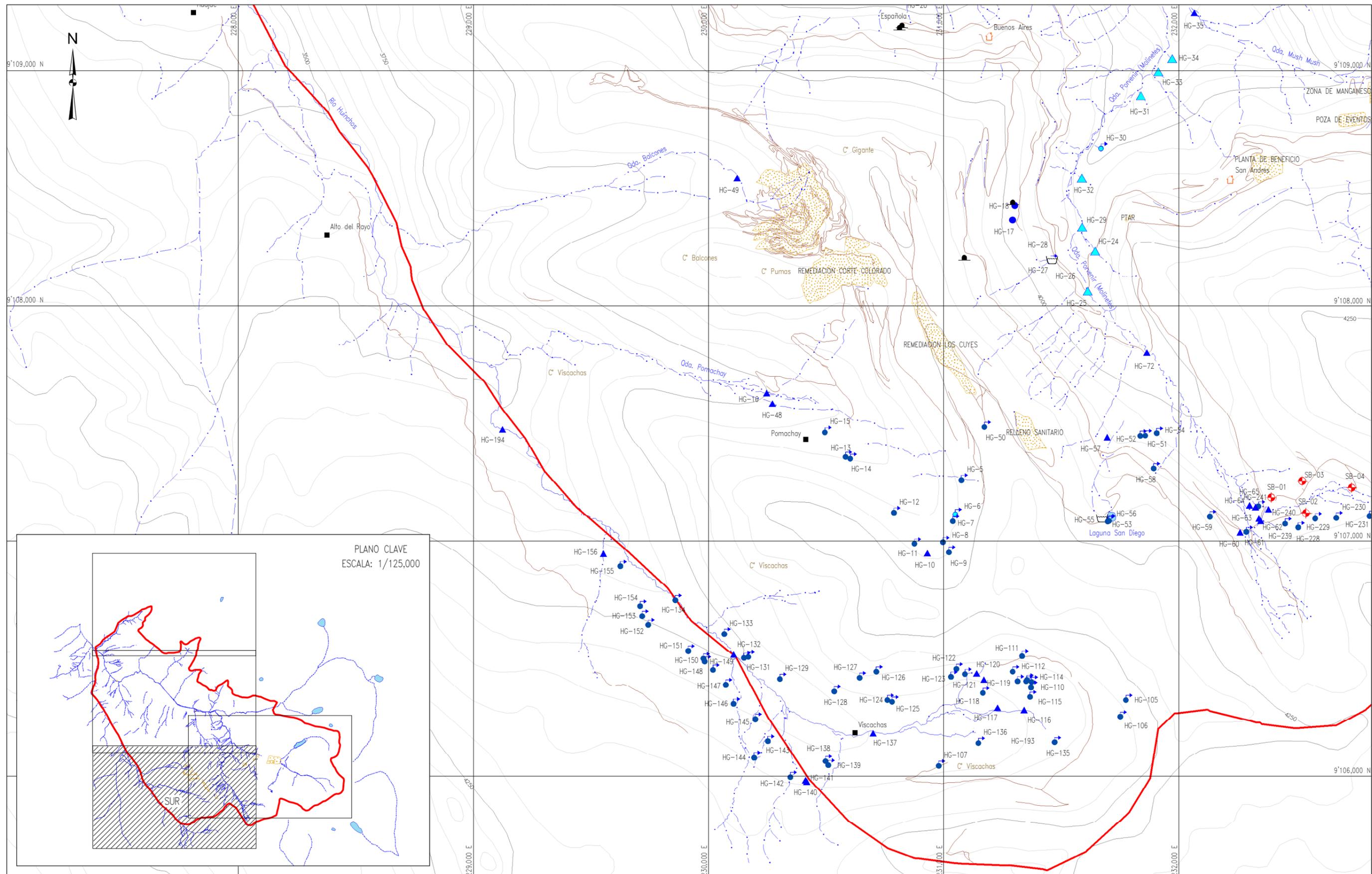
REFERENCIA

ESCALA: 1/15,000

DATUM: WGS84 ZONA: 18S

DIBUJADO	S. ROCHA
REVISADO	M. TELLEZ
APROBADO	J. TOVAR

CLIENTE	MARSA MINERA ALUFERRA RETAMAS S.A.
PROYECTO	CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS
TITULO	INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA EN SUPERFICIE - CENTRO
CODIGO PROYECTO	HC 03-66
FECHA	AGOSTO
LAMINA	4.2



LEYENDA	
	Vía afirmada
	Río
	Centro poblado
	Quebrada permanente
	Campamento minero
	Bocamina
	Agua de mina
	Laguna
	Drenaje superficial permanente
	Manantial permanente
	Drenaje superficial temporal
	Manantial temporal
	Estructura hidráulica
	Area de estudio
	Componente minero
	Area de interés

NOTA
- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

REFERENCIA
ESCALA: 1/15,000
0 150 300 450 m.
DATUM: WGS84 ZONA: 18S

DIBUJADO: S. ROCHA
REVISADO: M. TELLEZ
APROBADO: J. TOVAR
Hydro-Geo

CLIENTE: MINERA ALUFERA RETAMAS S.A.
PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA U.E.A RETAMAS
TITULO: INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA EN SUPERFICIE - SUR
CODIGO PROYECTO: HC 03-66
FECHA: AGOSTO
LAMINA: 4.3

Adicionalmente, se recopiló información en 3 lagunas y en 5 puntos del río Llacuabamba.

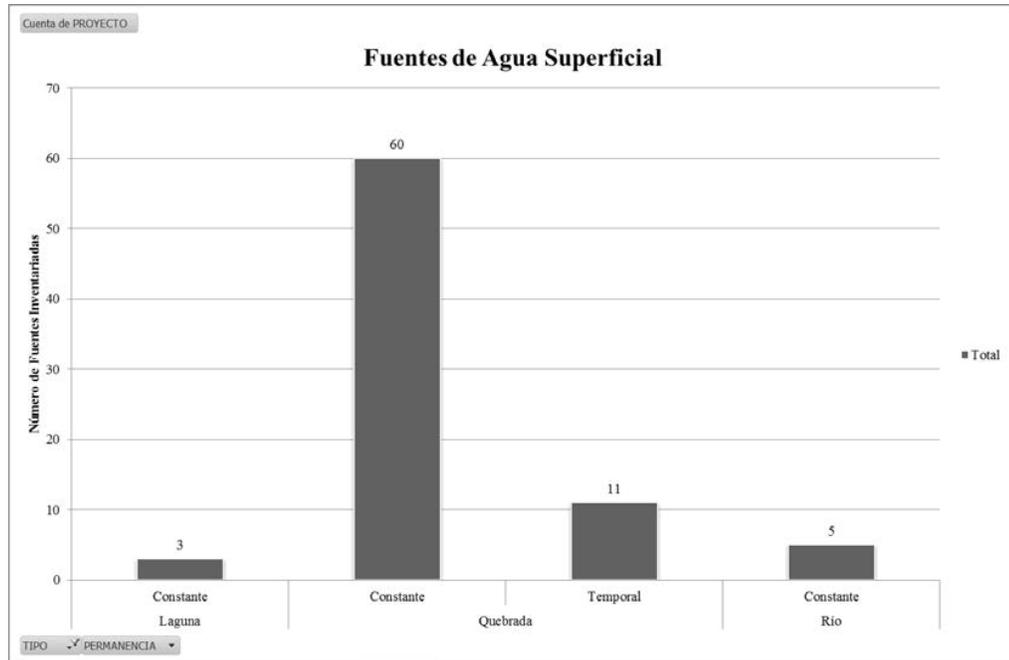


Figura 23. Fuentes de Agua Superficial

Para la medición de los puntos identificados se utilizó equipos de la marca YSI, debidamente calibrados, con el que se midió los parámetros in-situ como el pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos totales disueltos. Así mismo, para la medición del caudal se utilizó un correntómetro de marca Global Water modelo 3,000 así como baldes para mediciones volumétricas.

Caudales

Con respecto a las quebradas permanentes, su caudal varía entre 0.15 y 795 L/s siendo predominantes los valores altos en aquellas quebradas de mayor orden 1. La característica perenne de las quebradas se podría relacionar con una conexión directa

con el acuífero existente y, a que de no haber dicha conexión, estos cauces sólo estarían alimentados por agua de lluvia explicándose de esta manera su temporalidad.

Debido a que las campañas de inventario se realizaron durante y finalizando la época de lluvias, se observó en general una disminución del caudal en los cauces más importantes, es por esto que, por ejemplo en la quebrada Lushno (punto HG-41) la cual tuvo un caudal de 1.6 L/s en Febrero, en Mayo este se redujo totalmente encontrándose seco.

El punto con el menor valor medido es el HG-181, que corresponde a una pequeña quebrada, cuyo flujo alimenta a la quebrada Castilla Retamas 1 ubicada a la margen izquierda en la parte alta.

En contraste y en congruencia con la topografía, el punto con mayor valor medido es el HG-074 que corresponde al río Llacuabamba en la parte baja con 3,910 L/s, caudal registrado el 26 de Febrero del 2014.

Calidad In-Situ del agua

pH

En cuanto a los parámetros in-situ registrados en campo, el pH oscila entre 7.07 y 8.70 clasificándolo como un tipo de agua neutra a ligeramente alcalina según los estándares de calidad de agua establecidos por el MINAM. Espacialmente, no se distingue ninguna tendencia de este parámetro, sin embargo, el punto HG-62 es el que registra el pH más

alto, siendo de drenaje permanente y teniendo como ubicación en la parte alta del río Porvenir (quebrada Molinetes). Así mismo, el punto HG-141 ubicado en la parte media-alta, a la margen izquierda de la río Huinchos registra el valor más bajo siendo de drenaje temporal.

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es un parámetro que mide la capacidad de una solución para conducir la electricidad, la cual es proporcional a la concentración de sales disueltas en el agua, lo que significa que comúnmente estos valores se incrementan conforme haya más contacto con especies sólidas con las que pueda reaccionar, es decir, hacia aguas abajo. Esta situación podría variar en condiciones específicas de manera local.

Para el caso de las aguas superficiales en quebradas, la conductividad eléctrica varía entre 62 y 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentándose en general, valores poco elevados, según estándares de calidad de agua en los drenajes permanentes y temporales, siendo el punto HG-188 el que presenta el menor registro presentando flujo permanente. Esta fuente es descarga directa de la laguna, cuyo flujo es la naciente de la quebrada Castilla Retamas 1 ubicado en la parte alta del cerro San Francisco a una altitud de 4,085 msnm. En contraste, el punto HG-46 (quebrada San Vicente) presenta el valor más alto con 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de drenaje temporal, cuyo flujo alimenta al río Llacuabamba en la parte media y su valor posiblemente influenciado por la actividad minera artesanal e informal existente aguas arriba.

Temperatura

En términos de temperatura, los valores oscilan entre 6.4 y 16 °C mostrando en promedio, valores poco elevados y manteniendo el mismo orden de magnitud de los drenajes permanentes y temporales, a la vez, en algunos drenajes permanentes se registran datos ligeramente superiores que aquellos que son temporales, lo que indicaría una posible conexión con flujos subterráneos.

El punto con el menor valor registrado fue el HG-162 ubicado en la parte alta de la quebrada La Paccha, cuyo flujo es la primera naciente de la misma quebrada que proviene de manantiales y escorrentía desde la cima del cerro. Por otro lado, el punto con el mayor valor registrado es el HG-137 ubicado en la parte alta-media de la quebrada Huinchos, cuyo flujo es alimentado por los manantiales ubicados en la parte alta de la misma quebrada.

Color del Agua

En términos generales, el agua de los drenajes superficiales es incolora, inodora y en su mayoría cristalina y no tiene uso en específico, salvo excepciones en donde existen animales que la beben.

Uso del Agua

El agua superficial en la zona de estudio no tiene uso específico, salvo excepciones de las principales quebradas, como es el caso de la quebrada Castilla Retamas 1 en donde existe una captación de concreto (HG-192) de 1 metro cúbico de almacenamiento, que

capta una parte del flujo proveniente de la parte alta desde la descarga de la laguna negra (HG-188) y cuyo uso es con fines poblacionales. De igual manera, en la parte media de quebrada Castilla, existe una captación de concreto que capta, igualmente, una parte del flujo para fines poblacionales.

Del mismo modo en la cabecera del río Porvenir (Molinetes) existen 2 captaciones de manantiales (HG-229 y 240) cuyo flujo es conducido por 2 tuberías de 4", hasta un reservorio y luego distribuido a los campamentos de la mina para uso poblacional.

Por último, en las partes altas de las principales quebradas existen animales, en su mayoría ganado vacuno, que utilizan el agua para beber.

Canales de Derivación

Con respecto a los demás drenajes superficiales se identificaron 4 canales, de los cuales 3 son artificiales y uno natural (HG-53). El flujo de agua que proviene del rebose del embalse Laguna Blanca y de la parte alta de la Quebrada Mush Mush es captado por el canal de coronación HG-3 de material de concreto, el cual transporta el fluido bordeando toda la relavera hasta su descarga final en la parte baja de la misma.

El canal de concreto HG-39, capta las aguas de la quebrada Ventanas (HG-37) desde su parte media hasta la población de Llacuabamba donde sus aguas son captadas para uso poblacional.

Los 2 canales restantes, se ubican en la parte alta y media del río Porvenir (Molinetes):

- El canal HG-53, de condición natural, capta las aguas de escorrentía proveniente desde la parte alta de la quebrada y, conducida hasta una poza de almacenamiento y, posteriormente descargado por 2 tuberías de 4" a la misma quebrada en la parte media. Todo este sistema de conducción del flujo de agua tiene como objetivo conservar la estabilidad de la carretera en la parte alta de la del río Porvenir (quebrada Molinetes) y, a que por esta vía se movilizan camiones que transportan el desmonte producido por la actividad minera para luego ser depositado en la desmontera.
- El otro canal HG-28, de material de concreto, cumple la misma función que el anterior: captar el flujo de agua proveniente de escorrentía y descargarla en la parte media de la quebrada con el fin de estabilizar la carretera en la parte media del río Porvenir (quebrada Molinetes).

Drenaje Superficial por Rebose en Sistemas de Captación de Agua

Este tipo de fuentes caracteriza a aquellos flujos producto del rebose de los sistemas de captación de agua principalmente en sus tanques de almacenamiento generados en un lapso corto de tiempo. Es así que los 4 puntos inventariados presentan valores en parámetros físico - químicos sin grandes variaciones entre sí y confirmando su origen natural de estas aguas por su bajo contenido en sales. Estos puntos se ubican en la parte media del río Porvenir (Molinetes) (pH: 7.03 - 8.54, conductividad eléctrica: 133.2 - 578 μ S/cm y temperatura: 9.4 - 11.5 °C).

Río Llacuabamba

Con respecto al drenaje superficial del río Llacuabamba, medido y muestreado en la parte alta media y baja, su caudal varía de 1,530 a 3,910 L/s. A medida que su flujo se dirige aguas abajo es alimentado por quebradas aportantes de ambas márgenes, principalmente de la margen derecha.

- En relación a su pH se clasifica como aguas de tipo neutras a ligeramente alcalinas.
- La conductividad eléctrica varía de 125 a 229 $\mu\text{S}/\text{cm}$ disminuyendo a medida que el flujo discurre desde la parte alta a la baja, esto debido a que la época del muestreo se realizó en temporada de lluvias la cual genera una dilución de sales haciendo que su contenido disminuya ligeramente en el transcurso del río aguas abajo, de igual manera el orden de magnitud la conductividad se mantiene bajo.
- Con respecto a la temperatura, varía de 11.0 a 12.6" C, lo que indica similitud en todo el recorrido del río Llacuabamba.

La parte media de este río fue inventariada en cada una de las campañas debido a que se requiere corroborar la incidencia del flujo hacia el interior de la mina (nivel 2820 zona Castilla). Por tal razón, se realizaron mediciones de caudales cuyos valores fueron de 1,768 L/s registrado en Febrero 2014 y 496 L/s en la segunda campaña (mayo 2014). Esta diferencia se debe que a que esta última fue registrada al término de la temporada de lluvias.

El pH y la temperatura no presentaron variaciones significativas, de 7.39 a 7.65 y de 11.9 a 11.8°C, respectivamente. La conductividad eléctrica (229 $\mu\text{S}/\text{cm}$) tuvo un leve aumento con relación a la anterior medición (182 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Embalse Laguna Blanca

Con respecto al embalse denominado Laguna Blanca (punto HG-2), es alimentada por el flujo del manantial HG-70 y por la quebrada HG-1. En relación al pH del agua, su valor está en 7.36, que se clasifica como neutra. Con respecto a su conductividad eléctrica el valor registrado es de 342 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que se considera como bajo en concentración de sales.

En la segunda campaña (Mayo 2014), se realizó un inventario en la parte alta del embalse Laguna Blanca, en el cual se identificaron 3 quebradas (quebrada Blanca 1, 2 y 3) cuyos flujos conforman a la quebrada principal HG-1 que a su vez alimenta directamente la laguna. Estos flujos de agua provienen de las partes altas de los cerros desde la margen izquierda, derecha y central. El caudal medido en las tres quebradas suman 54.6 L/s, a diferencia de la primera campaña, cuyo caudal total medido fue de 21 L/s. Esta fluctuación podría ser la evidencia del ascenso del nivel freático local como respuesta a la finalización de la época de lluvias, permitiendo, a lo largo de este lapso de tiempo, la aparición de manantiales en las partes altas que en la campaña de Febrero 2014 no estaban presentes.

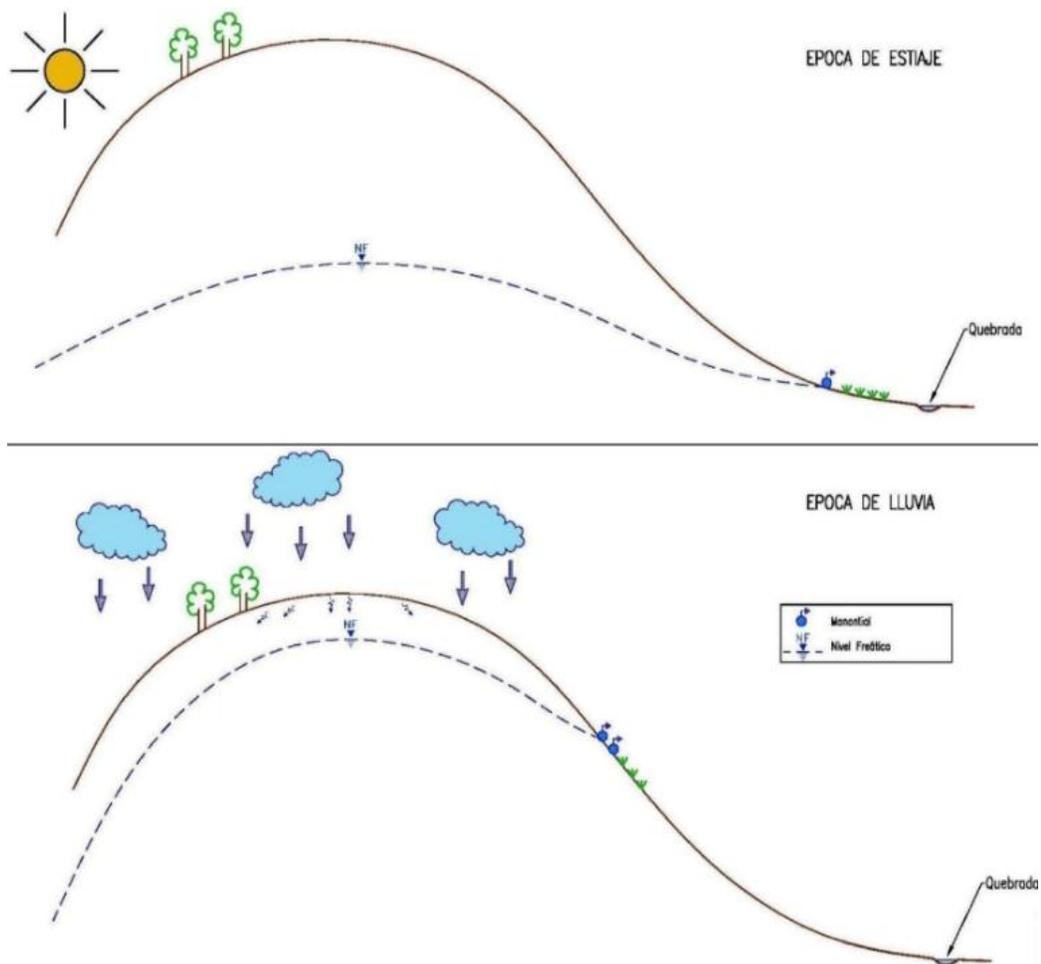


Figura 24. Temporalidad de los Manantiales

En total, fueron 8 manantiales encontrados en la parte alta del cerro donde su caudal forma la quebrada Blanca 2 (HG-201) cuyo caudal medido es de 14.3 L/s que incluye la escorrentía momentánea. De igual manera, las quebradas 1 y 3 (HG-200 y 202) aportan un caudal de 27.7 y 12.6 respectivamente hacia la laguna.

Finalmente, la laguna Blanca recibe un caudal total de 54.6 L/s calculado con base en las medición de Mayo 2014, indicando que este valor es variable según las condiciones estacionales.

En la tabla 11 se resumen los 79 puntos inventariados indicando sus principales características.

Tabla 11. Principales Características de las Fuentes de Agua Superficial

CAMPAÑA	CODIGO DE INVENTARIO	TIPO	COORDENADAS UTM WGS-84		ALTITUD (msnm)	CAUDAL (L/s)	COND.ELECTRICA (Js/cm)
			Este	Norte			
	HG-1	Quebrada Laguna Blanca	234,756	9°109,566	4,033.08	21.00	258.0
	HG-2	Embalse Laguna Blanca	234,354	9°109,416	4,014.65	--	342.0
	HG-4	Quebrada Mush Mush Alto	233,852	9°108,211	3,979.84	82.00	339.0
	HG-10	Quebrada Pomachav	230,931	9°106,950	4,194.12	5.50	105.0
	HG-16	Quebrada Pomachav	230,247	9°107,630	4,007.74	10.70	104.0
	HG-24	Quebrada Molinetes	231,644	9°108,148	3,886.56	1.40	143.0
	HG-25	Quebrada Molinetes	231,612	9°108,377	3,877.71	198.00	93.8
	HG-29	Quebrada Molinetes	231,589	9°108,591	3,811.38	15.00	235.0
	HG-31	Quebrada Molinetes	231,839	9°108,894	3,639.55	0.60	289.0
	HG-32	Quebrada Molinetes	231,588	9°108,359	3,789.96	1.60	330.0
	HG-33	Quebrada Molinetes	231,913	9°108,996	3,601.02	7.00	187.0
	HG-34	Quebrada Molinetes	231,972	9°109,052	3,605.04	0.40	299.0
	HG-35	Quebrada Mush Mush	232,066	9°109,599	3,550.00	319.00	330.0
	HG-36	Río Porvenir	231,331	9°110,004	3,262.09	727.00	250.0
	HG-37	Quebrada Ventanas	231,369	9°110,986	3,262.47	795.00	148.0
	HG-38	Quebrada La Paccha	231,146	9°110,906	3,242.89	36.00	153.0
	HG-40	Quebrada La Paccha	231,105	9°110,863	3,236.67	105.00	120.0
	HG-41	Quebrada Lushno	229,863	9°110,898	3,145.07	1.60	115.0
	HG-42	Quebrada Castilla	229,366	9°111,456	3,119.86	495.00	108.0
	HG-43	Quebrada Potreros	228,488	9°111,615	3,008.87	12.00	252.0
	HG-44	Río Llacuabamba	228,161	9°111,215	2,959.25	3,790.00	125.0
	HG-45	Quebrada San Vicente	230,617	9°110,684	3,233.65	13.50	572.0
	HG-46	Quebrada San Vicente	230,744	9°109,815	3,411.34	10.00	600.0
	HG-47	Quebrada Loros	230,873	9°109,847	3,514.65	2.10	586.0
	HG-48	Quebrada Pomachav	230,272	9°107,586	4,013.76	30.00	98.6
	HG-49	Quebrada Balcones	230,122	9°108,544	4,089.73	1.30	182.0
	HG-60	Quebrada Molinetes	232,261	9°107,038	4,070.28	54.40	161.4
	HG-62	Quebrada Molinetes	232,341	9°107,098	4,064.29	2.50	173.5
	HG-71	Río Llacuabamba	231,257	9°110,368	3,249.87	1,530.00	226.0
	HG-72	Río Porvenir	231,864	9°107,633	3,961.56	170.00	262.0
	HG-73	Río Llacuabamba	229,862	9°110,868	3,140.00	1,768.00	182.0
	HG-74	Río Llacuabamba	227,789	9°111,566	2,912.11	3,910.00	155.0
	HG-97	Quebrada Castilla	230,302	9°112,688	3,586.40	7.30	242.0
	HG-98	Quebrada Castilla	230,552	9°113,024	3,755.78	5.20	94.0
	HG-99	Quebrada Castilla	230,602	9°113,066	3,766.75	14.00	160.0
	HG-101	Quebrada Castilla	231,115	9°113,576	3,874.75	0.70	198.0

HG-103	Quebrada Castilla	232,008	9'113,580	4,000.00	16.00	200.0
HG-116	Quebrada Huinchus	231,342	9'106,282	4,106.00	7.20	340.0
HG-117	Quebrada Huinchus	231,229	9'106,292	4,088.70	10.30	315.0
HG-119	Quebrada Huinchus	231,171	9'106,412	4,106.40	0.30	329.0

CAMPAÑA	CODIGO DE INVENTARIO	TIPO	COORDENADAS UTM WGS-84		ALTITUD (msnm)	CAUDAL (L/s)	COND. ELECTRICA (Js/cm)
			Este	Norte			
	HG-120	Quebrada Huinchus	231,141	9'106,438	4,111.85	0.80	163.0
	HG-132	Quebrada Huinchus	230,107	9'106,520	3,997.42	1.10	240.0
	HG-137	Quebrada Huinchus	230,699	9'106,184	4,062.22	49.00	121.3
	HG-140	Quebrada Huinchus	230,413	9'105,984	4,104.81	0.50	159.9
	HG-141	Quebrada Huinchus	230,418	9'105,977	4,104.81	0.60	78.7
	HG-156	Quebrada Huinchus	229,552	9'106,948	3,911.55	7.00	92.6
	HG-157	Quebrada La Paccha	231,778	9'111,386	3,755.36	0.25	140.0
	HG-158	Quebrada La Paccha	231,934	9'111,632	3,800.00	0.15	144.0
	HG-162	Quebrada La Paccha	232,608	9'112,698	4,041.41	16.00	200.0
	HG-165	Lagunilla	232,384	9'112,726	4,060.47	0.60	116.0
	HG-167	Quebrada La Paccha	232,346	9'112,728	4,060.47	1.30	130.0
	HG-175	Quebrada La Paccha	231,144	9'112,134	3,982.63	65.00	120.0
	HG-178	Quebrada Castilla de	227,344	9'112,530	2,859.97	2.70	130.0
	HG-180	Quebrada Castilla de	228,926	9'113,964	3,688.66	0.20	67.0
	HG-181	Quebrada Castilla de	229,007	9'114,050	3,718.65	0.15	72.0
	HG-182	Quebrada Castilla de	229,029	9'114,166	3,750.00	6.30	110.0
	HG-184	Quebrada Castilla de	229,243	9'114,416	3,847.48	0.55	150.0
	HG-185	Quebrada Castilla de	229,343	9'114,516	3,877.50	5.30	72.0
	HG-188	Laguna Negra	229,684	9'115,906	4,067.87	57.00	62.0
	HG-190	Quebrada Castilla de	229,592	9'115,686	4,040.53	4.20	94.0
	HG-192	Quebrada Castilla	229,595	9'114,880	3,933.47	87.00	74.0
	HG-193	Quebrada Huinchus	229,123	9'107,476	3,774.00	220.00	318.0
	HG-194	Quebrada Castilla	227,159	9'112,724	2,865.29	127.00	118.0
	HG-195	Quebrada Castilla	229,373	9'111,468	3,117.35	115.00	139.9
	HG-196	Río Llacuabamba	229,952	9'110,752	3,144.00	460.00	229.0
	HG-197	Quebrada La Paccha	231,144	9'110,448	3,239.29	35.00	127.9
	HG-200	Quebrada Blanca	235,102	9'109,402	4,090.92	27.70	185.0
	HG-201	Quebrada Blanca	235,162	9'109,456	4,078.61	14.30	170.0
	HG-202	Quebrada Blanca	235,256	9'109,532	4,089.98	12.60	122.0

HG-214	Quebrada Mush Mush	234,171	9'108,190	4,029.47	37.00	190.0
HG-219	Quebrada Mush Mush	234,038	9'107,794	4,203.98	26.00	183.0
HG-220	Quebrada Mush Mush	234,561	9'107,868	4,103.21	16.00	175.0
HG-222	Quebrada Mush Mush	234,943	9'107,798	4,159.91	9.30	170.0
HG-223	Quebrada Mush Mush	235,072	9'107,850	4,164.65	3.20	190.0
HG-225	Quebrada Mush Mush	235,101	9'108,026	4,108.95	0.80	115.0
HG-226	Quebrada Mush Mush	235,053	9'108,102	4,093.84	23.00	148.0
HG-228	Quebrada Mush Mush	235,039	9'108,196	4,095.72	19.00	157.0
HG-241	Quebrada Molinetes	232,349	9'107,088	4,066.00	3.50	102.0
HG-242	Quebrada Molinetes	232,381	9'107,136	4,065.73	42.00	129.8

Nota: Las altitudes fueron tomadas a partir de la topografía de detalle proporcionada por MARSA

4.2.4.2 Fuentes de agua subterránea

Como fuentes de agua subterránea se reconocieron tres tipos: manantiales, piezómetros y aguas de mina.

Cabe mencionar, que la segunda campaña que cubrió inclusive los alrededores así como en la margen izquierda y derecha de las partes bajas de las quebradas Castilla Retamas 1, Retamas y La Paccha, no se encontraron manantiales, esto posiblemente debido a diferencias locales de permeabilidad en el Complejo Marañón. En contraste, la presencia de manantiales se manifiesta en las partes altas de las quebradas mencionadas, provenientes de las cumbres y faldas de los cerros aledaños así como de las cabeceras de pequeños bofedales que forman y alimentan el flujo de las quebradas.

Manantiales

Manantial es un afloramiento de agua subterránea originada por la intersección de una capa acuífera con la superficie lo cual indica que el nivel piezométrico es igual a la cota del terreno.

En el área de estudio, se identificaron un total de 127 manantiales, de los cuales 124 están en superficie y 3 en interior mina. De estos 127 afloramientos de agua, 124 son permanentes y 3 temporales. La característica del temporal se asemeja a lo expuesto para los drenajes superficiales, con la salvedad que de no haber agua de lluvia u otro tipo de recarga al acuífero en épocas de estiaje, el nivel freático es susceptible a

descender en vertical y de esta manera en superficie, disminuir o incluso desaparecer el caudal de dicho manantial.

La mayoría de los manantiales se ubican en la parte alta de los cauces naturales de agua, aportando su flujo a quebradas u otros cuerpos receptores.

Cabe recomendar, para una identificación exacta del régimen de flujos de los manantiales, si es permanente o temporal, realizar monitoreos mensuales de los manantiales más representativos, para determinar la variación de carga hidráulica del acuífero a lo largo de un año hidrológico.

pH

Los valores de pH oscilan entre 5.7 y 8.82 (HG-54 y HG-199), lo que se clasifica de ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas. Este parámetro no muestra ninguna tendencia espacial.

Conductividad Eléctrica

En términos de conductividad eléctrica, los valores varían entre 28 y 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$, calificando a las aguas como con baja concentración de sales, la mayoría de puntos, con valores bajos de conductividad eléctrica aquellos que se encuentran en las partes altas y aumentando ligeramente aguas abajo en ambas quebradas.

Temperatura

Los registros de temperatura tienen variación entre 5.6 y 16.8 °C. Sin embargo, en el nivel 2820 de la zona Castilla se registraron 2 manantiales: HG-79 y HG-198, cada uno con 21.3 y 20 °C y 6.8 y 1.2 L/s.

Así mismo, en la rampa Chachaco entre los niveles 2620 y 2650, se identificó el punto HG-199 con 33.6 °C donde su agua proviene de perforaciones realizadas al final de la rampa con fines exploratorios. Su caudal medido fue de 8.3 L/s logrando que se inunde toda la rampa.

De manera congruente, estos puntos ubicados en interior mina y que presentan los valores más altos de temperatura corresponden a los manantiales que registran las mayores salinidades representadas por la conductividad eléctrica más alta.

Propiedades Organolépticas

Con respecto a las propiedades organolépticas, el agua de estos manantiales es incolora, inodora y cristalina. En cuanto a su uso, en menor proporción es aprovechada por los animales.

Goterías

Adicionalmente, se identificaron 4 goterías, se entiende por goterías a las filtraciones que brotan desde el techo y/o paredes de una galería en forma de chorro pequeño o en abundancia de chorros abarcando varios metros. Las goterías identificadas, en relación a su caudal, varía de 0.8 a 4.6 L/s. En cuanto al pH varía entre 7.14 a 7.46

clasificando como aguas neutras. Con respecto a su conductividad eléctrica varía entre 455 a 1,258 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el punto HG-82 el que registra el valor más alto ubicado en el interior de la bocamina Españolita nivel 3715, procedente de una zona mineralizada. Por último su temperatura varía de 12 a 21.7 °C.

En la tabla 12 se lista el resumen de los 127 manantiales inventariados indicando sus principales características. En el Anexo B se muestran la totalidad de los datos del inventario.

Tabla 12. Principales Características de las Fuentes de Agua Subterránea (Manantiales)

CAMPAÑA	CÓDIGO DE INVENTARIO	TIPO	COORDENADAS UTM WGS-84 Z18		ALTITUD (msnm)	CAUDAL (L/s)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (µs/cm)	TEMP. (°)
			Este	Norte				
Febrero 2014	HG-5	Manantial	231,076	9°107,260	4,228	0.	38	9.9
	HG-6		231,050	9°107,114	4,207	0.	225	9.2
	HG-7		231,039	9°107,086	4,207	0.	31	10.0
	HG-8		230,997	9°106,996	4,210	0.	150	8.5
	HG-9		231,022	9°106,954	4,224	0.	65	9.6
	HG-1		230,876	9°106,990	4,178	0.	5	8.7
	HG-2		230,789	9°107,122	4,153	0.	135	10.3
	HG-3		230,603	9°107,352	4,095	0.	75	9.2
	HG-4		230,583	9°107,360	4,095	0.	110	8.0
	HG-5		230,495	9°107,464	4,064	0.	135	9.1
	HG-7		231,457	9°108,678	3,869	1.	141	9.0
	HG-0		231,670	9°108,670	3,749	0.	250	9.7
	HG-0		231,173	9°107,486	4,277	1.	67	8.6
	HG-1		231,836	9°107,448	4,060	0.	53	9.2
	HG-2		231,858	9°107,450	4,055	0.	53	9.2
	HG-4		231,906	9°107,460	4,034	1.	99	10.1
	HG-5		231,698	9°107,085	4,199	1.	93	10.4
	HG-6		231,703	9°107,088	4,199	0.	93	10.2
	HG-8		231,893	9°107,310	4,106	0.	120	11.5
	HG-9		232,133	9°107,106	4,088	2.	150	11.9
	HG-1		232,287	9°107,041	4,068	1.	165	13.1
	HG-3		232,340	9°107,149	4,060	3.	173	11.8
	HG-6		233,655	9°108,962	3,965	11	253	10.9
	HG-7	234,175	9°109,957	4,013	0.	163	9.5	
	HG-8	234,494	9°109,383	4,046	0.	251	11.3	
	HG-9	234,568	9°109,954	4,010	0.	240	12.3	
	HG-0	234,562	9°109,954	4,013	0.	337	8.5	
HG-9	230,486	9°110,310	Nivel 2820	6.	365	21.3		
HG-0	229'762	9°110,804	Nivel 2820	4.	455	21.7		
HG-2	230,739	9°108,784	Nivel 3715	0.	1,258	12.0		
HG-6	229'995	9°109,210	Nivel 3410	2.	485	12.8		
HG-5	230,326	9°109'866	Nivel 2950	1.	459	18.2		
		Goteras						

Mayo 2014	HG-00	Manantial	231,041	9'113,576	3,893	0.	158	11.9
	HG-02		232,059	9'113,570	4,000	1.	430	11.4
	HG-04		231,985	9'113,806	4,000	0.	326	12.3
	HG-05		231,775	9'106,326	4,219	0.	--	7.3
	HG-06		231,752	9'106,254	4,196	0.	--	7.7
	HG-07		230,979	9'106,046	4,106	2.	167	9.8
	HG-08		231,315	9'106,406	4,116	0.	49	10.4
	HG-09		231,351	9'106,406	4,113	3.	195	8.3
	HG-10		231,374	9'106,402	4,114	0.	35	11.0
	HG-11		231,333	9'106,514	4,158	0.	285	7.2
	HG-12		231,294	9'106,446	4,126	0.	76	8.3
	HG-13		231,355	9'106,410	4,113	0.	304	7.7
	HG-14		231,371	9'106,380	4,113	0.	131	7.9
	HG-15		231,368	9'106,340	4,111	1.	165	8.6
	HG-18		231,167	9'106,356	4,098	0.	155	11.2
	HG-21		231,091	9'106,436	4,106	0.	195	9.1
	HG-22		231,054	9'106,458	4,106	0.	150	7.7
	HG-23		231,031	9'106,424	4,094	0.	160	10.7
	HG-24		230,781	9'106,318	4,094	0.	180	12.0
	HG-25		230,761	9'106,326	4,095	0.	149	14.1
	HG-26		230,714	9'106,446	4,140	0.	65	13.0
	HG-27		230,643	9'106,420	4,117	0.	155	10.3
	HG-28		230,534	9'106,362	4,080	0.	218	9.6
	HG-29		230,303	9'106,414	4,028	0.	120	9.5
	HG-30		230,169	9'106,510	4,005	0.	168	8.6
	HG-31		230,151	9'106,506	4,008	0.	172	8.2
	HG-33		230,067	9'106,606	3,997	0.	160	8.6
	HG-34		229'859	9'106,750	3,969	1.	86	8.3
	HG-35		231,472	9'106,146	4,156	0.	152	10.2
	HG-36		231,148	9'106,142	4,085	0.	132	12.8
	HG-38		230,509	9'106,050	4,075	0.	59	10.9
	HG-39		230,498	9'106,066	4,075	0.	49	16.8
	HG-42		230,348	9'105,998	4,100	1.	95	12.0
	HG-43		230,253	9'106,152	4,059	0.	137	7.4
	HG-44		230,194	9'106,082	4,087	0.	283	9.0
	HG-45		230,199	9'106,244	4,050	0.	41	8.7
	HG-46		230,106	9'106,310	4,039	2.	102	8.6
	HG-47		230,073	9'106,390	4,013	0.	82	8.6
	HG-48		230,019	9'106,454	4,014	0.	85	8.4

	HG-49		229'983	9'106,490	4,013	0.	82	8.8
	HG-50		229'978	9'106,502	4,013	0.	72	10.2
	HG-51		229'913	9'106,534	4,015	0.	28	8.6
	HG-52		229'743	9'106,646	4,000	0.	97	8.7
	HG-53		229'718	9'106,682	3,991	0.	129	9.3
	HG-54		229'709	9'106,724	3,973	0.	93	9.1
	HG-55		229'625	9'106,894	3,924	0.	39	10.0
	HG-59		232,052	9'111,990	3,881	0.	227	8.6
	HG-60		232,387	9'112,498	3,966	0.	165	8.2
	HG-61		232,390	9'112,534	3,966	0.	143	7.0
	HG-63		232,437	9'112,804	4,074	0.	90	6.8

CAMPAÑA	CODIGO DE INVENTARIO	TIPO	COORDENADAS VTM WGS-84 Z18		ALTITVD (msnm)	CAUDAL (L/s)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (µs/cm)	TEMP. (°)
			Este	Norte				
	HG-64		232,417	9'112,792	4,097	0.	103	6.4
	HG-66		232,362	9'112,742	4,060	0.	108	9.7
	HG-68		232,372	9'112,484	3,965	0.	125	9.5
	HG-69		232,321	9'112,498	4,020	2.	127	6.2
	HG-70		232,305	9'112,420	3,969	0.	135	5.6
	HG-71		232,271	9'112,380	3,950	0.	115	5.8
	HG-72		232,256	9'112,338	3,950	0.	60	6.9
	HG-73		232,165	9'112,202	3,953	0.	160	7.9
	HG-74		232,140	9'112,190	3,921	0.	167	7.1
	HG-76		232,085	9'112,160	3,954	0.	190	8.6
	HG-77		232,041	9'112,156	3,954	0.	136	6.9
	HG-79		228,346	9'112,886	3,422	0.	88	10.7
	HG-83		229'125	9'114,268	3,783	0.	145	9.6
	HG-86		229'428	9'114,564	3,877	0.	100	8.7
	HG-87		229'592	9'115,106	3,950	1.	140	9.0
	HG-89		229'583	9'115,734	4,041	0.	70	7.3
	HG-91		229'648	9'115,442	3,964	0.	68	9.3
	HG-98		229'817	9'110,893	Nivel 2820	1.	355	20.0
	HG-99		229'880	9'109,963	Nivel 2620 a 2650	0.	313	33.6
	HG-03		235,368	9'109,310	4,166	0.	220	7.1

HG-04	235,428	9'109,264	4,223	0.	222	6.7
HG-05	235,435	9'109,250	4,223	0.	270	6.4
HG-06	235,440	9'109,196	4,230	0.	192	6.4
HG-07	235,455	9'109,174	4,230	0.	120	7.5
HG-08	235,337	9'109,132	4,222	3.	126	8.0
HG-09	235,320	9'109,102	4,241	0.	270	8.6
HG-10	235,274	9'109,098	4,245	0.	470	8.6
HG-11	235,252	9'109,110	4,222	13	195	9.4
HG-12	235,217	9'109,158	4,222	3.	120	8.5
HG-13	233,940	9'108,314	4,012	1.	185	9.0
HG-15	234,159	9'108,084	4,081	0.	163	10.1
HG-16	234,068	9'107,794	4,200	0.	191	13.2
HG-17	234,023	9'107,640	4,223	0.	200	9.9
HG-18	233,962	9'107,682	4,273	0.	168	7.1
HG-21	234,862	9'107,738	4,191	2.	187	7.3
HG-24	235,102	9'107,986	4,097	0.	130	7.3
HG-27	235,070	9'108,144	4,095	0.	135	7.0
HG-29	232,509	9'107,060	4,090	1.	101	7.1
HG-30	232,581	9'107,098	4,093	0.	66	7.4
HG-31	232,670	9'107,100	4,101	0.	78	8.2
HG-32	232,812	9'107,108	4,121	0.	91	7.1
HG-33	232,849	9'107,110	4,129	0.	90	6.9
HG-34	232,931	9'107,058	4,147	0.	85	8.1
HG-35	232,974	9'107,034	4,148	0.	111	7.9
HG-36	233,068	9'107,020	4,150	1.	107	6.5
HG-37	233,156	9'107,070	4,155	1.	145	7.6
HG-38	233,012	9'107,242	4,149	0.	98	6.4
HG-39	233,008	9'107,188	4,140	3.	126	6.1
HG-40	232,453	9'107,076	4,084	0.	103	6.9

Piezómetros

En el área de estudio se encontraron disponibles para su medición 20 piezómetros, de los cuales 5 fueron construidos en el desarrollo del proyecto del nuevo depósito de desmonte (BISA, 2012), 11 ejecutados en el estudio del nuevo depósito de relaves (BISA, 2013), incluye dos piezómetros multinivel y, 4 para la ingeniería de detalle para el recrecimiento del depósito integrado de relaves (BISA, 2012)

Los 4 piezómetros que se ubican en la zona de la actual relavera SR-01, 02 ,03 y 04 se encuentran secos y, según información proporcionada por la persona de Marsa a cargo, esta características se ha mantenido en el transcurso del tiempo a partir de su construcción.

Los 5 piezómetros que se ubican en la zona de la futura desmontera, el piezómetro SB-03 en el informe de construcción se reporta como seco. Los piezómetros SB-01, 02 y 04, sus niveles estáticos se encuentran a una determina profundidad, casi cerca de la misma altitud. Mientras que el piezómetro SB-5 presenta rebose de su nivel estático. Esto debido posiblemente a pequeños flujos locales subterráneos que se encontrarían en un estado de semiconfinamiento.

Finalmente, los 11 piezómetros que se ubican en la zona de la futura relavera, los piezómetros SB-01, 03, 06(a), 07, 09 y 10 (al igual a los que se ubican en la futura desmontera) sus niveles estáticos se encuentran a una determina profundidad, casi cerca de la misma altitud. Los piezómetros SB-04, 05a, 05b y 06b presentan

rebose de su nivel estático. Mientras que el piezómetro SB-02 se encuentra tapado.

En la tabla 13 se listan el resumen de los 20 piezómetros inventariados indicando sus principales características.

Tabla 13. Principales Características de las Fuentes de Agua Subterránea (Piezómetros - Campaña Febrero)

CODIGO DE INVENTARIO	COORDENADAS UTM WGS84 18S		COTA DEL COLLAR (msnm)	NIVEL ESTATICO (msnm)	OBSERVACIONES
	Este	Norte			
SB-01	232,394	9'107,186	4,074.68	4,067.76	La edición se realizó desde la cota del terreno.
SB-02	232,541	9'107,118	4,090.48	4,089.31	
SB-03	232,525	9'107,255	4,094.51	--	
SB-04	232,736	9'107,228	4,100.06	4,097.82	
SB-05	232,976	9'107,164	4,139.81	4,140.54	
SG-01	233,935	9'108,392	3,998.12	3,995.45	
SG-02	234,051	9'108,313	4,009.99	--	El piezómetro se encuentra tapado.
SG-03	234,001	9'108,204	4,036.95	4,031.60	La medición se realizó desde la cota del terreno.
SG-04	234,066	9'108,362	4,021.99	4,022.29	
SG-05(a)	234,189	9'108,252	4,027.89	4,028.27	
SG-05(b)	234,189	9'108,252	4,027.89	4,028.27	
SG-06 (b)	234,604	9'108,134	4,045.39	4,042.29	
SG-06(a)	234,604	9'108,134	4,045.39	4,045.07	
SG-07	234,601	9'108,222	--	--	El piezómetro no fue encontrado.
SG-09	233,805	9'108,410	3,986.33	3,985.55	La medición se realizó desde la cota del terreno.
SG-10	233,830	9'108,456	3,980.01	3,975.24	
SR-01	233,183	9'108,958	3,926.20	--	El piezómetro se encuentra seco.
SR-02	233,199	9'108,958	3,929.58	--	
SR-03	233,204	9'108,957	3,929.98	--	
SR-04	233,171	9'108,958	3,924.07	--	

Nota: Las altitudes fueron tomadas a partir de la topografía de detalle proporcionada por MARSA

Agua de Mina

Para el presente informe se ha denominado como agua de mina a aquellos flujos que circulan en el interior de las labores mineras desconociendo su punto procedencia exacta, los cuales en algunos casos podrían ser parte de un efluente

Caudales

Desde el interior de la mina hasta la superficie, se identificaron 24 flujos permanentes, con caudales que varían de 0.2 a 115 L/s. Siendo los caudales predominantes los flujos que provienen de los niveles inferiores y que descargan en las cámaras de bombeo, distribuidas en los niveles superiores. El principal flujo se ubica en el nivel 2770, sin embargo también existen caudales menores que descargan por tolvas y/o chimeneas abandonadas, alimentando los flujos principales circulantes por las galerías

pH

En cuanto a los parámetros in situ registrados en interior mina, el pH oscila entre 6.53 y 8.67, clasificándolo como aguas neutras a alcalinas, El punto HG-75 es el que registra el pH más alto, que proviene del interior de la galería clausurada conocida como rampa Cachaco, asimismo el punto HG-17 es el que registra el pH más bajo, cuyo flujo proviene del interior de las bocaminas cerradas Porvenir Medio. Por otro lado existe el punto HG-18 ubicado en superficie procedente de las bocaminas cerradas Porvenir Medio, cuyo flujo de agua es la continuación del punto HG-17, en

el cual su pH es de 10.8, valor debido a que se le agrega peróxido de Calcio para su tratamiento para luego ser transportada hasta la planta de tratamiento Las Chilcas.

Conductividad Eléctrica

Con respecto a la conductividad eléctrica los valores medidos oscilan entre 175 y 1,208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, clasificándolos como bajo a medio en concentración de sales. El punto HG-18 presenta el valor más alto, donde su flujo proviene del interior de las bocaminas cerradas Porvenir Medio (descrito líneas arriba) al cual después de adicionarle peróxido de calcio aumenta su conductividad (lo mismo que al pH). Finalmente todo el flujo es transportado por una tubería de 4" y conducido hasta la planta de tratamiento Las Chilcas. Asimismo el punto HG-91 es el que registra el valor más bajo, su flujo proviene de una galería cerrada ubicado en el nivel 3220 y alimenta al flujo principal que descarga a superficie (HG-90), hasta la planta de tratamiento Chilcas.

Temperatura

En términos de temperatura del agua, los valores oscilan entre 10.2 y 33.5 °C, mostrando valores en algunas fuentes valores muy elevados, siendo el punto HG-75 el que registra el valor más alto de temperatura, proveniente del interior de la galería conocida como Rampa Cachaco. Esto se interpretaría debido a la probable conexión que exista entre este flujo y el manantial HG-199. Por otro lado, el punto HG-17, es el que registra el valor más bajo, su flujo proviene desde el interior de la bocamina inoperativa Porvenir Medio captado por 2 tuberías de 4".

En la tabla 14 se muestra el resumen de los 24 puntos inventariados indicando sus principales características.

Tabla 14. Principales Características de las Aguas de Mina

CODIGO DE INVENTARIO	COORDENADAS UTM		ALTITUD (msnm)	pH	CE (µs/cm)	TEMP. (°C)	CAUDAL (L/s)
	Este	Norte					
HG-17	231,294	9'108,366	3,911	6.53	962	10.2	--
HG-18	231,303	9'108,426	3,903	10.80	1,208	10.5	13.0
HG-19	230,927	9'109'340	3,691	7.90	656	12.0	2.5
HG-20	230,890	9'109'326	3,709	7.28	557	13.1	32.0
HG-21	230,604	9'110,505	3,193	7.50	683	15.2	95.0
HG-22	227,898	9'111,042	2,945	7.43	480	21.3	96.0
HG-23	227,875	9'111,924	2,953	7.72	500	21.5	115.0
HG-75	229'876	9'109,964	Nivel 2620	8.67	360	33.5	8.3
HG-76	230,198	9'109,796	Nivel 2770	7.36	480	22.3	26.4
HG-77	229'746	9'110,526	Nivel 2820	7.38	302	23.4	8.6
HG-78	229'796	9'110,887	Nivel 2820	8.10	438	22.3	3.5
HG-81	230,896	9'109,308	Nivel 3715	7.24	247	12.8	16.5
HG-83	230,688	9'108,685	Nivel 3715	7.17	1,045	11.8	2.4
HG-84	229'321	9'108,211	Nivel 3410	7.46	240	17.0	5.5
HG-85	229'988	9'109,199	Nivel 3410	7.14	530	12.4	1.4
HG-87	230,309	9'109,461	Nivel 3410	7.10	713	12.0	0.2
HG-88	230,534	9'109,559	Nivel 3410	7.14	742	13.5	3.6
HG-89	230,662	9'109,743	Nivel 3410	7.34	739	12.6	10.4
HG-90	230,547	9'109,612	Nivel 3220	7.17	367	16.1	26.6
HG-91	230,557	9'109,664	Nivel 3220	7.54	175	16.5	0.7
HG-92	230,549	9'110,405	Nivel 3220	7.28	479	15.5	28.5
HG-93	229'564	9'109,839	Nivel 3950	7.43	464	21.6	86.4
HG-94	230,364	9'109,870	Nivel 3950	7.53	483	19.7	2.4
HG-96	230,326	9'109,866	Nivel 2950	7.88	395	22.2	27.0

4.2.5. Hidrogeología

4.2.5.1 Unidades Hidroestratigráficas

Como parte de la descripción hidrogeológica del área de estudio es definir sus unidades hidroestratigráficas entendidas como la clasificación de materiales geológicos de acuerdo a su capacidad de transmitir y almacenar agua en términos de permeabilidad y porosidad, esta última descrita como intergranular, fisurada o carstificada (IAH,1995). En este sentido varias formaciones geológicas pueden ser combinadas dentro de una sola unidad hidroestratigráfica o una formación geológica puede ser subdividida en acuífero u horizontes confinantes (Anderson & Woessner, 1991).

A partir de los ensayos hidráulicos ejecutados por BISA 2012 y 2013 en donde se realizaron 58 pruebas tipo Lugeon y Lefranc a carga constante y variable en materiales descritos como gravas, arenas, filitas, metandesita, entre otros, se muestran en la figura 25, los valores de permeabilidad promedio para cada uno de las litologías descritas.

Lefranc: Este ensayo se realizó con la finalidad de medir las propiedades hidráulicas de los suelos y rocas, aplicando ensayos Lefranc de carga constante (LCC) y variable (LCV), que son ensayos de infiltración que se usa en los suelos finos y/o granulares poco consolidados.

Lugeón: Para evaluar los tramos del macizo rocoso, fue necesario ejecutar pruebas de inyección de agua a presión tipo Lugeón a intervalos de 4 a 6 m. Estos consistieron en la infiltración de agua a una presión constante durante un periodo de 5 a 10 minutos, en un

tramo previamente obturado.

Durante el ensayo se obtuvieron cinco resultados de absorción de agua a presión, de estos se seleccionó un valor representativo.

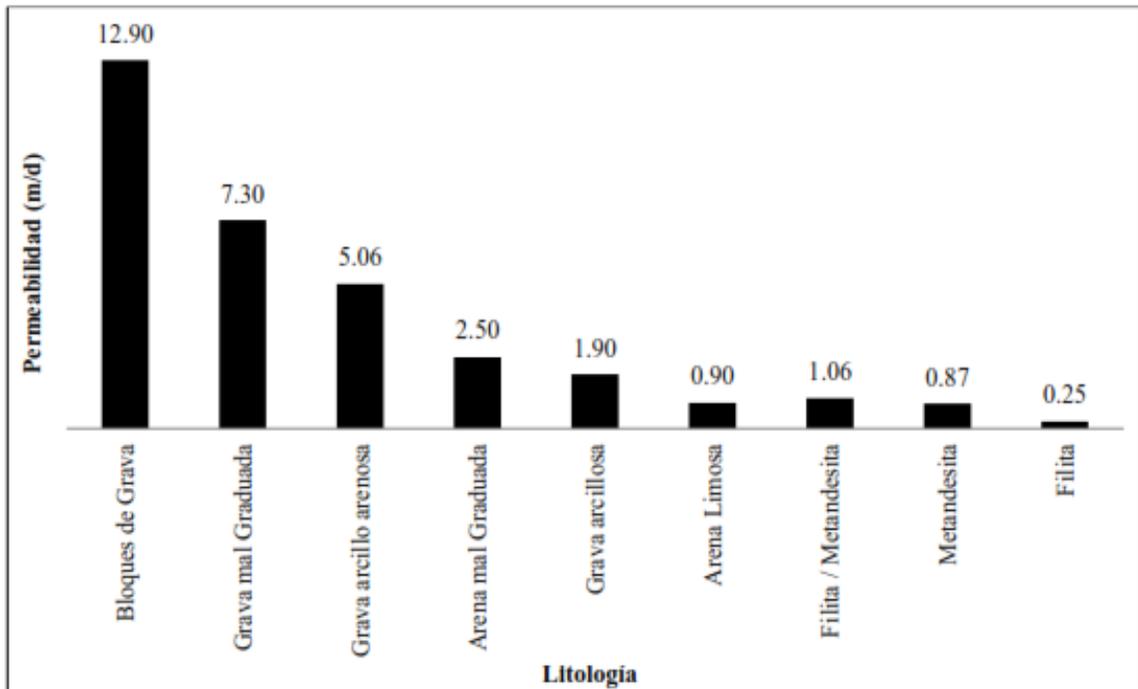


Figura 25. Valores de Permeabilidad Promedio de la Litología Local

En la figura anterior, las 6 primeras categorías corresponderían a depósitos cuaternarios debido a su característica no consolidada, mientras que las tres últimas, a la unidad geológica Complejo Marañón correspondiente a la roca encontrada en las labores subterráneas como también en las perforaciones a las que se les realizaron las pruebas hidráulicas.

Así mismo, según la descripción litológica y estructural realizada en campo en donde se reconoció que las rocas constitutivas del batolito de Pataz son de tipo granodiorita a tonalítica y por su grado de fracturamiento se estima que posee una permeabilidad baja. Adicionalmente, en información suministrada por el área de geología de MARSA en donde

se describe la litología y estructura de 21 sondajes perforados en su mayoría en este cuerpo intrusivo con fines exploratorios, se relacionan rocas que van desde el granito En la figura anterior, las 6 primeras categorías corresponderían a depósitos cuaternarios debido a su característica no consolidada, mientras que las tres últimas, a la unidad geológica Complejo Maraón correspondiente a la roca encontrada en las labores subterráneas como también en las perforaciones a las que se les realizaron las pruebas hidráulicas.

Así mismo, según la descripción litológica y estructural realizada en campo en donde se reconoció que las rocas constitutivas del batolito de Pataz son de tipo granodiorita a tonalítica y por su grado de fracturamiento se estima que posee una permeabilidad baja. Adicionalmente, en información suministrada por el área de geología de MARSA en donde se describe la litología y estructura de 21 sondajes perforados en su mayoría en este cuerpo intrusivo con fines exploratorios, se relacionan rocas que van desde el granito hasta la tonalita pasando por dioritas en donde el 60% de los segmentos descritos (segmento promedio 2 m) no presenta fracturas, indicando así que esta unidad geológica presenta baja a muy baja permeabilidad. Lo anterior explica el porqué de los pequeños valores ($\approx 194\text{L/s}$) en caudales de filtración de agua subterránea en las labores mineras que se ve evidenciado a la no necesidad de instalar cimbras o recubrimiento de Shocrete (técnicas de sostenimiento) en la mayor parte de galerías.

Conexión Hidráulica Río Llacuabamba - Mina Subterránea

De igual forma, en la zona Castilla, al ingresar por la cámara 14 de la rampa Patrick en el nivel 2820 exactamente en el XC 10256-N, se presenta la zona con la más fuerte filtración

de agua de la mina que se extiende por aproximadamente 140 m en donde se describe diorita y pórfido diorítico con microfracturas y la presencia de la falla Chilcas perteneciente al sistema de la falla Ventanas. Esta estructura (falla Chilcas) es clasificada como una falla de rumbo con movimiento dextral con componente normal debido al desplazamiento de la falla Patrick.

El sistema de las fallas Ventanas - Chilcas corresponde a zonas de cizalla que favorece la circulación de fluidos debido a que sus estructuras son abiertas y generalmente tienen espesores que varían de 1 a 4 m, permitiendo la conexión hidráulica entre el Río Llacuabamba y los niveles más profundos como es el caso de la presencia de agua en el nivel 2820.

A la altura del campamento Chilcas Oeste, se conjugan las fallas Loros, Ventanas, Chilcas (fallas de primer orden), Patrick (falla segundo orden), vetas-fallas (vetas Cabana, Daniela) y diaclasamiento, contribuyendo a originar una zona de alto grado de fracturamiento. Adicionalmente, el comportamiento de la falla Patrick ha generado un sistema de fallas tipo Split que en conjunto genera una zona crítica que permite la infiltración de las aguas del río Llacuabamba

La hidroquímica podría ayudar a establecer si el gran volumen de agua filtrada en crucero 10256 nivel 2820 proviene de las posibles infiltraciones del río Llacuabamba, siempre y cuando se tome en cuenta que las aguas a medida se profundizan lavan las rocas con las que tiene contacto, y si dicha litología se encuentra mineralizada y/o con alteración hidrotermal,

las concentraciones de los elementos podrían tener variaciones, no permitiendo usarlas como criterio de comparación.

En este sentido, se tomaron 02 muestras de agua, una correspondiente al agua superficial que discurre en el río Llacuabamba (M-6) y otra correspondiente al Crucero 10256- Nivel 2820. En los resultados geoquímicos se evidencia cierta similitud como es el caso de los carbonatos, bismuto total, fosforo total, estaño total, otros varían ligeramente (1 - 3%) como molibdeno total, sodio disuelto. En la figura 26 se evidencia una correspondencia de los elemento (aniones y cationes) entre las dos muestras evaluadas.

La concentración de bicarbonatos presentan valores de 58.6 mg/L (M-6) y 89.0 mg/L (IM-1), los sulfatos tienen valores de 53.59 mg/L (M-6) y 61.22 mg/L, clasificando estas muestras como aguas de tipo Sulfatadas-Bicarbonatadas (ver figura 27 y 28).

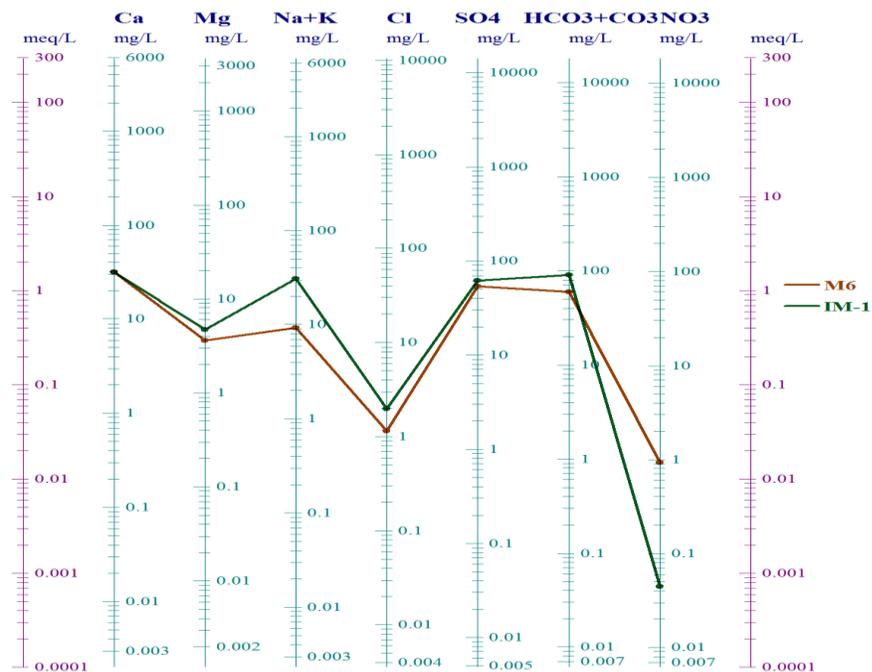


Figura 26. Diagrama Scholler

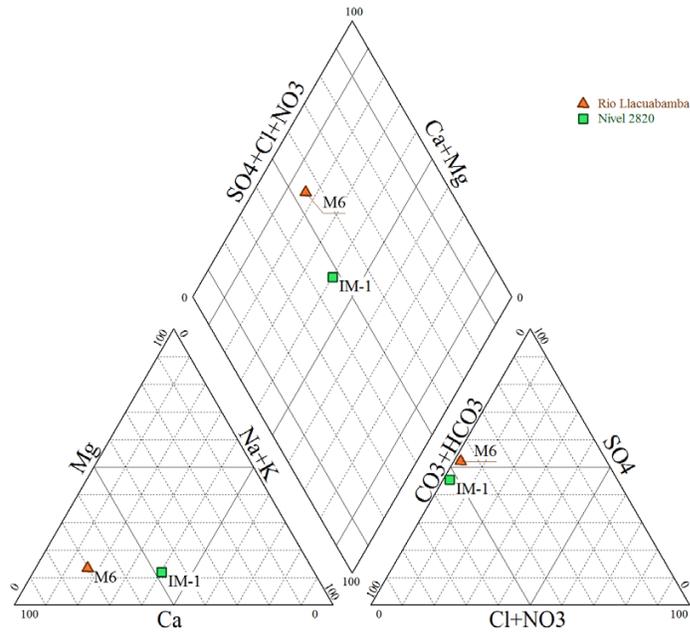


Figura 27. Diagrama Piper

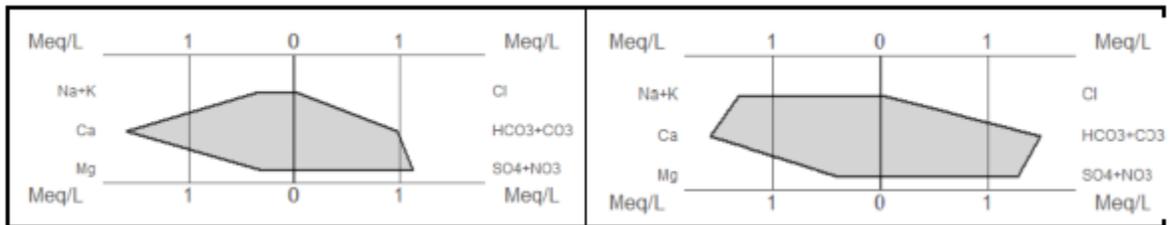


Figura 28. Diagramas Stiff

Todos lo anterior se sustenta con la ley de Darcy donde enuncia que a mayor permeabilidad, en este caso mayor grado de fracturamiento de la roca, mayor será el caudal transmitido por este material:

$$Q = k * A * i$$

Dónde:

Q : Caudal

k : Permeabilidad

A : Sección transversal a la dirección de flujo

i : Gradiente hidráulico

En consecuencia a las descripciones anteriores, se definen 6 unidades hidroestratigráficas según su capacidad para transmitir agua .

Tabla 15. Unidades Hidroestratigráficas

SISTEMA ACUIFERO	CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
A. Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular		
A2	Acuíferos de mediana a alta productividad, conductividad hidráulica media a alta	Acuíferos continuos de extensión regional y local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres.
		Depósitos aluviales Terrazas aluviales
A3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media	Acuíferos continuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvio-glaciario. Acuíferos libres.
		Depósitos fluvio-glaciares
A4	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica media a baja	Acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios. Acuíferos libres.
		Depósitos coluviales
B. Rocas con Flujo Esencialmente a Través de Fracturas		
B3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias clásticas consolidadas y carbonatadas con carstificación, de ambiente transicional a marino. Acuíferos libres y confinados.
		Grupo Pucará Formación Crisnejas Grupo Mitu
C. Sedimentos y Rocas con Limitado a Ningún Recurso de Agua Subterránea		
CI	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Rocas sedimentarias de origen continental o marino, poco o muy consolidadas, de ambiente lacustre, deltaico o marino. Rocas volcánicas efusivas con moderado a bajo fracturamiento.
		Formación Chota Formación Lavasen
C2	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Complejo de rocas ígneas y/o metamórficas, muy compactas y en ocasiones fracturadas
		Complejo del Marañón Batolito de Pataz Granodioritas

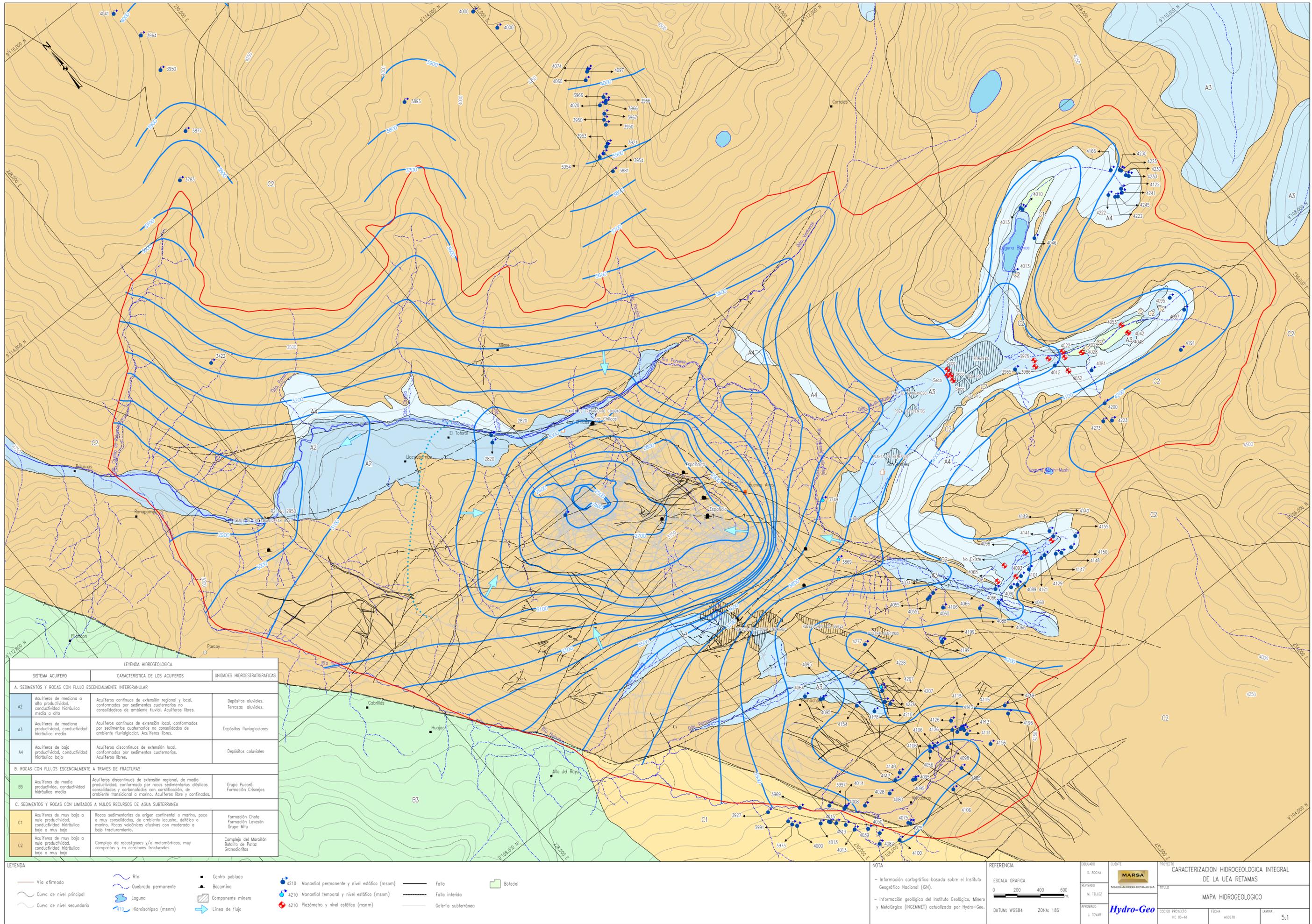
4.2.6 Modelo Piezométrico

El modelo piezométrico es la representación de la geometría de la napa freática en el caso de un acuífero libre y del nivel potenciométrico en un acuífero confinado. Para el área de estudio y de manera regional no se han identificado acuíferos confinados, por lo que se representa el flujo del agua subterránea en estado libre (bajo presión atmosférica) de manera indistinta si los materiales que la contiene son de alta o baja productividad, es decir, litología como la correspondiente al batolito de Pataz que presenta muy baja a ninguna productividad contiene agua, pero por su baja porosidad no la deja transmitir de manera eficaz para, por ejemplo, ser aprovechada en algún uso en específico.

Por lo anterior, la napa freática en el sector donde se ubican las estructuras mineras en superficie (botadero, pozas, presa de relaves, entre otros), tiene un control importante de la topografía resultando una geometría suavizada y unos metros más profundas que las curvas de nivel topográfico siendo consistentes con los datos recopilados en campo tanto de los piezómetros como de los manantiales encontrados en superficie. Es así que existen flujos que provienen del Este y Sureste (cabeceras de las microcuencas de las quebradas Mush Mush y Molinetes) y siguen una dirección hacia el Noroeste descargando en los drenajes superficiales de mayor envergadura (ver figura 29)

Cuando este flujo llega a las proximidades de las labores mineras y como consecuencia del bombeo necesario para trabajar en seco, éste confluye hacia el

FIGURA 29: MAPA HIDROGEOLOGICO



LEYENDA HIDROGEOLOGICA		
SISTEMA ACUFERO	CARACTERISTICA DE LOS ACUFEROS	UNIDADES HIDROESTRATIGRAFICAS
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR		
A2	Acuíferos de mediana a alta productividad, conductividad hidráulica media a alta.	Depósitos aluviales. Terrazas aluviales.
A3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media.	Depósitos fluvio-glaciares.
A4	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica baja.	Depósitos coluviales.
B. ROCAS CON FLUJOS ESENCIALMENTE A TRAVES DE FRACTURAS		
B3	Acuíferos de media productividad, conductividad hidráulica media.	Grupo Pucará. Formación Crisnejas.
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS A NULOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA		
C1	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	Formación Chota. Formación Lavasán. Grupo Milu.
C2	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	Complejo del Marañón. Bolullo de Palaz. Granodioritas.

LEYENDA	
	Via afirmada
	Quebrada permanente
	Laguna
	Hidroalshippa (msnm)
	Centro poblado
	Bocamina
	Componente minero
	4210 Manantial permanente y nivel estático (msnm)
	4210 Manantial temporal y nivel estático (msnm)
	4210 Piezómetro y nivel estático (msnm)
	Fallo
	Fallo inferido
	Galería subterránea
	Bofedal
	Línea de flujo

NOTA

- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Información geológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) actualizada por Hydro-Geo.

REFERENCIA

ESCALA GRAFICA
 0 200 400 600 m.
 DATUM: WGS84 ZONA: 18S

ELABORADO
S. ROCHA

REVISADO
M. TELLEZ

APROBADO
J. TOVAR

CLIENTE
MARSIA ALUMBRERA RETAMAS S.A.

TITULO
CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS

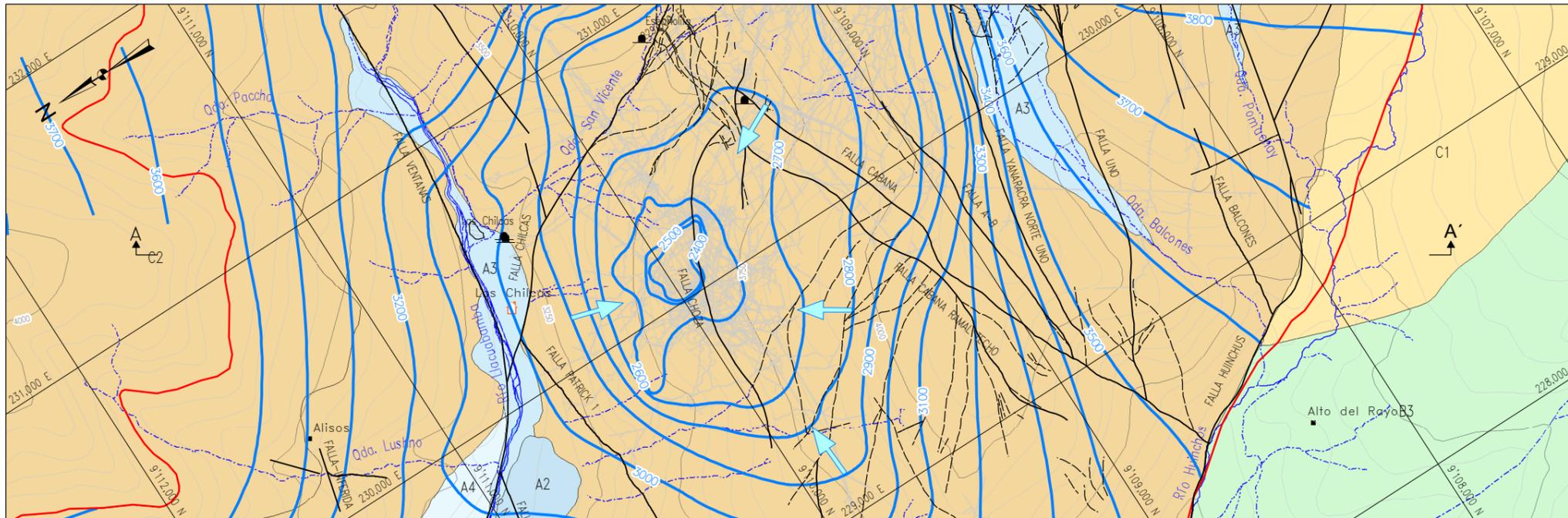
MAPA HIDROGEOLOGICO

CODIGO PROYECTO
HC 03-61

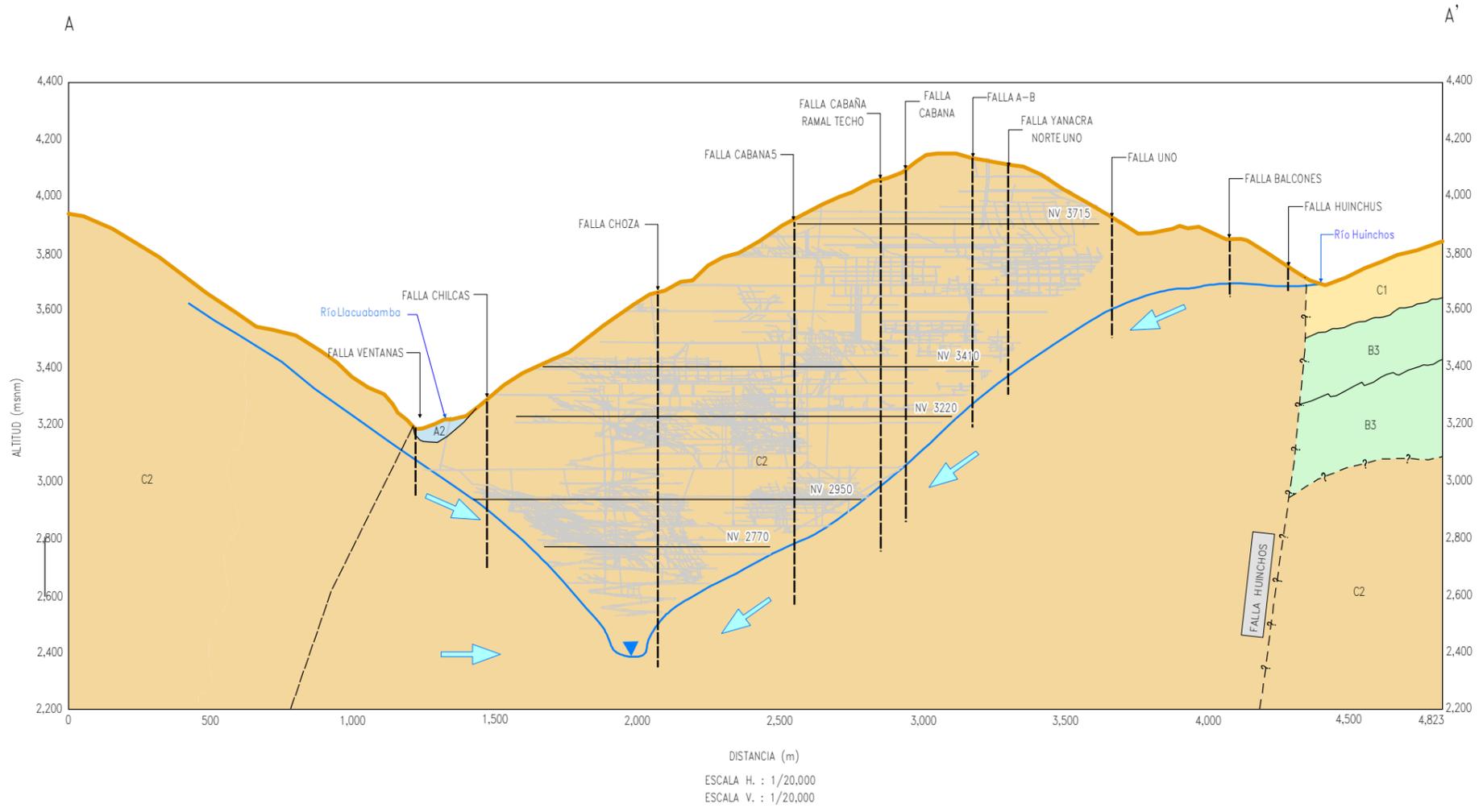
FECHA
AGOSTO

LAMINA
5.1

FIGURA 30: PERFIL HIDROGEOLÓGICO



LEYENDA HIDROGEOLOGICA		
SISTEMA ACUIFERO	CARACTERISTICA DE LOS ACUIFEROS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESCENCIALMENTE INTERGRANULAR		
A2	Acuíferos de mediana a alta productividad, conductividad hidráulica media a alta	Acuíferos continuos de extensión regional y local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres.
A3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media	Acuíferos continuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvialglaciar. Acuíferos libres.
A4	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica baja	Acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios. Acuíferos libres.
B. ROCAS CON FLUJOS ESCENCIALMENTE A TRAVES DE FRACTURAS		
B3	Acuíferos de media productividad, conductividad hidráulica media	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de media productividad, conformado por rocas sedimentarias clásticas consolidadas y carbonatadas con cristificación, de ambiente transicional a marino. Acuíferos libre y confinados.
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS A NULOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA		
C1	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Rocas sedimentarias de origen confinamiento marino, poco o muy consolidados, de ambiente lacustre, deltico o marino. Rocas volcánicas efusivas con moderada a bajo fracturamiento.
C2	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja	Complejo de rocas ígneas y/o metamórficas, muy compactas y en ocasiones fracturadas.



LEYENDA			
	Vía afirmada		Centro poblado
	Río		Bocamina
	Quebrada permanente		Línea de flujo de agua subterránea
	Hidroisohipsa (msnm)		Galería subterránea
	Falla inferida		Nivel freático
	Contacto inferido		

NOTA

- Información cartográfica basada sobre el Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Información geológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) actualizada por Hydro-Geo.

REFERENCIA

ESCALA: 1/20,000

DATUM: WGS84 ZONA: 18S

DIBUJADO S. ROCHA	CLIENTE MARSA MINERA ALUMINERA RETAMAS S.A.	PROYECTO CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS	
REVISADO M. TELLEZ		TITULO PERFIL HIDROGEOLOGICO	
APROBADO J. TOVAR	Hydro-Geo	CODIGO PROYECTO HC 03-66	FECHA AGOSTO
		LAMINA	5.2

fondo de las galerías produciendo un cono de abatimiento que se limita a las labores mineras con una extensión máxima de 3 km y profundidad cercana al kilómetro, coincidente con el nivel 2470 ubicado en la cota 2,400 msnm. Cabe notar y a manera interpretativa, la napa freática en los sectores del río Llacuabamba y a la altura de la mina subterránea se encuentra por debajo del acuífero asociado a este drenaje superficial, dando lugar a que por diferencia de carga hidráulica, el agua contenida en estos materiales drene hacia el acuífero rocoso (ver figura 30).

4.2.7 Balance Hídrico

El balance hídrico consiste en aplicar el principio de la conservación de la masa, aplicado a una región definida por unas determinadas condiciones de contorno y para un determinado período de tiempo. En este proceso se establece la diferencia existente entre las entradas y salidas del sistema ya definido, la cual es igual a una variación en el almacenamiento. Para este caso en particular se entiende que el sistema está en equilibrio debido a que la zona de estudio se ha mantenido constante en términos de volúmenes de agua.

4.2.7.1 Volumen De Control Y Rango De Tiempo Evaluado

Para desarrollar el balance hídrico, el primer paso es definir el volumen de control sobre el cual se aplicará el balance de masas, correspondiendo tanto a la microcuenca del río Llacuabamba como a la microcuenca subterránea asociada a las labores mineras y su relación entre sí (ver Figura 31), para luego especificar las

distintas entradas y salidas de agua en términos de caudales. El rango de tiempo de evaluación será para el periodo mensual.

La descripción del área de la microcuenca objeto de estudio, se muestra en la tabla 16.

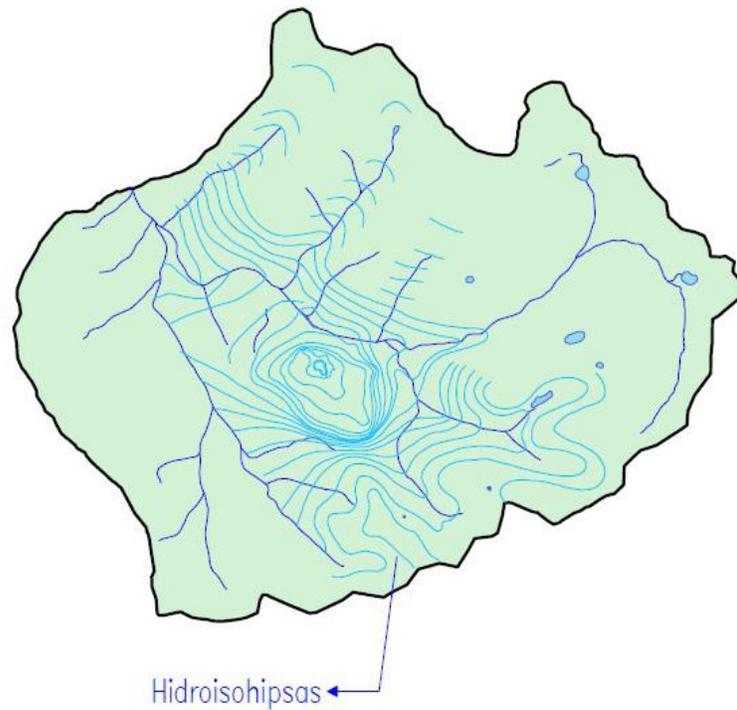


Figura 31. Área Tributaria de la Microcuenca del Río Llacuabamba

Tabla 16. Área de la Microcuenca del Río Llacuabamba

DESCRIPCION	SIMBOLO	AREA (km ²)
Área tributaria - microcuenca del río Llacuabamba	A _{Total}	98.83

Elaboración: Propia.

La realización del balance permitirá contrastar la coherencia entre el funcionamiento del sistema y el modelo conceptual de la zona de estudio.

La Figura 32 se muestra un croquis conceptual del balance de masas a realizar especificando las distintas variables que interactúan en el sistema, para luego calcular sus volúmenes de manera independiente.

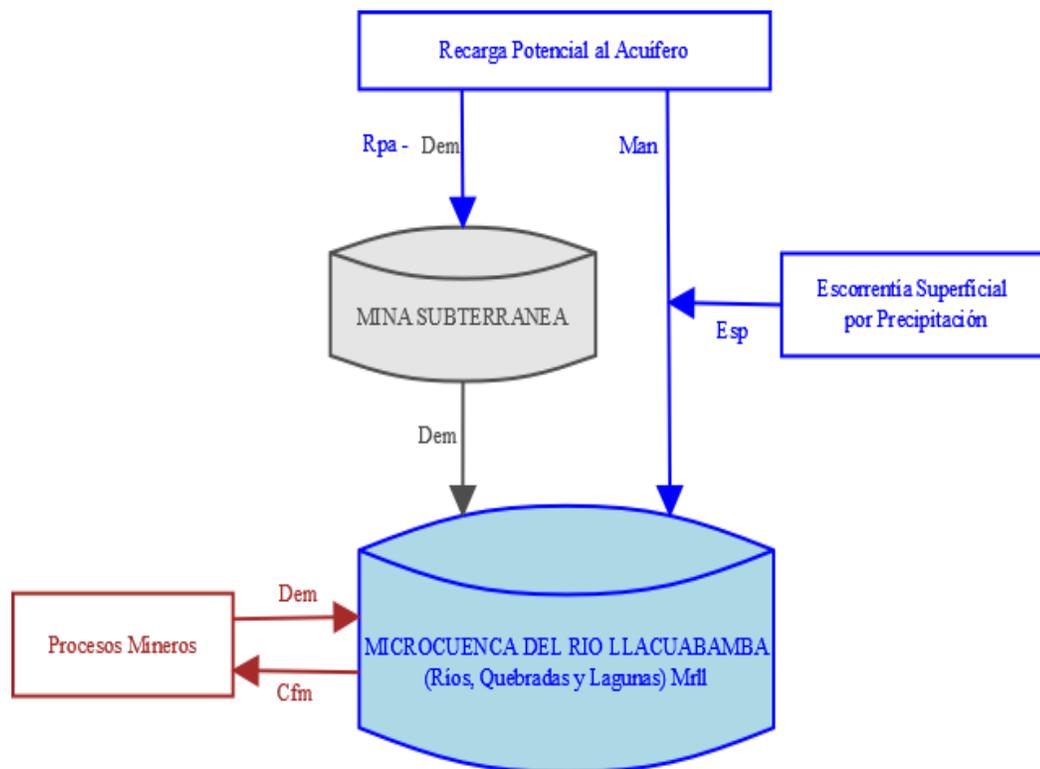


Figura 32. Croquis del Balance Hídrico

4.2.7.2 Recarga Potencial Al Acuífero

Dentro de los términos naturales que interactúa en el sistema ya establecido, se define la recarga potencial al acuífero (RPA) como el proceso natural por el cual se produce la entrada de agua a un acuífero teniendo como única fuente la precipitación.

Para calcular esta recarga potencial del acuífero se toma como base el método de Thornthwaite el cual realiza un balance hídrico en el suelo expresado por la siguiente ecuación:

$$P = ETR + Es + \Delta S + R$$

Dónde:

- P: Precipitación directa
- ETR: Evapotranspiración Real
- Es: Escorrentía Superficial
- ΔS : Capacidad de campo
- R: Recarga potencial al acuífero
- Inf: Infiltración ($\Delta S + R$)

Precipitación Directa en el Área de la Microcuenca Subterránea

Es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo. Desde el punto de vista hidrológico sus mediciones y análisis, forman el punto de partida para el balance hídrico en la cuenca.

San Andrés es la estación meteorológica representativa para el área de estudio con datos históricos que abarca desde 1997 hasta el 2013.

Evapotranspiración Real

La evapotranspiración se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo más la evaporación del suelo. La evapotranspiración

real (ETR) se calcula a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) obtenida a partir del método de Thornthwaite.

$$\text{Si } P \geq ETP \text{ entonces } ETR = ETP$$

$$\text{Si } P < ETP \text{ entonces } ETR = P + \text{Parte de Reserva del Suelo}$$

Dónde: ETR: Evapotranspiración Real

ETP: Evapotranspiración Potencial

Infiltración

Es el proceso por el cual el agua de lluvia se infiltra a través del suelo completando la reserva en el suelo y recargando el sistema de agua subterránea.

Uno de los factores que influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración el cual depende de la textura del suelo, pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, conforman el coeficiente de infiltración del suelo.

A continuación se detalla los componentes en los cuales se distribuye la infiltración del agua de lluvia:

Reserva (ΔS)

Indica la capacidad de agua que existe en el depósito (suelo), está se encuentra en función del tipo de suelo y un depósito de capacidad limitada. Utilizando el método de la Soil Conservation Service (Chow, et al, 1994) se obtiene el valor de 67.5 mm para la reserva del suelo en la microcuenca.

Recarga Potencial al Acuífero (R)

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P - ETR - \Delta S}{2}$$

Dónde: R: Recarga mensual
 P: Precipitación mensual
 ΔS: Reserva o capacidad de campo
 ETR: Evapotranspiración real

Cálculos

De este balance hídrico en el suelo se obtiene el valor total del agua que se infiltra de las lluvias, lo cual recarga al acuífero (ver tabla 17).

Tabla 17. Cálculo de la Recarga

PARAMETRO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
Precipitación (P) (mm)	36.4	90.7	114.0	124.6	95.8	123.1	144.1	81.4	41.9	23.8	21.0	21.5	918.3
Evapotranspiración Potencial (ETP) (mm)	44.4	48.0	49.0	50.4	50.0	45.2	48.1	47.2	48.2	44.2	43.7	44.7	563.1
Reserva (mm)	0.0	42.7	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	61.2	40.8	18.1	0.0	567.9
Variación de la Reserva (mm)	0.0	42.7	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	20.4	22.7	18.1	135.0
Evapotranspiración Real (ETR) (mm)	36.4	48.0	49.0	50.4	50.0	45.2	48.1	47.2	48.2	44.2	43.7	39.6	550.0
Déficit (mm)	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	
Excedente (mm)	0.0	0.0	40.2	74.2	45.8	77.9	96.0	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	368.3
Recarga (Rpa) (mm)		0.0											184.1
	0.0		20.1	37.1	22.9	38.9	48.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	

En la tabla 18 se muestra el volumen de entrada producto de la infiltración por agua de lluvia de forma mensual. El promedio mensual es de 583 L/s.

Tabla 18. Recarga al Acuífero por Infiltración de Agua de Lluvia

MES	UND.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
	mm/mes	22.9	38.9	48.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	37.1	15.3
Recarga	L/s	844.8	1,590.8	1,771.4	651.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	766.8	1,369.	583

Nota: El área de la correspondiente microcuenca subterránea es 98.83 km².

4.2.7.3 Escorrentía Superficial Por Precipitación

La escorrentía superficial producida por la precipitación (ESP) es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir, corresponde a la altura (en milímetros) de agua de lluvia escurrida y extendida, dependiendo de la pendiente del terreno. En la tabla 19 se representa el valor del escurrimiento superficial en caudal (L/s) obtenido antes por el método del Número de Curva del Soil Conservation Service SCS (Chereque Wendor, 1989).

Tabla 19. Escorrentía Superficial por Agua de Lluvia

MES	UND.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Escorrentia	mm/mes	45.2	67.8	86.1	34.0	8.4	1.4	0.7	0.8	5.8	41.2	60.1	69.1	35
	L/s	1,668.1	2,770.5	3,176.6	1,298.0	310.2	51.9	27.6	31.2	221.1	1,519.5	2,291.9	2,549.7	1326

Nota: El área de la correspondiente microcuenca subterránea es 98.83 km².

4.2.7.4 Captación De Agua Para Procesos Mineros

En general la UEA Retamas cuenta con 9 puntos de captación de agua para fines mineros (Cpm).

Tabla 20. Puntos de Captación de Agua para Fines Mineros y Caudales Asociados

PUNTO DE CAPTACION	CORDENADAS UTM WGS-84		CAUDAL AUTORIZADO (L/s)	RESOLUCION DE AUTORIZACION
	Este	Norte		
Embalse Laguna Blanca	234,292	9'109,058	13.81	R. D. N° 0208-2011-ANA-AAA VI
Quebrada Mush Mush	234,003	9'109,058	17.00	R. D. N° 0207-2011-ANA-AAA VI
Quebrada Molinetes	232,274	9'107,017	2.97	R. D. N° 0206-2011-ANA-AAA VI
Quebrada Pomachay	230,511	9'107,736	1.90	R.A N° 0409-2010-ANA-ALA
Río Mishito	227,849	9'109,605	0.70	R.A N° 0413-2010-ANA-ALA
Quebrada Potacocha	225,519	9'110,457	2.14	R.A N° 0414-2010-ANA-ALA
Quebrada El Potrero	228,536	9'112,652	0.41	R.A N° 0415-2010-ANA-ALA
Quebrada Paccha	231,187	9'110,553	4.54	R.A N° 0415-2010-ANA-ALA
La Española	230,885	9'109,315	5.87	R.D N° 318-2013-ANA.AAA.M
Total			49.33	--

Es así que con los registros de los años 2011 al 2013 se conocen los volúmenes medios mensuales de agua captada en los puntos de captación, cuyo promedio total anual es de 45 L/s, lo cual corresponde al 90.8% del caudal autorizado ver tabla 21.

Tabla 21. Caudal Medio en los Puntos de Captación de Agua en la UEA Retamas

FUENTES	CAUDALES												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Embalse													
Quebrada	15.4	15.7	15.4	15.6	15.4	15.6	15.4	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16
Quebrada	2.6	2.6	2.6	2.6	2.4	2.6	2.6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3
Quebrada	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2
Río Mishito	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1
Quebrada	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.1	2.1	2.1	2
Quebrada	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0
Quebrada Paccha	1.6	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4
Bocamina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	3
Total	37.2	41.1	40.3	40.6	40.0	46.4	46.0	49.2	49.4	49.1	49.3	49.0	45

Adicionalmente, en Febrero del 2014 Hydro-Geo llevó a cabo la batimetría del embalse Laguna Blanca con lo cual se determinó que el volumen de agua que almacena es de 281,198 m³. La importancia de contar con un lugar de almacenamiento de agua es regular la disponibilidad hídrica de una fuente determinada y así satisfacer una demanda durante todo el año, en especial en épocas de bajas precipitaciones donde el aporte de agua superficial y subterránea es poco.

En el caso del embalse Laguna Blanca, durante los años 2011 a 2013 se captó un caudal promedio de 13 L/s, mientras que las entradas de agua producto de la precipitación y recarga subterránea ascendieron a un promedio de 19 L/s. Esta diferencia permite contar con una capacidad de regulación aproximada de 0.3 Hm³ que corresponde al volumen embalsable de la laguna Blanca.

4.2.7.5. Descarga de efluentes mineros

La descarga de agua proveniente de las labores mineras (Dem) de los distintos niveles de minado, es tratada y descargada en 2 puntos del río Llacuabamba. Estos puntos corresponden a las plantas de tratamiento Chilcas (punto P-7) y Far West R-2 (punto P-10). Ver tabla 22 y 23.

El caudal que descarga los 2 efluentes de mina (P-7 y P-10), cuyo total promedio es de 194 L/s, corresponde al drenaje del acuífero hacia el interior de la mina, lo cual a su vez corresponde a la recarga que recibe el acuífero por acción de las lluvias.

Tabla 22. Descarga de Efluentes de la Planta de Tratamiento Chilcas (Punto P-7)

AÑO	CAUDALES												
	Ene.	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
2011	94.6	79.9	101.	114.	98.1	103.	88.3	18.3	75.2	48.8	43.6	67.1	78
2012	83.8	125.	150.	140.	120.	130.	77.8	40.9	57.5	36.7	47.3	66.2	90
2013	64.3	165.	137.	97.1	56.0	72.0	66.0	52.4	44.2	56.2	59.8	74.4	79
Medi	80.9	123.	129.	117.	91.4	102.	77.4	37.2	58.9	47.2	50.2	69.2	82

Fuente: MARSA.

Tabla 23. Descarga de Efluentes de Planta de Tratamiento Far West (Punto P-10)

AÑO	CAUDALES												
	Ene.	Feb	Mar	Abr.	May	Jun	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
2012	83.9	38.7	106.	61.2	138.	68.1	252.	67.1	109.	84.4	80.2	78.8	97
2013	153.	99.4	101.	107.	70.7	91.9	129.	134.	132.	199.	166.	135.	127
Medi	118.	69.0	103.	84.1	104.	80.0	191.	100.	120.	141.	123.	107.	112

Fuente: MARSA.

El tercer punto de descarga P-3 se ubica en la quebrada Mush Mush, debajo de la planta de beneficio y corresponde a la descarga intermitente de agua producida por la correspondiente planta de tratamiento de agua residual. El resto del agua no tratada, es recirculada entre la planta de beneficio y la relavera.

El cuarto punto ED-1, correspondiente a los efluentes domésticos se descargan al río Llacubamba previo paso por la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas Chilcas (PTARD Lawsco) la cual consiste de un sistema biológico, que opera mediante aireación extendida en su modalidad de lodos activados, seguida de un sistema terciario para el acondicionamiento de agua y desinfección respectiva (Horizonte Consultores, 2013). Este

efluente cuenta con permiso de vertimiento de 2.08 L/s), caudal que es descargado de manera ininterrumpida.

En resumen, producto del manejo de agua en los diferentes procesos mineros (excepto el drenaje del interior mina), al río Llacuabamba se vierte un caudal total de 40 L/s de agua tratada, lo cual corresponde a los flujos sumados de P-3 y ED-1 (PTARD Lawesco).

4.2.7.6 Aporte Subterráneo a Cauces Naturales

Teniendo como precepto un sistema en equilibrio, el volumen de agua que por recarga de agua de lluvia y expresado como manantiales (Man), se aporta a los cauces naturales, está dado por la diferencia entre la recarga potencial al acuífero (Rpa) y el flujo que se extrae por la mina subterránea (Dem), referido sólo al sistema de tratamiento Chilcas (P-7) y Far West R-2 (P-10).

Tabla 24. Aporte de Agua Subterránea a los Cauces Naturales del Area de Estudio

COMPONENTE	CAUDALES (L/s)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Recarga de lluvias (Rpa)	845	1591	1771	651	0	0	0	0	0	0	767	1369	583
Descarga de efluentes de mina (Dem)	200	193	233	201	196	182	269	138	180	189	173	176	194
Balance													
Aporte de agua subterránea a cauces naturales (Man)	645	1398	1538	450	-196	-182	-269	-138	-180	-189	593	1193	389

4.2.7.7 resultados del balance hídrico en la microcuenca del río llacuabamba

Como resultado del balance de masas se ha calculado un caudal superficial estimado en la microcuenca del río Llacuabamba (Mrll) de 1,904 L/s. Este valor contempla el flujo de agua de descarga del sistema acuífero junto con la precipitación producida en cada una de las estaciones del año (ver tabla 25).

Este valor es contrastable con la información resultante de los registros de aforo efectuados en el río Llacuabamba, en el punto de monitoreo E-21 (Este: 9° 111,551 Norte: 227,794 UTM WGS-84 Z18S) que se encuentra muy próximo al punto más bajo de la microcuenca objeto de estudio. En la tabla 26 se muestran los caudales medidos en dicho sector del río Llacuabamba cuyo caudal promedio es de 2,270 L/s, lo cual corresponde a la misma proporción que caudal el calculado por el método del balance hídrico (1,904 L/s).

En la Figura 34 se muestran los resultados del balance hídrico realizado para las microcuencas tanto superficiales como subterráneas que son objeto de estudio.

Tabla 25. Balance Hídrico en la Microcuenca del Río Llacuabamba

DESCRIPCIÓN		CAUDALES (L/s)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
Entradas														
Descarga de efluentes mineros (Dem)	P-7 y P-10	199.6	192.7	233.4	201.3	195.9	182.1	268.5	138.1	179.7	189.0	173.3	176.2	194
	P-3 y ED-1	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	40
	Subtotal	239.4	232.5	273.2	241.1	235.7	221.9	308.3	177.9	219.5	228.8	213.1	216.0	234
Aporte subterráneo (Man)		645.2	1,398.1	1,538.0	450.0	-195.9	-182.1	-268.5	-138.1	-179.7	-188.9	593.5	1,192.9	389
Escorrentía superficial por precipitación (Esp)		1,668.1	2,770.5	3,176.6	1,298.0	310.2	51.9	27.6	31.2	221.1	1,519.5	2,291.9	2,549.7	1,326
Total de entradas		2,553	4,401	4,988	1,989	350	92	67	71	261	1,559	3,099	3,959	1,949
Salidas														
Captación para fines mineros (Cfm)		37.2	41.1	40.3	40.6	40.0	46.4	46.0	49.2	49.4	49.1	49.3	49.0	44.8
Balance														
Caudal total circulante por la microcuenca del río Llacuabamba (Mrll)		2,515.4	4,360.0	4,947.5	1,948.6	310.0	45.3	21.5	21.9	211.5	1,510.3	3,049.3	3,909.6	1,904

Tabla 26. Caudales del Río Llacubamba Aforados en el Punto de Monitoreo E-21

AÑO	CAUDALES												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Medi
2010	3,453.	4,530.	2,433.	2,851.	2,184.	986.6	873.4	458.9	536.2	461.0	1,428.	3,437.	1,970
2011	1,972.	4,387.	3,504.	3,837.	1,880.	1,292.	1,266.	790.3	908.1	1,800.	2,047.	3,790.	2,290
2012	3,976.	3,253.	3,071.	3,047.	2,017.	1,267.	968.7	594.4	737.7	1,447.	2,870.	4,953.	2,351
2013	--	4,662.	5,189.	4,730.	1,426.	1,143.	1,074.	818.5	972.9	1,892.	2,420.	2,170.	2,409
Media	3,134.	4,208.	3,549.	3,616.	1,877.	1,172.	1,045.	665.5	788.7	1,400.	2,191.	3,587.	2,270

Fuente: MARSA

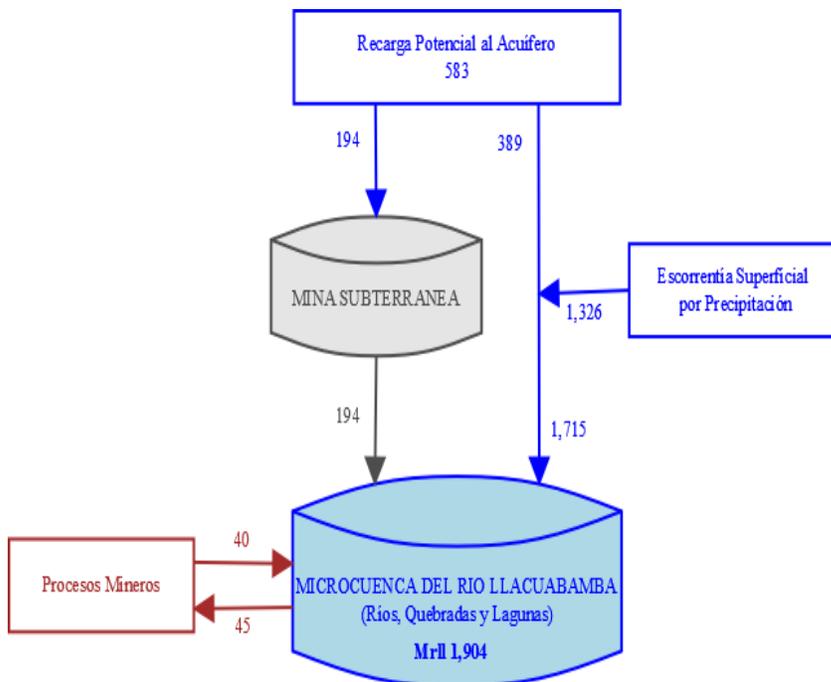


Figura 34. Croquis del Balance Hídrico con Caudales Calculados (L/s)

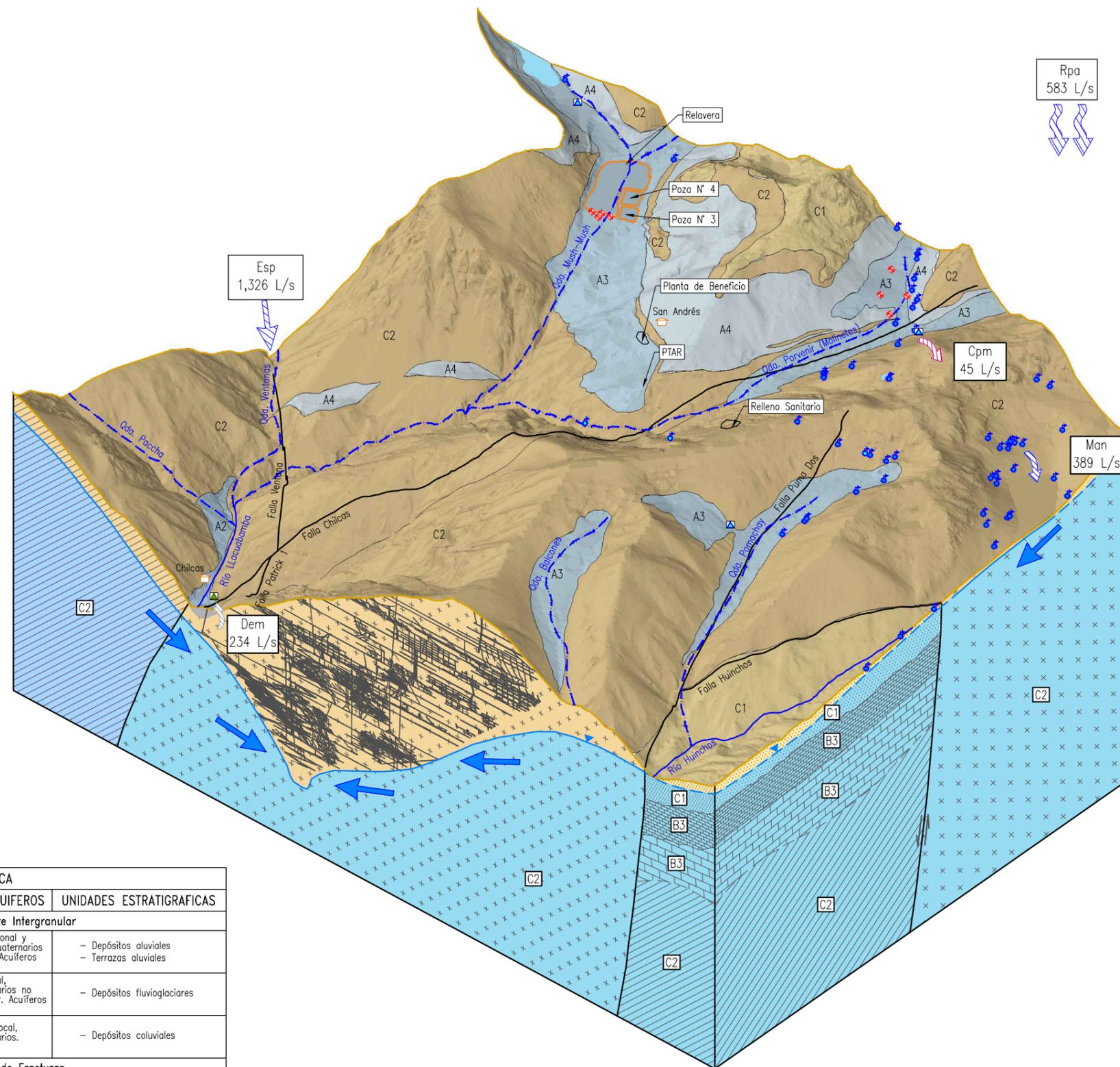
4.2.8. Modelo Hidrogeológico Conceptual

En la zona de estudio coexisten diferentes materiales geológicos que presenta distinto comportamiento en términos hidrogeológicos. En el sector W y NW existe la presencia de un cuerpo intrusivo mineralizado denominado batolito de Pataz y es en esta unidad geológica

que se construyó desde hace tres décadas atrás la mina subterránea propiedad de MARSA donde progresivamente se ha abatido el nivel freático a medida que se han profundizado las labores mineras, generando así un cono de depresión en el que confluyen las direcciones del flujo subterráneo creando la necesidad de extracción del agua almacenada en las fracturas existentes en este cuerpo. Este reducido volumen de agua (≈ 180 L/s), luego de someterlo a un tratamiento de su calidad en donde se abaten las concentraciones de las sustancias disueltas, es descargado en dos puntos a lo largo del río Llacuabamba (P-7 y P-10). Consecuentemente al poco caudal bombeado de la mina subterránea y a la caracterización de fracturas por medio de descripciones de taladros construidos, se le atribuye a este material geológico como acuífero de muy baja a nula productividad. El origen del agua almacenada en estos materiales está dado por la infiltración directa del agua de lluvia.

En contraste, en el sector SE la mayoría de estructuras mineras en superficie (botadero, presa de relaves, pozas, campamentos, etc) se ubican sobre depósitos cuaternarios de origen fluvial, glacial y coluvial, a los que se les atribuye la característica de acuífero de mediana a alta productividad debido a su composición detrítica y porosidad media asociada permitiendo contar con una permeabilidad que varía entre 100 a 101 m/d de conductividad hidráulica. A razón de la heterogeneidad de estos materiales y al ubicarse en cabecera de cuenca (quebrada Mush Mush y Molinetes), es que hay presencia de numerosos manantiales donde su caudal dependerá del régimen de precipitaciones. Es así que en este sector, la napa freática tiene un control importante de la topografía y el sentido del flujo de agua subterránea es consistente al correspondiente del agua superficial. El origen del agua almacenada en estos materiales está dado por la infiltración directa del agua de lluvia.

FIGURA 35: MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

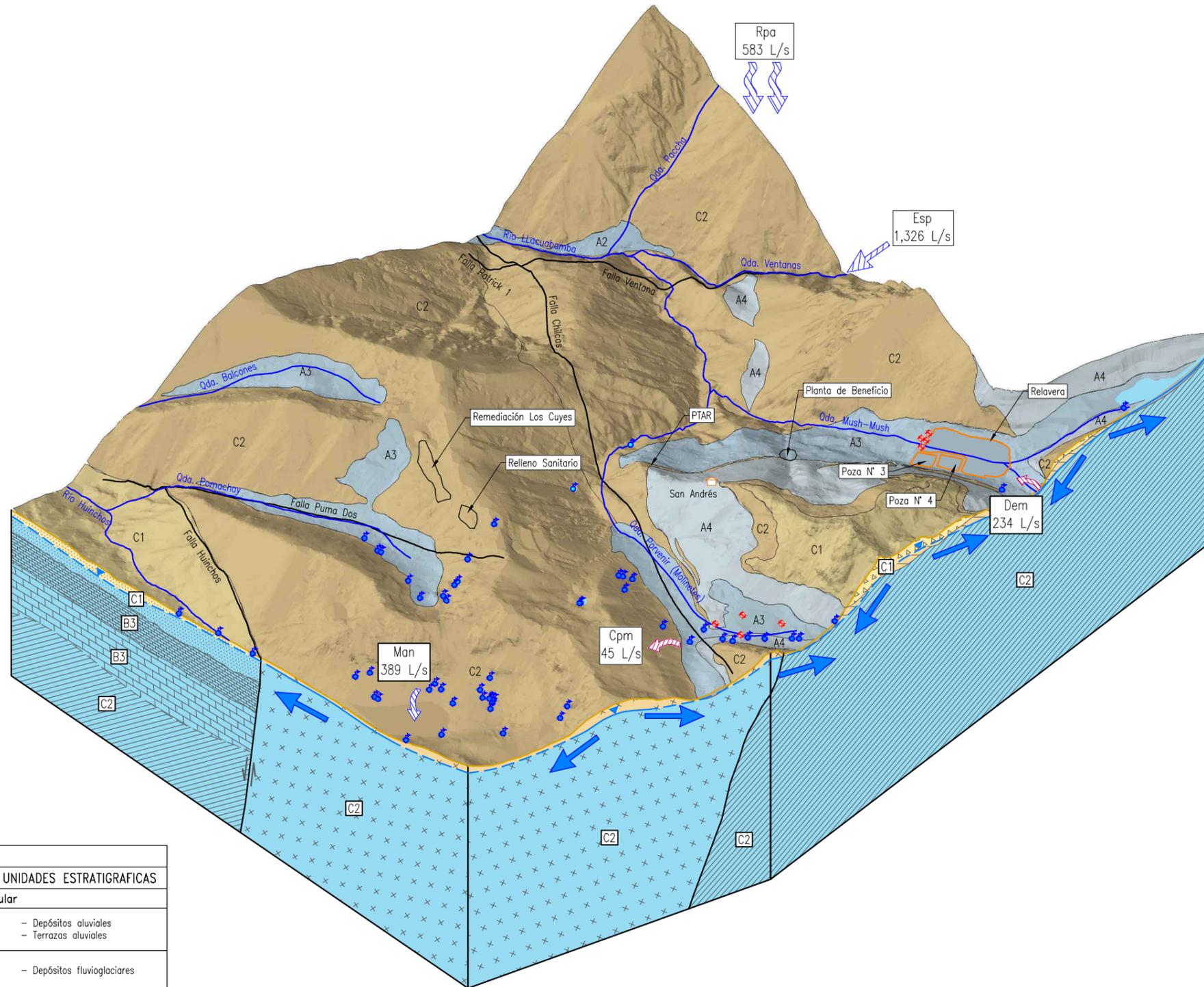


LEYENDA HIDROGEOLÓGICA		
SISTEMA ACUIFERO	CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUIFEROS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
A. Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular		
A2	Acuíferos de mediana a alta productividad, conductividad hidráulica media a alta.	- Depósitos aluviales - Terrazas aluviales
A3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media.	- Depósitos fluvioglaciares
A4	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica baja.	- Depósitos coluviales
B. Rocas con Flujo Esencialmente a Través de Fracturas		
B3	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de media productividad, conformados por rocas sedimentarias clásticas consolidadas y carbonatadas con carbonatización, de ambiente transicional a marino. Acuíferos libres y confinados.	- Grupo Pucará - Formación Crisnejas
C. Sedimentos y Rocas con Limitados a Nulos Recursos de Agua Subterránea		
C1	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	- Formación Chota - Formación Lavasén
C2	Acuífero de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	- Complejo del Marañón - Batolito de Pataz - Granodioritas

LEYENDA:	NOTA	REFERENCIA
<ul style="list-style-type: none"> Punto de captación Punto de descarga Manantial permanente Manantial temporal Piezómetro Napa freática Napa freática inferida Galerías Dirección de flujo subterráneo Campamento 		

-Rpa = Recarga potencial al acuífero
 -Man = Aportes subterráneos a cauces naturales
 -Esp = Escorrentía superficial por precipitación
 -Dem = Descarga de efluentes mineros
 -Cpm = Captación para procesos mineros

DIBUJADO: J. REATEGUI	CLIENTE: MARSA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.	PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROGEOLÓGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS
REVISADO: M. TELLEZ	TÍTULO: MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL SECTOR MINA SUBTERRANEA	
APROBADO: J. TOWAR	CODIGO PROYECTO: HC 03--	FECHA: AGOSTO
	LÁMINA: 8.1	



LEYENDA HIDROGEOLOGICA		
SISTEMA ACUIFERO	CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
A. Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular		
A2	Acuíferos de mediana a alta productividad, conductividad hidráulica media a alta.	Acuíferos continuos de extensión regional y local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres. - Depósitos aluviales - Terrazas aluviales
A3	Acuíferos de mediana productividad, conductividad hidráulica media.	Acuíferos continuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvio-glaciar. Acuíferos libres. - Depósitos fluvio-glaciares
A4	Acuíferos de baja productividad, conductividad hidráulica baja.	Acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos cuaternarios. Acuíferos libres. - Depósitos coluviales
B. Rocas con Flujo Esencialmente a Través de Fracturas		
B3	Acuíferos de media productividad, conductividad hidráulica media.	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de media productividad, conformados por rocas sedimentarias clásticas consolidadas y carbonatadas con carbonatización, de ambiente transicional a marino. Acuíferos libres y confinados. - Grupo Pucará - Formación Crisnejas
C. Sedimentos y Rocas con Limitados a Nulos Recursos de Agua Subterránea		
C1	Acuíferos de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	Rocas sedimentarias de origen continental marino, poco o muy consolidadas, de ambiente lacustre, deltáico o marino. Rocas volcánicas efusivas con moderada a bajo fracturamiento. - Formación Chota - Formación Lavasén
C2	Acuífero de muy baja a nula productividad, conductividad hidráulica baja a muy baja.	Complejo de rocas ígneas y/o metamórficas, muy compactas y en ocasiones fracturadas. - Complejo del Marañón - Batolito de Pataz - Granodioritas

LEYENDA:	NOTA	REFERENCIA
<ul style="list-style-type: none"> Punto de captación Punto de descarga Manantial permanente Manantial temporal Piezómetro 	<ul style="list-style-type: none"> Napa freática Napa freática inferida Dirección de flujo subterráneo Campamento 	

-Dem = Descarga de efluentes mineros
 -Rpa = Recarga potencial al acuífero
 -Man = Aportes subterráneos a cauces naturales
 -Esp = Escorrentía superficial por precipitación
 -Cpm = Captación para procesos mineros

DIBUJADO: J. REATEGUI	CLIENTE: MARSA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.	PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA INTEGRAL DE LA UEA RETAMAS
REVISADO: M. TELLEZ	TITULO: MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL SECTOR COMPONENTES MINEROS EN SUPERFICIE	
APROBADO: J. TOWAR	CODIGO PROYECTO: HC 03-6	FECHA: AGOSTO
	LAMINA: 8.2	

4.3. Prueba De Hipótesis

La presente investigación es descriptiva, por lo que las pruebas de Hipótesis se plantean por el cumplimiento de los objetivos, teniendo en cuenta la discusión de resultados, de la siguiente manera:

Objetivo General

Realizar la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio para desarrollar un concepto global del comportamiento del sistema hídrico en la UEA Retamas, 2019.

Se logró el objetivo general al cumplir con las investigaciones hidrogeológicas mediante el plan de monitoreo detallado que incluye la red de monitoreo de agua subterránea (piezómetros existentes y construcción de nuevos piezómetros); métodos de muestreo de agua; procedimientos de QA/QC (Quality Assurance/Quality Control), evaluación y presentación de los resultados del monitoreo. Cabe resaltar que los piezómetros ubicados en dirección aguas arriba o aguas abajo con respecto a cada una de las estructuras mineras asociadas, se definieron con base en la situación actual de la superficie piezométrica. Ubicar piezómetros aguas arriba y abajo de las estructuras mineras con mayor potencial de ser foco de contaminación, como lo es la relavera actual, botadero, relleno sanitario, mina subterránea y los proyectos de la nueva relavera (quebrada Mush Mush Alto) y nueva desmontera (quebrada Molinetes), es conocer la calidad y cantidad del agua subterránea antes y después del paso por la zona de influencia de cada uno de los componentes y poder así conocer la afección que estos tendrían al recurso hídrico subterráneo.

4.4 Discusión De Resultados

En relación al objetivo planteada y luego de ser confrontadas con los resultados obtenidos del trabajo de campo se puede confirmar que las características geomorfológicas e hidrogeológicas encontradas en la zona de estudio se determinó los parámetros de forma de la microcuenca, lo cual tiene incidencia en el tiempo que toma el agua precipitada en los límites más extremos de la cuenca para llegar al punto de salida de la misma, a esto se le denomina como tiempo de concentración. Así, una cuenca alargada tendrá un diferente tiempo de concentración que una circular, al igual, el escurrimiento manifestará condiciones diferentes. Esto aunado a la interpretación correspondiente de las pruebas hidráulicas, permitieron definir el modelo conceptual hidrogeológico de la Unidad Minera, en el que coexisten diferentes materiales geológicos que presenta distinto comportamiento en términos hidrogeológicos. En el sector W y NW existe la presencia de un cuerpo intrusivo mineralizado denominado batolito de Pataz y es en esta unidad geológica que se construyó desde hace tres décadas atrás la mina subterránea propiedad de MARSÁ donde progresivamente se ha abatido el nivel freático a medida que se han profundizado las labores mineras, generando así un cono de depresión en el que confluyen las direcciones del flujo subterráneo creando la necesidad de extracción del agua almacenada en las fracturas existentes en este cuerpo. Este reducido volumen de agua (~ 180 L/s), luego de someterlo a un tratamiento de su calidad en donde se abaten las concentraciones de las sustancias disueltas, es descargado en dos puntos a lo largo del río Llacuabamba. Consecuentemente al poco caudal bombeado de la mina subterránea y a la caracterización de fracturas por medio de descripciones de taladros construidos, se le atribuye a este material geológico como acuífero de muy baja a nula productividad. El origen del agua almacenada en estos materiales está dado por la infiltración directa del agua de lluvia.

CONCLUSIONES

1. En la zona de estudio se encuentran rocas y depósitos que presentan alto a muy bajo flujo de agua subterránea. El batolito de Pataz donde se ubican las labores mineras se caracteriza por tener limitado recurso de agua subterránea.
2. En todo el ámbito de la zona de estudio, se hallaron 131 manantiales y 20 piezómetros en donde se recolectó información hidrogeológica relevante, así como en 83 puntos en cauces naturales. En las galerías visitadas dentro de la mina subterránea, se identificaron 24 fuentes de agua de mina y 4 flujos producto del rebose en sistemas de captación de agua.
3. El caudal base ha sido calculado en dos puntos del río Llacuabamba (sector medio y final) correspondiendo a 412 y 734 L/s respectivamente.
4. Las Unidades Hidroestratigráficas que se reconocieron son: Depósitos Aluviales, Terrazas Aluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Depósitos Coluviales, Grupo Pucará – Formación Crisnejas, Grupo Mitu Formación Chota, Formación Lavasen y Complejo del Marañon Batolito de Pataz- Granodioritas.
5. El Modelo Hidrogeológico queda representado por las aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio.
6. Debido a la construcción de galerías y a la extracción de agua por bombeo para drenar la mina, se ha generado un cono de abatimiento del nivel piezométrico el cual se limita

al laboreo minero con una extensión máxima de 3 km y una profundidad cercana al kilómetro, cuyo fondo coincide con el nivel 2470 ubicado en la cota 2,400 msnm.

7. El contexto estructural superficial y en profundidad (fallas y diaclasas) juega un papel muy importante para la infiltración de las aguas de lluvia y especialmente la de las aguas del río Llacuabamba a niveles más profundos. De acuerdo al diagrama de Schoeller, la calidad de las aguas de las muestras M-6 (superficie) y IM-1 (subterráneo) de la segunda campaña, presentan valores similares.
8. Las fallas regionales como el sistema de la falla Ventana - Chilcas, en profundidad permite la infiltración del agua proveniente del río Llacuabamba, debido a que es una falla del tipo cizalla que se caracteriza por tener buena permeabilidad. Debido al régimen estructural de la falla Ventanas es previsible que en el nivel 2820 el agua subterránea, siempre esté presente.
9. De acuerdo al balance de masas realizado, el cual contempla la interacción del agua subterránea almacenada en distintos cuerpos acuíferos, la precipitación con la recarga por potencial y el escurrimiento asociado, así como la captación y descarga de volúmenes de agua para fines mineros, se identifica un caudal superficial estimado de la microcuenca del río Llacuabamba de 1,904 L/s. Este valor es comparable y se encuentra en la misma proporción que el calculado a partir de los aforos del punto de monitoreo E-21 (2,270 L/s), el cual se ubica en la parte más baja de la microcuenca.
10. La existencia de la mina subterránea emplazada en el batolito de Patáz, ha generado un cono de abatimiento en el acuífero de muy baja a nula productividad, en donde el

origen de las aguas almacenadas en este material corresponde a la infiltración del agua de lluvia.

11. Los componentes mineros en superficie (botadero, presa de relaves, pozas, campamentos, etc) se ubican principalmente sobre depósitos cuaternarios de origen fluvial, glacial y coluvial a los que se les atribuye la característica de acuífero de mediana a alta productividad. Este sector, la napa freática tiene un control importante de la topografía y el sentido del flujo de agua subterránea es consistente al correspondiente del agua superficial. El origen del agua almacenada en estos materiales también está dado por la infiltración directa del agua de lluvia.
12. Dependiente de los resultados del análisis de información, se procederá al desarrollo de una modelación numérica hidrogeológica y el posible rediseño de la red de monitoreo.

RECOMENDACIONES

1. Es pertinente llevar a cabo un levantamiento geológico a esta misma escala con el apoyo de perforaciones que permitan representar en secciones la geometría de cada uno de los componentes rocosos, en especial en las inmediaciones de las estructuras mineras en superficie (sector Este de la zona de estudio).
2. Para complementar la información hidrogeológica recolectada en la época de lluvias, es necesario realizar al menos un inventario más, durante la época de estiaje, lo cual permitirá establecer mejor las características del recurso hídrico.
3. Realizar un registro periódico del comportamiento de los niveles freáticos y eventualmente, el análisis de laboratorio de muestras de agua subterránea a ser obtenidos del interior de los piezómetros existentes y de aquellos que se contemple construir, por tal razón es recomendable implementar el plan de monitoreo de agua subterráneo propuesto en el presente estudio el cual incluye la posible construcción de un modelo hidrogeológico numérico con el fin de simular una presunta pluma de contaminantes originado por alguna contingencia en las estructuras mineras actuales y/o futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson & Woessner, (1991). Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport. pp 396.
- BISA,(2012). Ingeniería Básica y de Detalle del Depósito de Desmonte Molinete. Pp 31.
- Cardona, A., (2007) Metamorphic, geochronological and geochemical constraints from the pre-Permian basement of the Eastern Peruvian Andes (10°S): a Paleozoic extensional-accretionary orogeny? 20th Colloquium on Latin American Earth Sciences, April 11-13, Kiel, Germany. Abstracts, p. 29-30.
- Chereque, Wendor. (1989). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. pp 117- 122.
- Chew, D. M.; Kirkland, C. L.; Schaltegger, U.; and Goodhue, R., (2007). Neoproterozoic glaciation in the Proto-Andes: tectonic implications and global correlation. *Geology* 35:1095–1099.
- Chow V., Maidment D., Mays L., (1994). Hidrología Aplicada. pp 584.
- Custodio y Llamas, (2001). Hidrología Subterránea Tomo I. Ediciones Omega. Pp 157.
- Dalmayrac, B., (1980). Géologie de la Cordillère orientale de la région de Huánuco: Sa place dans une transversale des Andes du Pérou Central (09°S a 10°30'S). *Trav. Doc. ORSTOM*, 93, 181 pp.
- Dalmayrac, B., (1988). Estudio Geológico de la Cordillera Oriental, Región Huánuco. Boletín Nro. 11 Serie D: Estudios Especiales. INGEMMET. 145p.
- Galdos J, Carrasco S. & Valdivia W., (2005). Mapa geológico del cuadrante IV de la hoja de Tayabamba. INGEMMET, En prensa.
- Haerberlin Y., Moritz R., Fontboté L., (2004). Carboniferous Orogenic Gold Deposits at Pataz, Eastern Andean Cordillera, Peru: Geological and Structural Framework, Paragenesis, Alteration and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology.
- Horizonte Consultores SRL, (2012). Estudio Hidrogeológico de la UEA Retamas. pp 28.
- Horton, R., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin*. pp 275 – 370.
- Wilson, W. y, Reyes, R., (1964). Geología del cuadrángulo de Pataz (hoja 16-h): Lima, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín Serie A, Carta Geológica Nacional, v. 9' 91 p.

ANEXOS

FICHA DE MUESTREO DE AGUA

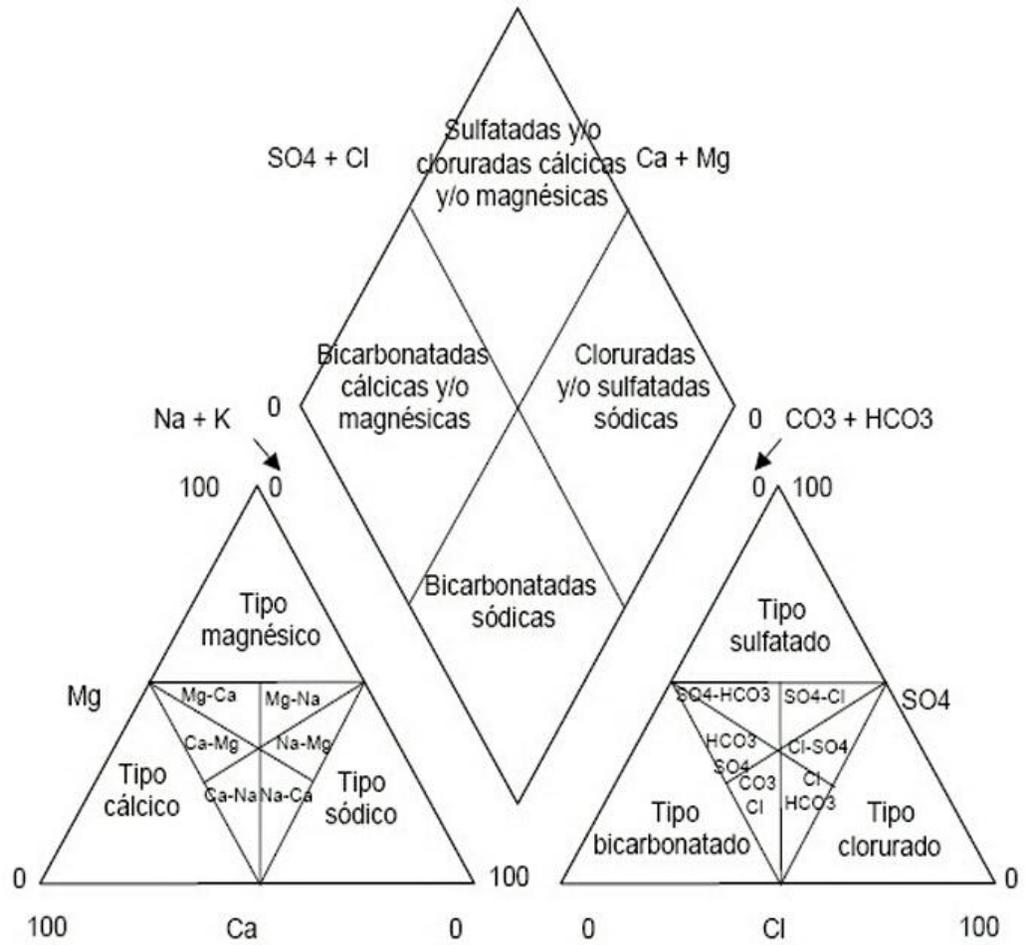
Proyecto		Cliente	
Nombre de la fuente de agua		Código	
Condiciones Climáticas		Temperatura	
Fecha		Página _____ de _____	
1. Ubicación y Características			
Coordenadas UTM (*)	Norte	Este	Altitud (msnm)
Modo de surgencia:		Extensión aprox. (m²):	
Dimensiones(m):		Estacional:	
Tipo:	Manantial	Permanente:	
Uso del agua:	Ninguna	Infraestructura Hidráulica Asociada:	
2. Caudal y Características Físico-Químicas <i>In-Situ</i>			
pH	CE (µS/cm)	T (°C)	
TDS (mg/L)	Color	Olor	
Caudal (L/s)	Sabor	Código de muestra de agua	
3. Fuentes Receptoras del Agua			
Arroyo / río	Laguna	Canal, otros	
4. Condiciones de Humedad y Drenaje			
Humedad del terreno	Seco	Humedo	Saturado
Drenaje superficial	Bueno	Medio	Malo
Drenaje subterráneo	Bueno	Medio	Malo
Profundidad de la napa freática	Abatimiento de napa		Si
Drenaje del agua	Pendiente:		
5. Condiciones Hidrogeológicas del Entorno			
Morfología			
Litología			
Estructuras			
Cavidades cársticas			
7. Fotos / Descripción		6. Observaciones / Incidencias	
			

Coordenadas tomadas por Equipo Garmin GPS 75 con margen de Error Horizontal de 5 m y altitud <15 m

Realizado por _____

Revisado por _____

Diagrama De Piper



Equipo multiparámetro y equipo Correntómetro

