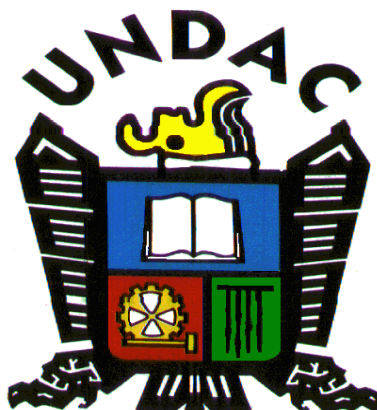


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA PROYECCIÓN DE
POZOS DE DRENAJE EN EL TAJO ABIERTO DE LA MINA
COLQUIJIRCA, 2018”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

Bach. Evelin Miriam RAMOS ESPINOZA

CERRO DE PASCO – PERÚ

2018

DEDICATORIA:



Dedicado a Dios por siempre cuidarme guiarme a mis padres su apoyo y confianza y a mi esposo Edison por compartir conmigo mis tristezas y mis logros.

¡Gracias!

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Estudio Hidrogeológico para la Proyección de Pozos de Drenaje en el Tajo Abierto de la Mina Colquijirca, 2018.” tiene como objetivo general realizar el estudio hidrogeológico para la proyección de los pozos de drenaje y que por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca. Se trata de una investigación hidrogeológica que conlleva a la caracterización hidrogeológica del Tajo Abierto de la Mina Colquijirca y que bajo ciertos criterios hidrogeológicos, hidrológicos y geológicas se ubicaron, diseñaron y perforaron los pozos de drenaje para mantener el nivel freático por debajo del nivel del piso de minado y tener las condiciones de minado seco, asegurando condiciones adecuadas de trabajo. 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 obtener resultados significativos, como la perforación de un piezómetro para definir la geología, estructuras y las unidades hidrogeológicas asociadas a las rocas atravesadas; además de determinar el nivel piezométrico, los parámetros hidráulicos y el caudal del agua subterránea y dos pozos de dewatering para mantener el nivel freático.

Palabras claves: Hidrogeología, pozos de drenaje, acuífero, piezómetro nivel freático.

ÍNDICE

CARATULA	I
HOJA EN BLANCO	II
CONTRACARATULA	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
INDICE	VI
INTRODUCCIÓN	VII

	Pág.
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	
1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 OBJETIVOS	
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE PROBLEMA	4
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES EN LA INVESTIGACION	
1.6 LIMITACIONES	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES	5
2.2. BASES TEÓRICOS-CIENTÍFICOS	8
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	16
2.4 HIPÓTESIS, GENERICOS Y ESPECIFICOS	
2.4.1. Hipótesis genérico	19
2.4.2. Hipótesis específicos	19
2.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	
2.5.1. Variables independientes	19

2.5.2. Variables dependientes

	CAPÍTULO III	19
	METODOLOGÍA	
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	20
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	20
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	
	3.3.1. Población	21
	3.3.2. Muestra	21
3.4	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	21
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	21
3.6	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	22
3.7	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	23

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS	24
4.2	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, TABLAS, GRAFICOS, FIGURAS	43
4.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS	105
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	106

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

FUENTES DE INFORMACIÓN

ANEXOS

Registro de precipitacion total mensual (mm)

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación: **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA LA PROYECCIÓN DE POZOS DE DRENAJE EN EL TAJO ABIERTO DE LA MINA COLQUIJIRCA, 2018**; se realiza con el propósito de caracterizar hidrogeológicamente la cuenca del Tajo Abierto de la mina Colquijirca, y con estos resultados proyectar y perforar los pozos de drenaje para deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca, brindando condiciones de minado seco.

La cuenca del Tajo Abierto de la mina Colquijirca tiene un área de 6.53 km² y una orientación NE - SW, el curso principal se forma en la parte alta de la cuenca y es definido en un curso menor que confluye en el fondo del tajo. Manteniendo un caudal base permanente por el aporte de afloraciones de agua a lo largo de su recorrido.

Existe el problema del drenaje minero y para solucionar se debe captar, transportar y eliminar hacia el entorno flujos de agua de tal manera que no ocasionen daños, para ello se debe realizar un plan de perforaciones hidrogeológicas con fines de dewatering de las fases de minado, el cual considera la perforación y construcción de piezómetros y/o pozos verticales y en base a los resultados se realiza el sistema de drenaje subterráneo que permita deprimir el nivel freático. Por tal motivo se presenta la necesidad de abordar el siguiente problema: ¿Será factible que mediante el estudio hidrogeológico se pueda realizar la proyección de los pozos de drenaje y por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca.

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.

La autora.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Las actividades mineras se encuentran muy estrechamente ligadas al agua, algunas de ellas se ubican en una cuenca hidrológica y, en la mayoría de los casos, la explotación de recursos mineros se desarrolla por debajo de los niveles freáticos de la zona. Por ello, las explotaciones constituyen puntos de drenaje o de descarga de escorrentías superficiales y / o subterráneas y, en todos los casos, pueden llegar a alterar el funcionamiento hidrológico o hidrogeológico de la zona.

El agua tiene su influencia en los tajos mineros, en la estabilidad de taludes y, en definitiva, en la seguridad geotécnica de la explotación y dentro de los aspectos y situaciones a considerar en explotaciones mineras se tienen en cuenta las inundaciones repentinas a gran escala, que pueden incluso llegar a parar la producción, producción de daños en las instalaciones y necesidad de empleo de costosos equipos de control y evacuación, ocasionando pérdidas económicas a la empresa.

El tajo abierto de la mina Colquijirca, recibe flujos de agua subterránea ya sea de acuíferos someros o sub-superficiales y de acuíferos profundos, de la misma manera recibe flujos de recarga inducida a través de galerías antiguas, y durante periodos de lluvia recibe aguas superficiales; por lo dicho existe el problema del drenaje minero y que para solucionar se debe captar, transportar y eliminar hacia el entorno flujos de agua de tal manera que no se ocasionen daños, para ello se debe realizar un plan de perforaciones hidrogeológicas con fines de dewatering de las fases de minado, el cual considera la perforación y construcción de piezómetros y/o pozos exploratorios y en base a los resultados de la presencia de agua durante las perforaciones exploratorias se ensanchará y/o perforará un pozo para el sistema de drenaje subterráneo que permita deprimir el nivel freático.

Por tanto, es necesario que las soluciones estén fundamentadas en estudios hidrológicos e hidrogeológicos y estas sean suficientemente detalladas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El estudio hidrogeológico es de vital importancia para ubicar y construir los pozos de drenaje, el cual debe solucionar el drenaje de agua subterránea y así deprimir el nivel de agua subterránea y con ello asegurar condiciones adecuadas de trabajo y permitir la explotación en condiciones despresurizadas.

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Será factible que mediante el estudio hidrogeológico se pueda realizar la proyección de los pozos de drenaje y por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a. ¿Será factible determinar las características hidrogeológicas para ubicar los pozos de drenaje?

- b. ¿Será factible perforar piezómetros exploratorios y pozos verticales para deprimir el nivel freático?
- c. ¿Será factible la instalación de infraestructura de bombeo en los pozos para deprimir el nivel freático?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio hidrogeológico para la proyección de los pozos de drenaje y que por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar las características hidrogeológicas para ubicar los pozos de drenaje.
- b. Diseñar los piezómetros exploratorios y pozos para deprimir el nivel freático.
- c. Proponer la instalación de infraestructura de bombeo en los pozos para deprimir el nivel freático.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE PROBLEMA

Debido a que, en la zona de minado, se encuentra un acuífero profundo que afecta el desarrollo de trabajos en el fondo del tajo y asimismo existe un acuífero somero, que conlleva a filtraciones en los depósitos superficiales y zonas de contacto con el botadero norte antiguo; se justifica el estudio, ya que estos aspectos representan un alto riesgo en la operación de las fases de minado, por lo tanto, se busca deprimir el nivel del agua subterránea y brindar las condiciones de minado seco.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES EN LA INVESTIGACION

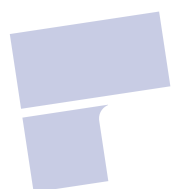
El presente trabajo de investigación es importante porque, una vez realizado la construcción de los pozos de drenaje, se mantendrá el nivel freático por debajo del nivel del piso de minado para, tratando de cumplir el KPI de hidrogeología.

1.6. LIMITACIONES

Dentro del contexto de la investigación se ha encontrado las siguientes limitaciones:

- a. El estudio deberá finalizar antes o a inicios de las fases de minado.
- b. Conflicto social y condiciones climáticas adversas.
- c. El estudio está limitado a la zona de estudio.





CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

La Empresa Construcciones Hydrogeo C.A, (2011), realizó un estudio dirigido por el Ingeniero Cristóbal Volcán titulado “Estudio de factibilidad para la captación de agua subterránea, sector Aroa, El Vigía, Municipio Alberto Adriani, estado Mérida”; donde ejecutaron tres sondeos eléctricos verticales, los cuales abarcaron una profundidad de 100 metros, y llegaron a la conclusión que los materiales donde se realizaron dichos sondeos, son similares hidrogeológicamente, y presentan buena permeabilidad, con materiales granulares gruesos y cantos rodados con matriz arcillosa.

Mares (2000), presenta el estado de conocimiento de los métodos geofísicos utilizados para detectar el movimiento del agua subterránea en los pozos y en el subsuelo, para estimar sus parámetros (dirección, velocidad,

caudal) y evaluar las propiedades hidráulicas de los acuíferos (velocidad de filtración, conductividad hidráulica y transmisividad). Esto fue confirmado por Mook, W. en el año 2002.

García J. (2014). En la tesis titulado “Análisis de la capacidad del sistema de abastecimiento de agua potable, con aprovechamiento de aguas subterráneas, en aldea Valle Nuevo, Asunción Mita, Jutiapa (2005-2009)”, desarrolló un análisis de la capacidad de los dos sistemas de abastecimiento de agua potable. Dentro del análisis se evaluaron, la capacidad hidráulica de las fuentes de abastecimiento, la potencia hidráulica y las horas de operación de los equipos de bombeo; ubicación y capacidad de almacenamiento de los tanques de distribución y la población beneficiada, dotación asignada y pago tarifario por consumo por vivienda. Los resultados del estudio indican que el sistema de abastecido por el pozo mecánico ofrece mayor estabilidad en su rendimiento, soporta mayor capacidad hidráulica, se obtienen más horas de operación en forma continua, mejor ubicación y capacidad de almacenamiento del tanque de distribución. Satisface la demanda de la población presente en un 100% y es capaz de cubrir la demanda durante la vida útil del proyecto.

Ortiz R, (2005). En la tesis titulado “Estudio hidrogeológico del proyecto Minero Manantial Espejo – Provincia de Santa Cruz, Argentina”, realizó el estudio desarrollado en base a la necesidad de responder a dos cuestiones fundamentales: caracterizar la hidrogeología del área del proyecto Manantial Espejo y emitir recomendaciones para potenciales fuentes de abastecimiento de agua para la operación minera, donde el requerimiento promedio estimado es de 50 l/s.

Chura L, (2015). En la tesis titulado “Evaluación de agua subterránea a través de pozos con fines de riego en la comunidad de Quenapajja - Acora”, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de los niveles del agua subterránea a través de pozos tubulares, en la comunidad de Quenapajja con fines de riego. Se llega a la conclusión que los valores de conductividad hidráulica de los pozos ubicados en la comunidad de Quenapajja son óptimos para la explotación del agua subterránea con fines de riego del cultivo de la alfalfa, el acuífero presenta

reservas variables favorables y la calidad de agua para riego no necesita ningún tipo de tratamiento por lo que el trabajo realizado tiene resultados positivos.

Lozano A, (2017). En la tesis titulado: “Evaluación Geoestructural e Hidrogeológica de la parte inferior de la subcuenca Chirimayo – Sorochuco – Cajamarca”, cuyo objetivo fue realizar la evaluación geoestructural y su relación hidrogeológica de la parte inferior de la subcuenca Chirimayo. Se concluye que se registró 39 manantiales presentes en el área de investigación, los mismos que están aprovechando las fallas para permitir la descarga de los acuíferos y según el modelamiento hidrogeológico y el balance hidrológico la recarga de acuíferos se encuentra en las partes altas de la subcuenca y tiende a descargar en las partes bajas, asimismo el modelo de dirección de flujo superficial indica que en esta zona el agua discurre superficialmente en dirección al centro de las manifestaciones kársticas (dolinas), permitiendo la infiltración directa del agua.

Flores V, (2010), En la tesis titulado: “Modelo Conceptual Hidrogeológico de la cuenca Del Salar del Huasco”. El objetivo principal de la investigación es contribuir al entendimiento hidrogeológico de la cuenca del Salar del Huasco, a fin de generar mayores antecedentes que a futuro permitan evaluar las potencialidades de aprovechamiento de los recursos subterráneos, para sustentar las necesidades de agua en la zona. Siguiendo el objetivo propuesto, el estudio presenta la caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca del Salar del Huasco. Para describir las características hidrogeológicas de la cuenca se desarrollaron los siguientes puntos: marco geológico, unidades de sub-superficie, geometría acuífera y unidades hidrogeológicas, piezometría del acuífero, propiedades hidráulicas del acuífero, estimación de la recarga y descarga, y conexión con otras cuencas vecinas. Se concluye que la cuenca de estudio se observa un dominio de fallas con dirección N-S. Desde el punto de vista hidrogeológico una de las fallas importantes es la ubicada en el borde oeste del salar, la que funcionaría como zonas de alta conductividad hidráulica o como barreras de flujo subterráneo y se han reconocido tres sistemas hidrogeológicos. El acuífero Superior que se compone por el conjunto de depósitos sedimentarios que recubren de manera uniforme a las unidades más antiguas. El acuífero

Medio formado por los depósitos terciarios, y el acuífero inferior que se compone por la ignimbrita Huasco y las lavas del Mioceno superior – Plioceno.

2.2. BASE TEÓRICOS – CIENTÍFICOS

2.2.1. HIDROGEOLOGÍA

Es la ciencia de la geología que investiga el agua del subsuelo, corresponde al almacenamiento, circulación, y distribución de las aguas subterráneas en el interior de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas. Gil (2008).

El termino hidrogeología fue utilizado en 1802 por el geólogo naturalista francés Lamarck. Lamarck atribuye un término casi idéntico al de geología hídrica de Powell, quien la definió como el estudio de los fenómenos de degradación (erosión) y deposiciones geológicas debido a la acción del agua. Sin embargo, ninguno de estos términos fue utilizado. Lucas, en 1879, fue probablemente el primero que utilizo el término de “hidrogeología” para designar el estudio geológico del agua subterránea. Mead en su libro de hidrogeología publicado por primera vez en 1919, fue quien definió por primera vez este término “hidrogeología” como el estudio de las leyes relativas a la existencia y movimiento de las aguas subterráneas. Mead en esta definición “presupone un estudio de la geología general lo suficientemente adecuado como para una visión que permita comprender los factores hidrológicos condicionantes e imperativos debidos a los factores geológicos”.

Mead (2000), en su definición acentuó el carácter especial del “estudio del agua subterránea considerada como un elemento geológico cuyo conocimiento contribuye a lograr la comprensión del origen y evolución de los cursos superficiales de agua y de los sistemas de drenaje”

Posteriormente, Meinzer, (2002) subdividió la ciencia hidrológica en hidrología de superficie y hidrología subterránea (o geohidrología). Para Meinzer la hidrología, es la ciencia que se ocupa especialmente del estudio

del ciclo hidrológico completo del agua, desde el momento en que esta cae desde la atmosfera a la tierra hasta que desemboca en el mar o vuelve a la atmosfera.

Maxey (1964), define la hidrogeología como el estudio de las interacciones entre el agua y las disposiciones geológicas del subsuelo. El agua subterránea implica el estudio de aquella parte del agua del ciclo hidrogeológico en los primeros miles de metros de la corteza terrestre.

2.2.2. CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico (Figura 1) es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Chereque, (1989), se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).



Figura 1. El ciclo hidrológico

2.2.3. AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es la situada por debajo de la superficie del suelo, la cual, se almacena entre los espacios porosos, fisuras, fracturas o cavernas de las formaciones rocosas. Se mueve según las fuerzas de la gravitación, pero más lento que el agua superficial. La velocidad y los movimientos dependen de la porosidad y permeabilidad del subsuelo. El agua que ha llegado a las zonas saturadas circulará por el acuífero, siguiendo los gradientes hidráulicos regionales hasta que salga al exterior, o sea extraído; su recorrido puede ser de unos metros o de bastantes kilómetros, durante un período de unos meses o de miles de años. Ésta salida al exterior puede ser por los siguientes caminos:

- Ser extraído artificialmente, mediante pozos o sondeos. En zonas de topografía plana y superficie freática profunda, la extracción por captaciones constituye casi la única salida del agua subterránea.

- Salida al exterior como manantial. Los contextos hidrogeológicos que dan lugar a un manantial son variados Evapotranspiración, por plantas freatofitas, o si el nivel freático está próximo a la superficie. En laderas que cortan la superficie freática se genera una abundante vegetación.
- Alimentar un cauce subrepticamente. Es normal que un río aumente paulatinamente su caudal aguas abajo, aunque no reciba afluentes superficiales.
- En zonas costeras: Afluye subterráneamente al mar. Ésta pérdida es necesaria para mantener estable la interface agua dulce-agua salada.

2.2.3. ACUÍFERO Y TIPOS DE ACUÍFEROS

Un acuífero es una formación suficientemente permeable para transmitir agua en cantidades. Los acuíferos más comunes son aquellos de material no consolidado como arenas o gravas. Estos se encuentran en valles aluvionales, dunas o depósitos glaciales. Los tipos de acuíferos son:

2.2.3.1. ACUÍFERO LIBRE O FREÁTICO

El agua subterránea contenida en él está en contacto con la atmósfera a través de los poros o fisuras existentes en la zona no saturada; la parte superior de la zona saturada -la superficie freática- está a la presión atmosférica.

El agua de los pozos en este tipo de acuíferos se encuentra a la profundidad de la superficie freática. Sin embargo, en ciertas ocasiones en que los pozos penetran a profundidades considerables, el agua puede alcanzar cotas inferiores al nivel freático o superiores a éste, llegando eventualmente a rebasar la superficie del terreno (pozos surgentes).

Un caso particular de acuíferos libres son los acuíferos colgados, pequeñas formaciones permeables aisladas de los acuíferos regionales por lentejones o niveles poco permeables que impiden la conexión hidráulica con el resto, quedando suspendido o "colgado" el nivel freático local por encima de la superficie de saturación general.

2.2.3.2. ACUÍFERO CONFINADO O CAUTIVO

Aquél en que el agua está, en cualquier punto del mismo, a mayor presión que la atmosférica, razón por la cual al efectuar una perforación el agua asciende hasta un nivel superior al del techo del acuífero, en que se equilibra la presión hidráulica con la atmosférica. A este nivel ideal determinado por todos los puntos de equilibrio de la presión del agua con la atmosférica se le denomina superficie piezométrica.

Los pozos perforados en estos acuíferos reciben el nombre de artesianos, siendo a veces también surgentes (cuando el nivel piezométrico está por encima de la superficie topográfica).

Los acuíferos cautivos se caracterizan por estar separados de la atmósfera por materiales impermeables o confinantes (acuícludos). El caso más simple y conocido, aunque no el único, lo constituye una estructura sinclinal en una formación porosa y permeable entre materiales impermeables, estando el área de recarga situada por encima del resto del acuífero.

2.2.3.3. ACUÍFERO SEMICONFINADO

Acuífero cautivo que, al estar recubierto por (o yaciendo sobre) un acuitardo, puede recibir o perder parte del agua que almacena a través del techo y/o la base del acuífero. Está delimitado, por lo tanto, por materiales semiconfinantes (o semipermeables), al

menos en parte. Su superficie piezométrica también se encuentra por encima del techo del acuífero.

En general se acepta que la recarga de agua es proporcional a la diferencia de niveles entre los del acuífero en cuestión y los de los que se encuentran por encima o por debajo; si la diferencia es negativa, se produce una descarga.

Todos los acuíferos tienen un área de alimentación, en que se produce la recarga, generalmente por infiltración del agua procedente de las precipitaciones; ello supone que incluso los acuíferos confinados cuentan con algún sector en que se comportan como acuíferos libres.

2.2.4. POZOS

El sistema de drenaje de taludes mediante pozos consiste en construir una serie de pozos de forma que se deprima, mediante el bombeo, el nivel freático. Para diseñar este sistema es necesario conocer la red de flujo con el fin de poder dimensionar los pozos y poderlos situar en el terreno.

Este sistema de drenaje tiene como ventaja, y prácticamente es la única razón para su utilización, el poder drenar el terreno antes de comenzar la obra, con lo cual se puede mejorar la estabilidad del talud durante la construcción y, además, al no aflorar agua en la excavación esta se realizará de forma más económica y segura.

Como inconvenientes este sistema tiene su costo, es elevado el precio de perforación y el equipamiento de los pozos, y su mantenimiento, para extraer el agua por bombeo es necesario tener energía en obra y requiere un mantenimiento continuo de todos los equipos, ya que si estos se paran deja de funcionar el drenaje.

En obras civiles se tiende a que los sistemas de drenaje funcionen por gravedad, en estos casos, el mantenimiento del sistema de drenaje es prácticamente nulo. Por esta razón cuando se quiere drenar el talud antes de comenzar la excavación será necesario utilizar pozos, pero una vez terminada la excavación y para eliminar el mantenimiento del sistema de drenaje es aconsejable, conectar la base de los pozos con drenes horizontales.

Este procedimiento tiene como inconveniente el de acertar, con la perforación horizontal, la base del pozo. Una vez conectado el pozo con el dren horizontal se retiran los equipos de bombeo, y se rellena el pozo de grava limpia, sellándose su parte superior con un tapón impermeable. Con el fin de que sea más fácil conectar los pozos con los drenes horizontales, el final de los pozos se suele ensanchar lo más posible.

2.2.5. REBAJAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

El rebajamiento del nivel freático (también conocido como dewatering) es un procedimiento ingenieril que consiste en la depresión del nivel estático de agua del terreno, en zonas donde el acuífero de superficie se encuentra por encima de una determinada cota de interés (generalmente la cota de máxima excavación de la futura obra a realizar), con la finalidad de que todo ese volumen de tierras se encuentre seco, para poder operar de una manera segura en la excavación. Dependiendo de factores como la profundidad inicial, el descenso deseado, el tipo de terreno o el sistema de contención planificado para la obra, el procedimiento de dewatering idóneo varía entre varias opciones, de las que destacan principalmente el uso de sistemas de filtro por vacío (conocidos como sistemas wellpoint), y el empleo de pozos convencionales de drenaje. Por medio de estos sistemas se evacúa el agua del acuífero produciendo un descenso localizado en la zona de la obra, permitiendo así el drenaje para la operación del terreno en seco.

Tradicionalmente, siempre que se ha efectuado un procedimiento de dewatering todo ese volumen de agua subterránea evacuada, independientemente de su calidad química, y que sea o no apta para

determinados usos, ha sido vertida a la red de alcantarillado, desconectándola del sistema hídrico con el consiguiente desperdicio del recurso.

2.2.6. EQUIPO DE BOMBEO

Según Aguirre (1984), una bomba hidráulica es una máquina que añade energía a un fluido. Es un conjunto de paletas rotatorias adaptadas a un eje o árbol (rodete), el cual está encerrado en una coraza. Las bombas pueden ser de flujo radial (bombas centrífugas), flujo axial o de una combinación de ambos, llamadas flujo mixto.

2.2.6.1. BOMBAS

El conocimiento de las características de una bomba permite escoger aquella que se adapta mejor a las condiciones de trabajo y así lograr un rendimiento relativamente alto a un bajo costo (Aguirre, 1984).

2.2.7. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA

Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro de la unidad podrá haber uno o varios acuíferos y quizás acuitardos o acuicludos entre ellos. Se consideran una unidad porque están conectados de modo que su funcionamiento (entradas, salidas, balance) hay que estudiarlo de un modo conjunto.

Esta agrupación de formaciones es relativamente subjetiva, depende de la escala y de los objetivos del trabajo. Una unidad puede subdividirse en unidades menores

2.2.8. SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

El conjunto de acuíferos y acuitardos o acuicludos que confinan o semiconfinan a los niveles más permeables constituyen el sistema hidrogeológico de una determinada región.

Desempeñan dos funciones principales:

- a) Almacenan importantes volúmenes de agua, tanta como les permite su porosidad, (función de embalse subterráneo).
- b) Transmiten el agua desde las áreas de recarga a las áreas de descarga (función de conducto subterráneo).

Los sistemas hidrogeológicos son más efectivos como almacenes o embalses que como conductos o meros elementos transmisores de agua subterránea, con la excepción de las formaciones de calizas muy karstificadas, de algunas coladas de lava y de depósitos de gravas muy gruesas.

Es frecuente que se produzcan flujos muy diversos y complejos, tanto en magnitud del recorrido como en las trayectorias seguidas por el agua subterránea. Esta circunstancia es especialmente destacable en los sistemas hidrogeológicos de gran extensión y de espesor considerable, como es el caso de las grandes cuencas sedimentarias, donde el flujo responde esencialmente al modelo propuesto por Hubbert o, a gran escala, al modelo de Toth, cuando existe un manifiesto gradiente topográfico en la región. Estos modelos se complican mucho si se contempla en detalle las trayectorias seguidas por el agua en la zona saturada, ya que usualmente el medio hidrogeológico es heterogéneo y anisótropo. En muchos casos, la gran heterogeneidad que presenta el medio hace aconsejable considerarlo como un sistema hidrogeológico "multicapa", en que alternan niveles permeables con otros semipermeables o confinantes (acuíferos con acuitardos y/o acuícludos).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

ACUÍFERO

Formación rocosa delimitada por rocas impermeables en cuyo interior puede almacenarse y fluir el agua subterránea, en función de su porosidad y permeabilidad. Se recargan por infiltración y percolación y descargan a través de los ríos y manantiales o en el mar. Estrato de roca permeable que puede almacenar agua en su interior y permitir el paso de esta.

AGUA SUBTERRÁNEA

Es el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico conocido como subsuelo comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático, que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea.

AGUA SUPERFICIAL

Agua que fluye o se almacena sobre la superficie del terreno. Incluye los ríos, lagos, lagunas y embalses. Es aquella constituida por corrientes superficiales sean naturales o artificiales, (p.e. agua de los ríos, lagos o pantanos).

BALANCE HÍDRICO

Es la relación entre los valores de precipitación y evapotranspiración en un área determinada.

Puede arrojar un déficit, superávit o equilibrio de humedad.

DESCARGA

Volumen de agua por unidad de tiempo, un canal o una corriente que vierte a un lago, depósito, corriente u océano.

EVAPORACIÓN

Proceso físico de transferencia molecular por el cual un líquido pasa al estado gaseoso. Emisión de vapor de agua por la superficie libre de una superficie de agua líquida, a cualquier temperatura inferior al punto de ebullición.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

PIEZOMÉTRICO

Equipos instalados para medir las fluctuaciones del nivel freático de un acuífero en una localidad determinada.

PERMEABILIDAD

Es la propiedad o la capacidad de una roca porosa, sedimento o terreno para transmitir un fluido; es una medida de la facilidad relativa del flujo del fluido bajo un gradiente piezométrico. Las expresiones "permeable" e "impermeable" tienen un significado relativo.

Cuando se tiene una capa con una misma permeabilidad entre capas de permeabilidad menor, ésta puede actuar como un acuífero mientras que si las capas son más permeables puede actuar como acuitardo. El término permeabilidad se emplea coloquialmente como sinónimo de conductividad hidráulica

NIVEL FREÁTICO

El 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 encima del nivel freático existe el agua capilar donde su presión es menor que la atmosférica.

NIVEL PIEZOMÉTRICO

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

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENÉRICO

El estudio hidrogeológico permite proyectar los pozos de drenaje y por consiguiente deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- a. Con las características hidrogeológicas es factible ubicar los pozos de drenaje.
- b. Al perforar piezómetros exploratorios y pozos es factible deprimir el nivel freático.
- c. Al instalar la infraestructura de bombeo en los pozos es factible deprimir el nivel freático.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

Se identificaron las siguientes variables:

2.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Nivel de estudio hidrogeológico

2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Proyección de pozos de drenaje

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación a emplear de acuerdo al problema planteado, es una investigación aplicada porque, busca la aplicación de conocimientos adquiridos en la práctica de la investigación hidrogeología y se sustenta en los resultados de hallados, ya que se buscará las soluciones para deprimir el nivel freático por debajo del nivel de la fase del minado.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que se utiliza en el estudio será el diseño descriptivo simple, recogándose datos primarios, originales y producto del estudio hidrogeológico.

El diseño simple es cuando se estudia las relaciones de las variables independiente y dependiente, pero no en condiciones de control riguroso.

Se emplea el diseño descriptivo simple:

M ----- O

Dónde:

M = muestra que representa al estudio hidrogeológico.

O = observación o información

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población está representada por el área de influencia que corresponde a la cuenca del Tajo Norte con 6.5 km², su mayor elevación es de 4,342 msnm y el fondo del tajo se encuentra a una elevación de 4,156 msnm donde se ubican las estaciones pluviométricas, estaciones meteorológicas, las unidades hidrogeológicas y los acuíferos.

3.3.2. MUESTRA

Las muestras representan los datos hidrogeológicos que resultan del estudio y la técnica de selección de la muestra es un muestreo no probabilístico de juicio o criterio.

3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

A efectos de abordar todos los factores que intervienen en el problema planteado, el método a emplear es el científico como método general. También se emplearon el método descriptivo para describir los fenómenos tal como se presentan en forma natural relacionados a las características hidrogeológicas; asimismo el método analítico y aplicativo.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El estudio hidrogeológico del tajo abierto de la Mina de Colquijirca fue realizado mediante perforaciones, siendo la utilizada el tipo de aire reverso y por ser con inyección de aire y sin aditivos se le llama perforación limpia; mediante esta técnica se evalúa las características del agua subterránea en el acuífero en calidad y cantidad.

3.5.1. TÉCNICAS

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos en la presente investigación fueron la observación directa de campo, análisis documental, asimismo se utilizó la técnica de la perforación, del muestreo y los ensayos de bombeo.

3.5.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados para la recolección de información de la investigación fueron 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, equipo mecanizado de lavados de pozos, bombas.

3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se realizaron en el área de recursos hídricos Pitdewatering de Sociedad Minera El Brocal S.A (SMEB) que comprendió los siguientes aspectos.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- Procesamiento de datos meteorológicos, en este documento se muestra la evaluación de la precipitación máxima probable para diferentes periodos de retorno. Así como la escurrentía en la “Cuenca del Tajo Abierto” para diferentes periodos de retorno.
- La caracterización fisiográfica de la cuenca “Tajo Colquijirca”, consiste en la evaluación de los parámetros fisiográficos relevantes en su respuesta hidrológica, este análisis se hace con fines de conocimiento básico de cada unidad de drenaje de interés para el área en estudio.

- La caracterización hidrológica busca estimar el régimen de descarga del agua de la cuenca del tajo abierto “Colquijirca”. Así como el comportamiento de otros flujos que forman parte del sistema hidrológico, como el análisis de infiltraciones y otras pérdidas de agua como la evapotranspiración.
- Para la estimación de caudales máximos instantáneos se ha utilizado el método del hidrograma triangular, soil conservation service (SCS).
- Las pruebas hidráulicas consistieron en ensayos tipo Lefranc (variable y constante), y Head Test, la selección del tipo de ensayo a realizar dependió de las características evidenciadas en los testigos y de la presencia de nivel de agua, específicamente del grado de fracturamiento de las rocas, a partir de lo cual se asignó un valor de permeabilidad a cada unidad de roca.

Para el análisis de datos se utilizó el software Excel, Autocad Civil 3D y Minesight.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS

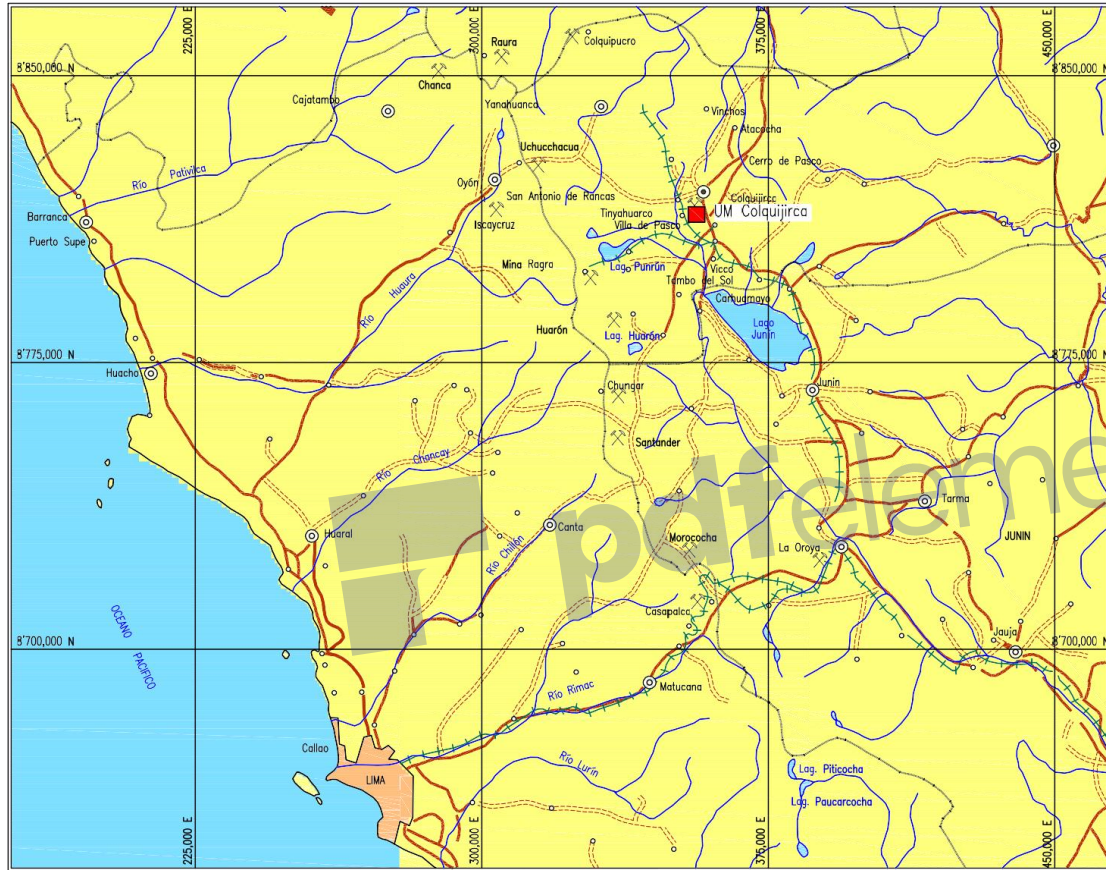
4.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Open PIT Colquijirca está ubicado en el Distrito de Tinyahuarco, Provincia y Departamento de Pasco a 14 km al S-SE de Cerro de Pasco y a 289 Km de Lima. Se trata de una zona montañosa con cotas comprendidas entre 4,250 a 4,535 msnm. El ámbito del área del proyecto forma parte de la superficie alto andina de Cerro de Pasco donde la actividad glacial ha modelado su relieve con suaves ondulaciones, valles abiertos de tipo glacial entre colinas redondeadas.

La extensión de la cuenca hidrográfica del “Tajo Colquijirca” se encuentra influenciada por la cabecera de cuenca Condorcayan y tiene como límites las siguientes coordenadas en el sistema UTM – WGS 84 – Zona 18 SUR.
Figura 2.

NORTE	: 8 810 000 m - 8 814 000 m
ESTE	: 360 000 m - 362 000 m

POB - User
 R.T.1. D. IIG. PROYECTOS PROYECTOS BROCAL I AMIN ANDRIG. Finales Laminas 1.1 Mapa de Ubicación



LEYENDA	
⊙	Capital de departamento
⊕	Capital de provincia
○	Capital de distrito
—	Carretera asfaltada
---	Carretera afirmada
—	Límite departamental
—	Río
—	Lagunc
⊗	Centro minero

NOTA
 Información proporcionada por
 Sociedad Minera El Brocal

REFERENCIA
ESCALA : 1/""500,000
0 15,000 30,000 45,000 m
DATUM: WGS-84 ZONA: 18-S

DIBUJADO: L. RAMIREZ	CLIENTE: EL BROCAL
REVISADO: S. RODRIGUEZ	
APROBADO: J. TONAR	Hydro-Geo

PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO INTEGRAL DE LA UNIDAD MINERA COLQUIJRCA
TITULO: MAPA DE UBICACION
CODIGO PROYECTO: HC 03-90-17
FECHA: MAYO 2017
LAMINA: 1.1

4.1.2. CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA

La caracterización de la cuenca “Tajo Colquijirca”, consiste en la evaluación de los parámetros fisiográficos relevantes en su respuesta hidrológica, este análisis se hace con fines de conocimiento básico de cada unidad de drenaje.

a) Cuenca del “Tajo Abierto Colquijirca”.

Esta cuenca tiene un área de 6.53 km² y una orientación NE - SW, el curso principal se forma en la parte alta de la cuenca y es definido en un curso menor que confluye en el fondo del tajo. Manteniendo un caudal base permanente por el aporte de afloraciones de agua (puquiales) a lo largo de su recorrido. Nace a una cota de 4375 msnm y desemboca en el interior del tajo a una cota de 4294 msnm, esta descarga es conducida por una alcantarilla que intersecta la vía de acceso, para conectar a una lagunilla que tiene por finalidad abastecer de agua a las cisternas a través de una “garza”, para el regado de las vías. Figura 3.

Tabla 1. Parámetros Geomorfológicos de la cuenca Tajo Abierto de Colquijirca

Parámetro	Cuenca Tajo Colquijirca	Unidad
Área	6.53	km ²
Perímetro	11.19	km
Longitud de curso	3.9	km
Altitud máxima	4485.	m.s.n.m
Altitud mínima	4200.	m.s.n.m
Altitud Media	4374	m.s.n.m.
Cota de fondo de Tajo Sur.	4186	m.s.n.m
Cota de fondo de Tajo Norte	4204	m.s.n.m.
Pend. Media de cuenca	8.03	%
Coeficiente de Compacidad	1.24	Adimensional
Factor de forma	0.43	Adimensional
Pendiente	8.03	%

368000

380000

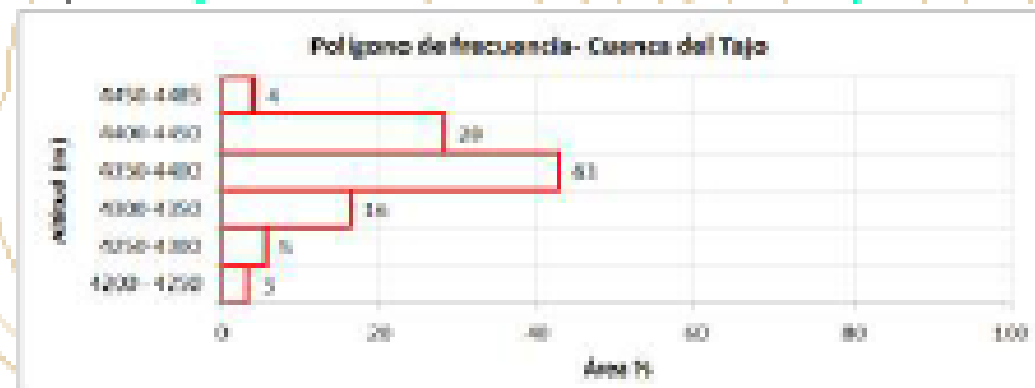
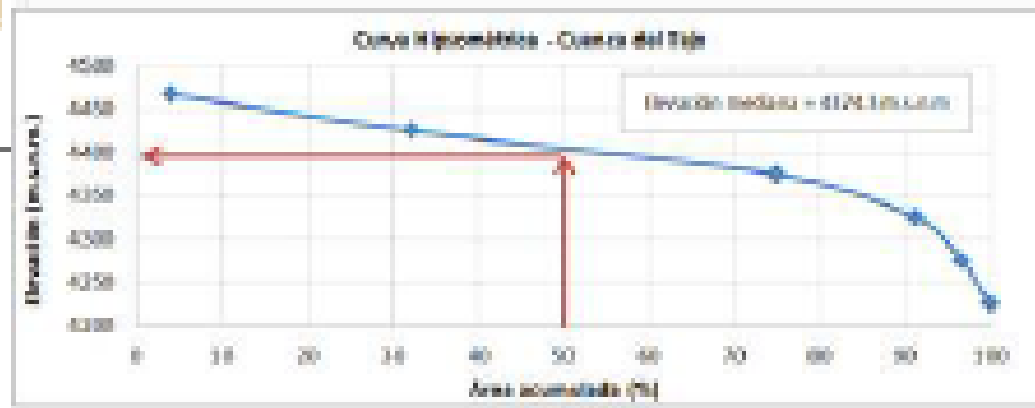
4314000

4312000

Características Geomorfológicas de la Cuenca Tajo Abierto Colquijra

Rango	Código	Área (km ²)	% área	%área acum +	%área acum -	cota media
4300 -	4300	1	0.21	3.27	100.00	4320
4310 -	4300	2	0.36	3.63	99.74	4370
4320 -	4300	3	1.08	18.29	99.36	4370
4330 -	4300	4	2.79	32.75	99.98	4370
4400 -	4400	5	1.84	38.29	32.33	4420
4450 -	4450	6	0.36	4.04	4.00	4480
		6.5	100.00			

PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS	UNIDADES	CUENCA TAJO ABIERTO
Área de la cuenca	km ²	6.5
Perímetro	km	11.2
Coefficiente Compacidad (Cc)	-	1.2
Longitud de la cuenca (Lo)	km	3.8
Longitud cauce principal (L)	km	3.0
Factor de Forma (FF)	-	0.4
Cota media	km	4374
Longitud mayor (L)	km	3.8
Longitud menor (l)	km	1.2
Pendiente	%	8.0
Orden	n	1



Cuenca Tajo

Desmentera Condorcal

Tajo Abierto

4.1.3. HIDROLOGIA

La descripción de las microcuencas que conforman el área de estudio, así como el análisis de la información meteorológica desde el punto de vista estadístico, su completación para uniformizar los periodos de información y regionalizar los diversos parámetros meteorológicos analizados, encontrando características que describen la climatología de las microcuencas hasta generar y analizar el balance hídrico de las microcuencas evaluadas.

4.1.3.1. CLIMATOLOGÍA

Para caracterizar el clima y la meteorología de la zona de estudio, se han utilizado 10 estaciones, cuya información pluviométrica permitirá estimar la precipitación del área de estudio, de acuerdo a su ubicación geográfica y altitud (ver el Tabla 2). Para el análisis de la variable temperatura se cuenta con las estaciones Huaraucaca y Colquijirca de propiedad de El Brocal.

Tabla 2. Estaciones Meteorológicas del Área de Estudio

ESTACION	COORDENADAS UTM WGS-84 18S		ALTITUD (msnm)	PARAMETROS REGISTRADOS	PERIODO DE REGISTRO	OPERADOR
	Este	Norte				
Carhuamayo	385,256	8'793,036	4,150	Precipitación total mensual	1952-1994	Electroandes
Cerro de Pasco	363,268	8'817,006	4,260		1950-2016	SENAMHI
Huaraucaca	358,420	8'806,756	4,185	Temperatura media, máxima y mínima, precipitación total mensual	1996- 2016	El Brocal
Colquijirca					2015-2016	El Brocal
Huayllay	350,989	8'783,989	4,275	Precipitación total mensual	1957-1970	Electroandes
Hueghue	360,179	8'757,486	4,175		1965-2005	Electroperú
Junín	392,113	8'766,764	4,120		1969-2005	Electroperú
Upamayo	360,364	8'792,018	4,093		1957-2009	Electroperú
Volcan	361,468	8'818,750	4,296		2002-2013	Volcan
Yanahuanca	334,291	8'839,920	3,140		1978-2015	SENAMHI

Fuente: Golder Associates, 2010, Golder Associates, 2014, El Brocal, 2017 & SENAMHI, 2017.

a) Temperatura

Para el análisis de la temperatura en el área de estudio, se tiene información de las estaciones Huaraucaca (1996-2016) y Colquijirca (2015-2016), de propiedad de El Brocal. Dada la extensión del periodo de registro, se ha utilizado para el presente estudio la información de la estación Huaraucaca. Esta información se obtuvo del Estudio de Impacto Ambiental de la mina Marcapunta Norte y Sur (2013), y los años posteriores fueron complementados por El Brocal. En el Cuadro 3 se muestran los valores promedio multianual de la temperatura media, máxima y mínima mensual de la estación meteorológica Huaraucaca. En base a esta información, la temperatura media mensual varía de 3.7 a 6.1 °C. La temperatura máxima promedio mensual oscila entre 12.6 a 13.6 °C y la temperatura mínima promedio mensual varía de -5.4 a -1.2 °C.

Tabla 3. Temperaturas Media, Máxima y Mínima Mensual - Estación Huaraucaca (1996-2016)

PARAMETRO	PROMEDIO MULTIANUAL DE TEMPERATURAS (°C)											
	Ene	Feb	Mar.	Abr	May	Jun.	Jul.	Ago	Set	Oct	No v.	Dic
Temperatura Media	5.2	5.8	5.9	5.7	4.7	4.1	3.3	3.9	4.5	5.0	5.7	5.6
Temperatura Máxima	12.1	12.1	12.6	12.4	12.2	11.4	11.4	11.5	12.2	11.9	12.3	12.4
Temperatura Mínima	-1.6	-1.3	-0.4	-2.2	-3.2	-3.8	-4.7	-4.3	-3.5	-2.8	-2.7	-2.0

b) Precipitación

Para describir la ocurrencia de las precipitaciones en la zona de estudio, se utilizó la data pluviométrica de las estaciones que se indican en el Cuadro 2. Para evaluar si esta información es confiable se realizó el análisis de consistencia de los datos mensuales, cuyos resultados se muestran en el Anexo A.1. Finalmente, para la estimación de la precipitación en el área de estudio se utilizó el método de regionalización, pues este correlaciona la

precipitación con la topografía en zonas de montaña mediante técnicas de regresión lineal múltiple (Naoum & I. K. Tsanis, 2004).

En el Cuadro 4 se muestra la distribución típica de la precipitación total anual, estimada para la altitud media del área de estudio (4,251 msnm) es de 931.6 mm. Los resultados indican que la precipitación es estacional, con los valores más altos registrados entre Setiembre y Abril (90% de la precipitación total anual) durante la temporada de lluvias y, los valores más bajos registrados durante la temporada seca, entre Mayo y Agosto (10% de la precipitación total anual).

Tabla 4. Precipitación Mensual Estimada para el Area de Estudio

PRECIPITACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Promedio (mm)	128.3	139.0	133.9	70.4	35.1	19.4	16.5	24.3	49.9	94.6	101.4	118.8	931.6
Proporción Anual (%)	13.8	14.9	14.4	7.6	3.8	2.1	1.8	2.6	5.4	10.2	10.9	12.8	100.0

Asimismo, se ha estimado la precipitación total mensual para la microcuenca de Tajo Abierto, para los escenarios húmedo (20% de persistencia), promedio (50% de persistencia) y seco (80% de persistencia). Ver Tabla 5..

Tabla 5. Precipitación Mensual Estimada para la Microcuenca Tajo Abierto

PERIODO	PRECIPITACION (mm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Húmedo	156.6	172.5	162.5	88.1	46.6	31.0	23.2	35.3	58.2	129.5	131.5	148.2	1,183.2
Promedio	128.5	126.0	130.1	64.6	32.3	15.6	14.8	19.3	45.6	86.9	96.9	117.4	877.8
Seco	90.8	89.6	96.0	50.7	18.4	6.4	8.0	8.0	33.2	62.7	65.9	82.7	612.4

c) Evapotranspiración

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial para el área de estudio, se utilizó el método de Thornthwaite donde los datos de temperatura media mensual corresponden a la estación Huaraucaca. En la tabla 6, se muestran los valores medios mensuales estimados para el área de estudio, cuyo valor total anual es de 527.2 mm.

Tabla 6. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Evapotranspiración Potencial (mm)	48.5	46.5	50.8	46.7	41.4	36.1	32.3	37.0	40.3	46.1	50.0	51.5

4.1.3.2. HIDROGRAFÍA

La UM Colquijirca se ubica en la subcuenca del río San Juan, la cual pertenece a la parte alta de la cuenca del río Mantaro, afluente del río Amazonas, perteneciente a la vertiente del Atlántico.

La subcuenca del río San Juan limita con las cuencas de los ríos Perené, Huallaga y Huaura (ver figura 4); está conformada por diversas subcuencas que alimentan lagunas donde se regulan natural o artificialmente los caudales de escorrentía de las mismas y se adicionan hasta llegar al río San Juan, que marca el límite de la zona de estudio.

Para el presente estudio se ha delimitado una cuenca de estudio, la misma que ha sido dividida en 3 microcuencas, las cuales son: depósito de relaves Huachuacaja, quebrada Unish y tajo abierto (ver Figura 5).

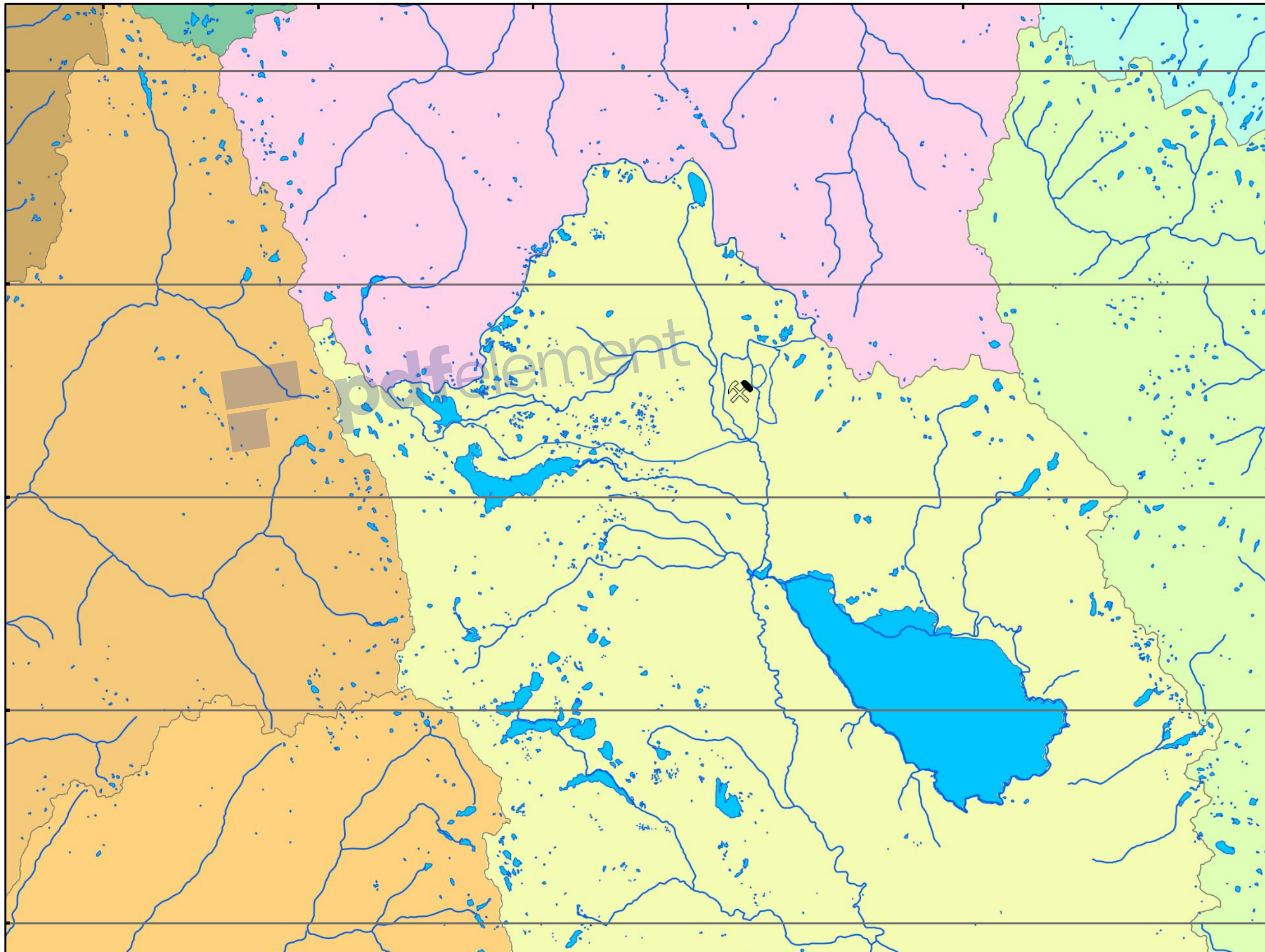
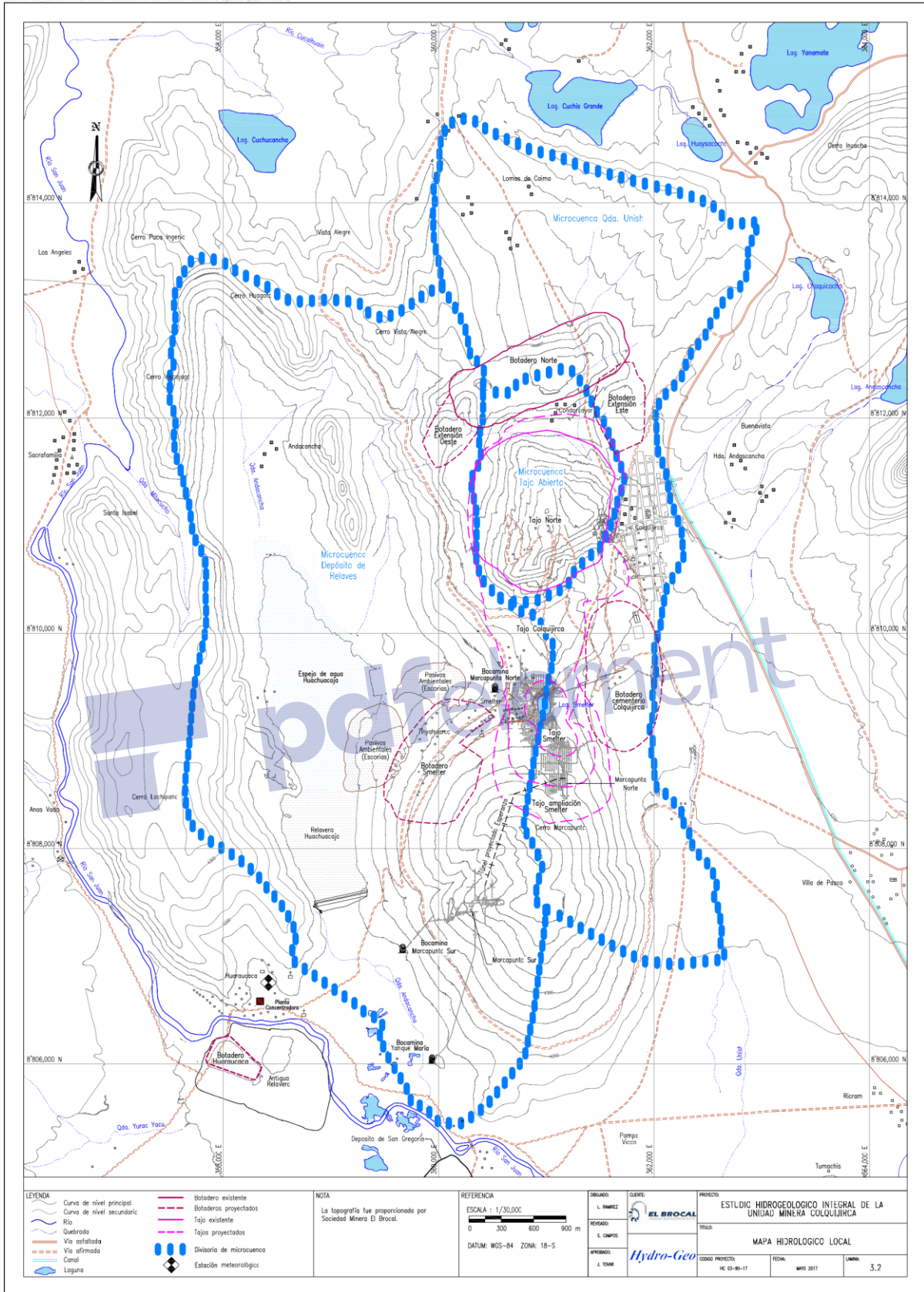


FIG. 1.10
 PE 01. 01. 001. PROYECTO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA UNIDAD MINERA COLOQUIRCA. 1.2 Mapa Hidrogeológico Local



4.1.4 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

Con el fin de establecer las características del agua, tanto superficial como subterránea, se llevó a cabo el inventario de fuentes de agua en tres oportunidades, cuyo recorrido comprendió toda el área de interés para el presente estudio:

Primer inventario: Se realizó entre el 5 y 8 de mayo del 2015 (al finalizar la época húmeda).

Segundo inventario: Se realizó entre el 8 y 12 de febrero del 2016 (iniciando el pico de ocurrencia de lluvias, considerándolo uno de los meses con más lluvias).

Tercer inventario: Se realizó entre el 1 y 7 de febrero del 2017 (considerándolo uno de los meses con más lluvias).

Los dos primeros inventarios abarcaron las mismas fuentes, tanto en superficie como en interior mina, el tercer inventario comprendió un área mayor enfocándose en zonas con mayor evidencia de agua subterránea. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados encontrados.

Tabla 7. Fuentes de Agua Inventariadas

FUENTE	CANTIDAD DE PUNTOS MEDIDOS		
	Campaña Mayo 2015	Campaña a Feb. 2016	Campaña a Feb. 2017
Aguas Superficiales			
Río San Juan	--	1	1
Quebrada Huachuacaja	2	3	5
Quebrada Andacancha	1	--	1
Quebrada Marcapunta	--	--	1
Laguna Angascancha	1	1	1
Laguna Cuchis Grande	--	--	1
Laguna Huaysacocha	--	--	1
Laguna Smelter	--	--	1
Laguna Yanamate	--	--	1
Descarga Laguna Punrún	1	--	--

Aguas Subterráneas			
Filtraciones (*)	33	26	48
Piezómetros	53	25	35
Efluentes	4	3	--
Filtraciones en Interior Mina	8	6	10
Total	105	65	106

**: Se ha considerado como filtraciones a todo flujo de agua que brota a la superficie, se determinará su permanencia durante el inventario que se realice en época seca (aún pendiente)*

Para determinar las características de las fuentes de agua identificadas, se utilizaron equipos portátiles marca Oakton y Hanna en el inventario del 2017, debidamente calibrados, con los que se midieron los parámetros in-situ del agua, como pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos. Así mismo, para la medición de caudales se utilizó un correntómetro marca Global Water modelo FP-111, además de un vertedero portátil y utensilios para mediciones volumétricas de caudal.

4.1.4.1 FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL

Las fuentes de aguas superficiales identificadas, están conformadas por ríos, quebradas y lagunas, cuyas características se describen a continuación, ver detalle en el Anexo B.

a) Ríos y Quebradas

Río San Juan

Se consideró como referencia de medición la estación de monitoreo E-4, ubicada a la altura del puente San Gregorio, aguas abajo del afluente de la quebrada Andacancha, cuyas características del agua son mostradas en la tabla 8.

Quebradas Huachuacaja, Andacancha y Marcapunta

Las quebradas identificadas en campo, fueron la quebrada Huachuacaja, Andacancha y Marcapunta, con caudales variables entre 0.1 y 530 L/s,

perteneciendo el valor más pequeño aforado a la quebrada Huachuacaja y la de mayor caudal a la quebrada Andacancha, predominando los valores altos en quebradas de mayor orden. La característica de permanencia de los flujos de agua y su conexión con el acuífero circundante de las quebradas se podrá relacionar en el inventario de época de estiaje que Hydro-Geo realizará entre los meses de Julio-Agosto del 2017. En el caso de no haber conexión, los causes sólo estarían alimentados por el agua de lluvia y serían de carácter temporal.

Tabla 8. Principales Características del Agua en Ríos y Quebradas

FUENTE DE AGUA		COORDENADAS UTM WGS84 18S		CAUDAL (L/s) (May-2015)	CAUDAL (L/s) (Feb-2016)	CAUDAL (L/s) (Feb-2017)
Ríos y Quebradas	Código	Este	Norte			
Río San Juan	A-6/E-2	360,303	8'805,220	13,080	--	11,230
	E-4	357,947	8'806,422	13,500	--	10,980
Quebrada Huachuacaja	QH-1	359,465	8'811,951	2.4	7.0	6.3
	QH-2	359,414	8'810,492	8.7	40.0	21.0
	QH-3	359,558	8'811,480	--	13.4	0.1
	QH-4	358,074	8'812,557	--	--	5.3
	QH-5	359,021	8'812,443	--	--	6.8
Quebrada Andacancha	A-4	360,024	8'805,433	91.0	--	530.0
Quebrada Marcapunta	QM-1	360,358	8'806,064	--	--	2.0

4.1.2 Lagunas

Se ha identificado 5 lagunas dentro del área de estudio, la laguna Angascancha, Cuchis Grande, Huaysacocha, Smelter y Yanamate, ver Lámina 4.1, de las cuales solo se ha podido medir un flujo de rebose de 29.6 L/s en la laguna Angascancha, en el último inventario realizado; el resto de lagunas identificadas tienen características de lagos endorreicas y no presentan conexión con el acuífero subterráneo, es decir, no evacua agua, habiendo registrado en estas lagunas sus parámetros in-situ, los cuales se muestran en el Anexo B y se explican en el capítulo 7 de Calidad de Agua. Las lagunas identificadas no muestran ninguna conexión hidráulica con el acuífero de la zona.

Tabla 9. Características del Agua en las Lagunas

FUENTE DE AGUA		COORDENADAS UTM WGS-84 18S		CAUDAL DE REBOSE (L/s)		
Laguna	Código	Este	Norte	May-2015	Feb-2016	Feb-2017
Angascancha	E-ANGAS	364,073	8'812,195	125.0	57.0	29.6
Cuchis Grande *	LCG	360,855	8'815,222	--	--	--
Huaysacocha *	LH	362,648	8'814,415	--	--	--
Smelter *	LS	361,015	8'809,372	--	--	--
Yanamate *	LY	363,552	8'814,967	--	--	--

*: Endorreica, sin rebose

4.1.2 FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA

Como fuentes de agua subterránea se reconocieron tres tipos: filtraciones, Tajo Colquijirca y agua de mina.

4.1.2.1 Filtraciones

Durante los inventarios de fuentes de agua realizados en superficie, en el 2015 se han identificado 33 filtraciones, en el 2016, 26 filtraciones y, en el 2017, 48 filtraciones. Estas filtraciones, se tratan de flujos sub-superficiales de agua que se presentan de manera dinámica, desapareciendo o cambiando ligeramente su ubicación.

Una diferenciación más certera de cuáles son aguas sub-superficiales productos de las lluvias y cuáles son los flujos procedentes del acuífero subterráneo (manantiales), se realizará en el programa de monitoreo de época seca, programada para Julio-agosto del 2017.

En el área de estudio se han identificado tres zonas, con presencia de filtraciones.

Zona de la Quebrada Huachuacaja (Microcuenca Depósito de Relaves)

En esta zona se identificó 30 filtraciones en el 2015, 25 filtraciones en el 2016 y 24 filtraciones en el 2017.

- Las filtraciones con mayor caudal aforados en esta zona el año 2017 fueron MH-2 y 42 (0.7 L/s) y los de menor flujo fueron MH-8 Y 13 (0.01 L/s).
- En el 2016 se midieron flujos entre 0.01 L/s en el punto MH-15 y de 1.00 L/s en el punto MH-2.
- En el año 2015 se midieron flujos entre 0.01 L/s en los puntos MH-4, MH-12, MH-14 y 0.50 L/s en el punto MH-2.

Zona Sur del Cerro Marcapunta (Microcuenca de la Quebrada Unish)

En el 2015 se encontró solo 3 filtraciones. En el 2016 una sola y en el 2017 se encontró 22.

- Durante el inventario realizado en Febrero del 2017, la filtración con mayor flujo fue la MM-10 (1.03 L/s) y la filtración con menor flujo la MM-24 (0.02 L/s), ubicado en la parte Norte de Coquijirca por encima del minado subterráneo.
- En el 2016 solo se identificó un flujo de 0.04 L/s en el punto MM-3.
- En el 2015 se midió caudales entre 0.3 L/s en el MM-2 y 0.01 L/s en el punto MM-1.

Zona de la Comunidad de Colquijirca (Microcuenca de la Quebrada Unish)

En el 2017 se identificó 2 filtraciones al Norte de la Comunidad de Colquijirca cerca de la laguna Chaquicocha, cuyos flujos se encontraban entre 0.3 (MC-1) y 0.01 (MC-2). Estos flujos no fueron identificados en los años anteriores (2015 – 2016).

Las características del agua que aflora por las filtraciones ubicadas en el área de la quebrada Huachuacaja, del cerro Marcapunta y Colquijirca se muestran en el Cuadro 4.4.

4.1.2.2 Agua de Mina

Teniendo como objetivo conocer el comportamiento del agua subterránea presente en el interior de cada mina, así como evaluar el comportamiento hidrogeológico y las características de las aguas, se procedió a realizar un inventario de fuentes de aguas subterráneas al interior de las labores, en los sectores donde existen filtraciones y así estimar los caudales circundantes en las galerías y establecer su relación con las probables zonas de recarga.

De esta manera, se llegó a inspeccionar el tajo abierto Colquijirca Norte, donde sólo se visitaron aquellos niveles con presencia de agua.

Tabla 10. Fuentes de Agua en el Tajo Colquijirca Norte

UBICACION	CODIGO	COORDENADAS UTM WGS84 18S		NIVEL PIEZOMETRICO (msnm)	CAUDAL (L/s) (Feb-2017)
		Este	Norte		
Tajo Colquijirca Norte (Nv 4180)	TCN-1	361,218	8'811,240	4,112	0.001

4.1.2.3 Tajo Colquijirca norte

En el tajo, la presencia de agua subterránea, se evidenció de la siguiente forma:

- Humedad en la pared del lado Oeste del tajo.
- Agua subterránea en mínima cantidad, aflorando a través de fracturas.
- Presencia de labores mineras antiguas que conducen y aportan agua al sistema de drenaje del tajo.

- Existencia de pozos de bombeo, de los cuales, actualmente, solo operan 2 pozos, desde donde se extrae un caudal promedio de 107 L/s aproximadamente.
- Existencia de dos pozos o sumideros ubicados en el fondo del tajo, desde donde también se extrae agua superficial y subterránea mediante bombeo. Figura 6 y 7.

Los datos históricos del tajo Colquijirca indican que durante los años 2013 al 2015 se drenó un caudal promedio de 90 L/s, mientras que en el 2016 se incrementó a 155 L/s, debido a la profundización del tajo y en el 2017 se está bombeando entre 116 - 217 L/s.

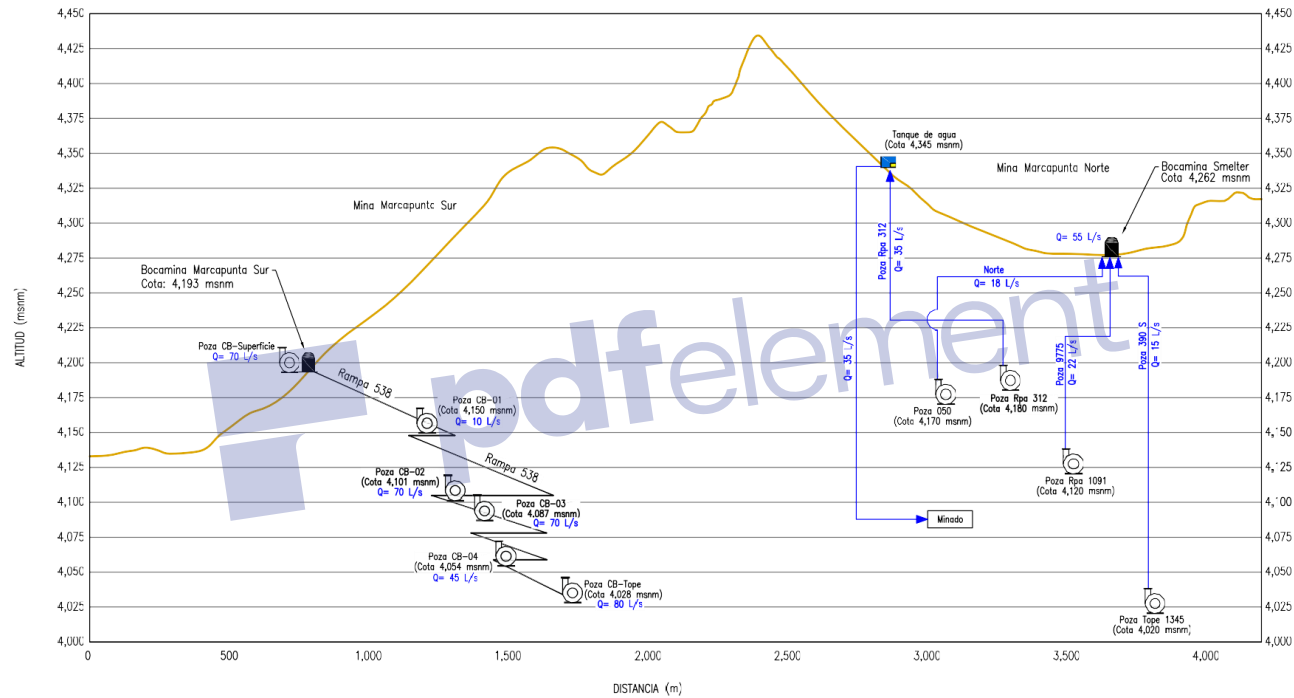
Tabla 11. Descarga de Agua Subterránea de la Mina Marcapunta Norte-Sur y del Tajo Colquijica

AÑO	MINA	CAUDALES (L/s)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
2015	Tajo Norte	125.5	138.9	129.8	109.4	102.6	98.6	107.7	117.7	103	102	99	99.6	111
	Marcapunta Norte	104.6	89.6	91.6	84.6	87.9	76.6	90.8	82	104.4	72.4	69.9	61.4	85
	Marcapunta Sur	109	91	94	84	86	--	--	--	--	--	--	--	92.8
2016	Tajo Norte	91.6	85.6	97.7	95.5	99.0	170.2	164.7	224.3	228.4	107.9	150.9	142.5	138.2
	Marcapunta Norte	46.6	47.0	46.5	49.2	75.0	54.5	60.0	56.7	50.0	53.5	55.0	63.0	54.8
	Marcapunta Sur	--	93	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2017	Tajo Norte	126.9	116.8	187.8	217.4									
	Marcapunta Norte	98.7	87.5	69.22	75.60									
	Marcapunta Sur	--	96(*)	--	--									

Fuente: Monitoreo de Aforos Realizado por el área de Medio Ambiente de El Brocal (*) Dato medido durante el inventario de fuentes de agua realizado en Febrero del 2017

--: sin registro

Hydro-Geo

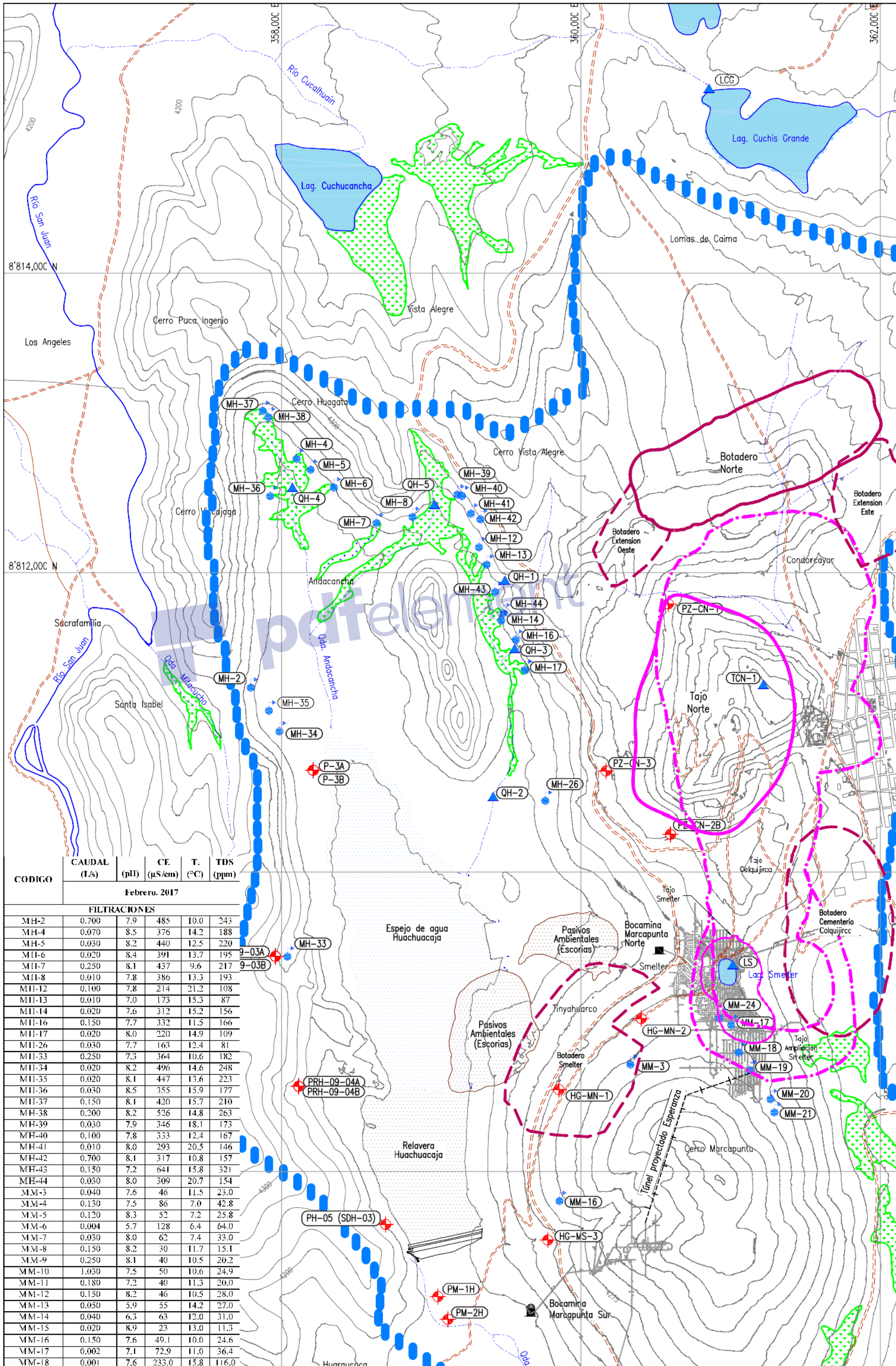


ESCALA H. 1/20,000
ESCALA V. 1/4,000

FECHA : MAYO 2017
ESCALA: INDICADA

ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO DE
LAS MINAS MARCAPUNTA NORTE Y SUR

Figura :
4.1



CODIGO	CAUDAL (L/s)	CE (pH)	CE (µS/cm)	T. (°C)	TDS (ppm)
Febrero. 2017					
FILTRACIONES					
MH-2	0.700	7.9	485	10.0	243
MH-4	0.070	8.5	376	14.2	188
MH-5	0.030	8.2	440	12.5	220
MH-6	0.020	8.4	391	13.7	195
MH-7	0.250	8.1	437	9.6	217
MH-8	0.010	7.8	386	13.3	193
MH-12	0.100	7.8	214	21.2	108
MH-13	0.010	7.0	173	15.3	87
MH-14	0.020	7.6	312	15.2	156
MH-16	0.150	7.7	332	11.5	166
MH-17	0.020	8.0	220	14.9	109
MH-26	0.030	7.7	163	12.4	81
MH-33	0.250	7.3	364	10.6	182
MH-34	0.020	8.2	496	14.6	248
MH-35	0.020	8.1	447	13.6	223
MH-36	0.030	8.5	355	15.9	177
MH-37	0.150	8.1	420	15.7	210
MH-38	0.200	8.2	526	14.8	263
MH-39	0.030	7.9	346	18.1	173
MH-40	0.100	7.8	333	12.4	167
MH-41	0.010	8.0	293	20.5	146
MH-42	0.700	8.1	317	10.8	157
MH-43	0.150	7.2	641	15.8	321
MH-44	0.030	8.0	309	20.7	154
MM-3	0.040	7.6	46	11.5	23.0
MM-4	0.130	7.5	86	7.0	42.8
MM-5	0.120	8.3	52	7.2	25.8
MM-6	0.004	5.7	128	6.4	64.0
MM-7	0.030	8.0	62	7.4	33.0
MM-8	0.150	8.2	30	11.7	15.1
MM-9	0.250	8.1	40	10.5	20.2
MM-10	1.030	7.5	50	10.6	24.9
MM-11	0.180	7.2	40	11.3	20.0
MM-12	0.150	8.2	46	10.5	28.0
MM-13	0.050	5.9	55	14.2	27.0
MM-14	0.040	6.3	63	12.0	31.0
MM-15	0.020	8.9	23	13.0	11.3
MM-16	0.150	7.6	49.1	10.0	24.6
MM-17	0.002	7.1	72.9	11.0	36.4
MM-18	0.001	7.6	233.0	15.8	116.0

4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. GEOLOGIA

4.2.1.1 GEOMORFOLOGIA

El área de estudio se emplaza en la meseta de Bombón, entre los 4,100 y 4,350 msnm de altitud, en una zona de suave relieve, donde predominan las planicies como las Pampas de Junín, con pendientes poco pronunciadas y con algunas elevaciones aisladas, entre las cuales destacan la loma Jana Huaylan y los cerros Marcapunta, Vista Alegre, Calcahuayin, Jelaash y San Cristóbal.

Las instalaciones mineras del tajo Norte, labores subterráneas antiguas, incluyendo las labores del yacimiento Marcapunta y la bocamina Unish, son parte de un alineamiento Norte - Sur de aproximadamente 6.5 km de longitud que separa al valle de Huachuacaja al Oeste, desde una pampa relativamente plana al Este. El cerro Marcapunta forma la extensión Sur de este alineamiento y el desarrollo del tajo Norte y botaderos han modificado el relieve de la parte Norte del alineamiento. Las unidades geomorfológicas más importantes de la zona de estudio, son las siguientes:

Colinas

Conformadas por cerros poco elevados. Estas colinas, en la parte baja del río San Juan, tienen dirección Norte-Sur, estando constituidas por rocas carbonatadas.

Farallones

Esta unidad se observa en la margen derecha de la quebrada Huachuacaja en el cerro Lachipana y, en las partes altas del valle de Andacancha.

Domo Volcánico

Constituido por las elevaciones más conspicuas, ligado a procesos intrusivos y volcánicos, como es el caso del cerro Marcapunta, que tiene pendientes suaves, un largo de 4 km y un ancho de 3 km y se eleva aproximadamente 385 m desde 4,190 hasta 4,475 msnm, teniendo como referencia la altitud del río San Juan (4,195 msnm).

Valles Glaciales

Presentan forma cóncava (en U), se caracterizan por ser amplios y de pendiente suave. Tal es el caso de los valles de Quiulacocha, Unish y Huachuacaja que incluye los pasivos ambientales de la fundición cerrada y la planta de tratamiento de aguas ácidas.

Valles Fluviales

Son valles de forma cóncava (en V) cuyo fondo es bastante amplio y de pendiente suave. Tal es el caso del curso del río San Juan, ubicado al Sureste de la mina, el mismo que en las áreas planas forma pequeños meandros.

4.2.1.2 GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

En el área de estudio se han identificado rocas del Grupo Excélsior como las más antiguas, seguidas por el Grupo Mitu, Grupo Pucará (formaciones Pucará y Chambará), Grupo Casapalca (miembro Calera y conglomerado Shuco) del complejo volcánico Marcapunta (ver figura 8). A continuación, se detallan las unidades litológicas en referencia.

Rocas Sedimentarias Grupo Excélsior

Constituye la unidad geológica más antigua de la región, está constituida por pizarras y filitas grises a gris verdosas, con abundantes intercalaciones de cuarcitas en estratos delgados. Presentan venillas de cuarzo, como producto de

segregación de un metamorfismo regional de bajo grado, acompañadas de sericita y clorita.

Estas rocas, restringidas al corazón del anticlinal de Cerro de Pasco, afloran en la quebrada de Mishiguajanan, al Norte de Colquijirca. Su espesor es superior a 300 m.

Localmente constituye el basamento impermeable, debido a que contiene materiales poca a nula conductividad hidráulica.

Grupo Mitu

Es una serie detrítica de color rojo, que aflora en el área de estudio al Oeste del tajo Colquijirca, principalmente en ambas márgenes de la quebrada Huachuacaja (río Andacancha) y al Sur del cerro Marcapunta, cerca de la quebrada Huachuacaja; suprayace en fuerte discordancia angular al Grupo Excélsior. Las unidades que conforman este grupo son dos:

- **Unidad Inferior (Conglomerado Mitu).**- Constituida por clastos subredondeados a subangulosos, de tamaños centimétricos y con una pobre selección, cementados por una matriz de arenisca de grano fino, de color rojo ladrillo, que se halla en estratos medios gruesos, con estratificación sesgada. La litología de sus componentes consiste principalmente de cuarcitas y cuarzo lechoso, en menor proporción contiene filitas similares a las del Grupo Excélsior. La matriz tiene la misma composición, con fraccionometría arenosa hasta limosa. Esta unidad está presente al Nor Oeste de Colquijirca, en la quebrada de Mishiguajanan, suprayaciendo en fuerte discordancia angular al Grupo Excélsior. El espesor de esta unidad es de aproximadamente 400 m. Posee una al igual que el Grupo Excélsior poca a nula conductividad hidráulica.
- **Unidad Superior (Areniscas Mitu).**- Consiste en areniscas rojas, con lenticulas conglomerádicas, litológicamente similares a la unidad inferior. Presenta laminaciones oblicuas y de artesa, alternada con limoarcillitas de una coloración verdosa que pasa a rojiza. Aflora hacia el Oeste de Colquijirca, en los

cerros Lachipana y Pumarrín. El espesor de esta unidad se calcula en aproximadamente 600 m. Posee una mediana a poca conductividad hidráulica.

En general, el Grupo Mitu se ubica como substrato en tajo Norte, Smelter y Marcapunta Norte, generalmente estéril, aunque en Marcapunta Norte se ha evidenciado vetilleo de sulfuros.

Grupo Pucará

En la región se distinguen claramente dos facies pertenecientes al mismo grupo, la facies occidental (Pucará Occidental) y la facies oriental (Formación Chambará); ambas separadas por la Falla Longitudinal.

Formación Chambará

Esta unidad se ubica al Este de Colquijirca, estando su base expuesta al Norte de la Villa de Pasco y aflora en forma discordante, con bajo ángulo, sobre el Grupo Mitu, al Norte de Atacocha. Una sección aparentemente continua, divide a la Fm. Chambará en tres intervalos de facies con un espesor total que supera los 1,700 m de espesor, constituidos litológicamente por calizas. Las conductividades hidráulicas en esta formación son menores que la Fm. Pucará.

Pucará Occidental

Corresponde a la secuencia carbonatada, ubicada en la parte occidental de la Falla Longitudinal. Sus afloramientos se ubican al oeste de Colquijirca y están representados por los cerros Lachipana, Viscajaga, Puca Ingenio, Pumarrín, Huagato y San Cristóbal, en el área de San Gregorio en el cerro Gualquepaqui, esta Formación a su vez alberga la mineralización de San Gregorio, las calizas del Grupo Pucará, tienen una coloración grisácea y, presentan una morfología suave a ondulada, con algunos relieves kársticos y muy eventualmente con colinas; cuya conductividad hidráulica variaría de media a alta en las zonas de karst.

Formación Pocobamba

Esta Formación, está conformada por sedimentos continentales terciarios, que afloran en 3 unidades en el distrito de Gollayrisquizga:

Miembro Cacuán

Este miembro aflora al NO de Cerro de Pasco, hasta el pueblo de Yurajhuanca. Hacia el flanco occidental del cerro Lachipana presenta una serie denominada Capas Rojas de Sacra Familia, que en parte puede ser un equivalente lateral del Miembro Cacuán. Consiste en arcilítas limosas, limolitas, areniscas y conglomerados con cemento calcáreo. Los componentes líticos de esta unidad, predominantemente son calizas grises oscuras provenientes de la Fm. Chambará, contiene también clastos de areniscas rojas, provenientes de las areniscas Mitu. Se encuentra suprayacente en discordancia angular de bajo ángulo sobre el Pucará Occidental y localmente sobre el Conglomerado Mitu. Su espesor se calcula en más de 100 m. EL miembro Cacuán posee materiales con conductividades hidráulicas moderadas a bajas

Miembro Conglomerado Shuco

En el tajo Colquijirca, se encuentra profundizada, y suprayace discordantemente cortando al Grupo Mitu. Tal como lo indican los sondeos geológicos exploratorios efectuados en el área de Marcapunta, su espesor sobrepasa los 100 m. Esta unidad litoestratigráfica posee moderada a baja conductividad hidráulica.

Miembro Calera

Constituido por secuencias carbonatadas (dolomías margas y calizas con abundante chert), arcillitas y calizas margosas con nódulos micríticos ostracoides, bioclastos y rizomorfos, las cuales son intersectadas por la mina subterránea Macapunta Norte. En general este miembro posee mediana conductividad hidráulica y se divide en 3 unidades:

Calera Inferior: Los registros geológicos de los sondajes diamantinos B-15, B-5, TN3-218-95 y S.D. 88, indican un espesor de hasta 55 m para esta unidad, a la vez que permiten reconocer dos sub componentes litológicos:

- **Unidad Inferior:** Constituido por una alternancia de niveles conglomerádicos, tobáceos y arcillosos. Los niveles conglomerádicos tienen espesores de hasta los 5 m, estando constituidos esencialmente por rodados calcáreos negros y blanquecinos, rodados rojos de areniscas, fragmentos de cuarzo lechoso, englobados en una matriz areniscosa de color rojo. La talla mayor de estos rodados es de 9 cm. Los niveles tobáceos son de color verde claro, con abundante biotita, feldespatos, granos de cuarzo y algunos milimétricos clastos angulosos de chert negro. Los niveles arcillosos son de color rojo ocre y generalmente tienden a pasar a limolitas con estructura concrecionaria, presentando en algunos tramos, abundantes feldespatos, así como trazas de biotita. Todas estas litologías están cortadas por venillas de yeso, a la vez que ciertos tramos presentan moderada a intensa decoloración, derivando en colores grises a blanquecinos y verdosos cuando se trata de hidrólisis, especialmente para los niveles tobáceos.
- **Unidad Superior:** La litología predominante, son calizas cremas intercaladas con milimétricos niveles arcilíticos negros bituminosos (calizas varvadas), calizas en estratos gruesos (hasta 1 m de espesor) con madrigueras y huellas de bioturbaciones y calizas margosas gris verdosas con estructura concrecionaria. Estos carbonatos se intercalan con niveles tobáceos grises a gris azulinos, con abundantes granos de cuarzo milimétricos y clastos angulosos, también milimétricos, de chert negro. La ocurrencia de niveles dolomíticos puede deberse a la actividad hidrotermal, pues muchas de éstas presentan trazas de pirita diseminada y en venillas. En los sectores de Smelter y Marcapunta Norte, dicha secuencia se encuentra silicificada y reemplazada masivamente por sulfuros.

Calera Medio: Con un espesor de 60 m aproximadamente y cuya litología predominante son calizas Mudstones; grises, pardas y beige, en estratos mayormente gruesos (> 1 m de espesor) e incipientes texturas de disolución. Hacia el techo es usual la presencia de niveles de calizas margosas y margas gris verdosas. La presencia de material detrítico no es muy abundante, sólo a través de ocasionales niveles tobáceos y como componentes de algunos niveles calcáreos detríticos.

- Estas calizas masivas, hacia el Este, gradualmente van pasando a calizas margosas y margas rojas y verdosas con importante contenido detrítico (limolitas) y escasa presencia de niveles de calizas gris blanquecinas, cuyos estratos no suelen pasar el metro de espesor. Por consiguiente, el desarrollo de cuerpos mineralizados en estas facies es más restringido, también se observan niveles de limoarcillitas de escasa potencia que pueden ser de color gris azulado, gris verdoso, gris oscuro, e incluso negro que son generalmente lutitas y que son ricas en materia orgánica. Así también, niveles puntuales y delgados de tobas gruesas y finas levemente argilizadas en los Flancos Mercedes y Chocayoc. El núcleo del anticlinal Mercedes-Chocayoc, en el tajo Norte, expone esta litología.

Calera Superior: En el área del proyecto se presenta una secuencia compacta conformada por estratos de moderada potencia (0.5-1.5 m). Consiste generalmente, hacia la parte inferior, de calizas y dolomías con fina estratificación e intercalación de milimétricos niveles arcilíticos negros bituminosos, que constituyen las denominadas dolomías varvadas; éstas a su vez, constituyen el límite superior de la mineralización de tajo Norte. Por encima de estas dolomías varvadas se presentan secuencias calcáreas gris claras en estratos gruesos (> 1 m) con presencia de regulares niveles de calizas bioclásticas, a las que siguen importantes niveles de calizas margosas y margas. Los niveles tobáceos también constituyen un rasgo distintivo y están presentes en toda la columna de éste miembro, siendo la mayoría de ellas retrabajadas y que evidencian una actividad volcánica distal contemporánea con la depositación de los sedimentos del Miembro Calera. Niveles arcilíticos y limolíticos son también característicos en éste miembro, muchos de ellos han servido como canalizadores de los fluidos hidrotermales. Estos sedimentos son

de colores grises azulinos a marrones y negros, con importante contenido de materia orgánica.

- Esta secuencia del miembro Calera, en el área de estudio es estéril con niveles puntuales y delgados con leve dolomitización y oxidación, escaso vetilleo de calcita. Así mismo, se presentan secuencias piroclásticas de grano grueso y fino, en una matriz argilizada (arcillosa).

Rocas Volcánicas Complejo Volcánico de Marcapunta

Está conformado por múltiples eventos dómicos, formando un lacolito alrededor de un diatrema principal, constituido por brechas piroclásticas, freatomagmáticas y un conjunto de domos coalescentes o anidados de composición dacítica en forma de hongos o lacolitos que intruyen un paleorelieve a modo de un bajo gravimétrico de más o menos 800 m de diámetro, ubicado en la parte central del complejo Marcapunta. El piezómetro HG-MN-3, desde el collar del sondaje hasta su profundidad final, atravesó estas rocas volcánicas, conformadas por dacíticas porfíricas con leve alteración fílica hasta los 102.00 m de profundidad, las cuales, en general poseen poca conductividad hidráulica.

Depósitos Piroclásticos

Estos depósitos corresponden a una serie de brechas polimícticas con elementos de caliza, cuarzo lechoso, filitas, areniscas en matriz de cuarzo fragmental, depositadas a manera de nubes ardientes, producto de explosiones del tipo base surge, que aparentemente marcan el inicio de diferentes episodios de domos dacíticos coalescentes

En Marcapunta Norte se ha identificado dos niveles: el primero, cubre el paleorelieve Calera, rellenando depresiones topográficas; el segundo, más delgado y menos expuesto, se emplaza en medio de domos dacíticos y tiene una geometría lenticular.

En la parte central de Marcapunta Sur, muy cerca a la trinchera Montura, se presentan con niveles de granulometría arenosa con pseudo-estratificación o laminación gradada asignadas como depósitos base surge, emplazados también sobre domos dacíticos y cubiertos a su vez por el domo Montura, más reciente, que tiene una geometría aparentemente sub-horizontal.

Domos de Dacitas Superiores

Las dacitas porfiríticas son las rocas predominantes en el complejo volcánico Marcapunta, configuran múltiples domos y diques superpuestos uno sobre otros, cuyos límites pueden estar marcados o no por eventos piroclásticos; en conjunto estos domos se disponen a manera de “hongo” o lacolito, en o alrededor de la diatrema que intruye a sedimentos del Calera principalmente. Los hay de edad pre-alteración, como por ejemplo los que afloran en la cumbre del cerro Marcapunta y post-alteración, como es el caso del domo “Montura” que en realidad es un domo resurgente, significativamente más joven. En esta misma zona, destaca un dique dacítico NNW, subvertical con un bandeamiento de flujo espectacular que marca el límite Oeste de la diatrema y parece prolongarse hasta niveles profundos.

En el afloramiento se encuentran alterados e intemperizados y es posible encontrar también bandeamientos de flujo. La roca tiene textura porfirítica, la biotita generalmente no se preserva debido a la alteración hidrotermal o meteorización. Hidráulicamente, estos domos presentan una mediana a baja conductividad hidráulica.

Criptodomos y Sills de Dacita

Numerosos criptodomos y sills intra-mineral cortan al horizonte prospectivo y areniscas Mitu. Son múltiples intrusiones de dacita porfirítica de composición similar a las anteriores que configuran criptodomos, sills, y diques de geometría preferentemente sub-horizontal que se emplazan en un ambiente confinado, con potencias variables de algunos metros hasta decenas o centenas de metros de espesor y que se hacen más potentes en su cercanía a la diatrema. Se

diferencian de los domos superficiales porque éstos vienen asociados a mineralización de calcosita-covelita y aparentemente no afloran en superficie. La conductividad hidráulica de estos materiales es baja.

Brechas

Como en todo complejo volcánico, existen numerosas ocurrencias de brecha relacionadas a las actividades magmática e hidrotermal que atraviesan a las demás unidades. Para efecto de este manual las agruparemos en tres tipos: freatomagmáticas, tufisitas / Pebble Dike, e hidrotermales; en muchos casos es difícil establecer diferencia entre ellas. Poseen espesores variables hasta de más de 100 m. En general, estas brechas son rocas que poseen moderada conductividad hidráulica.

Depósitos Cuaternarios

En el área de estudio se presentan varios tipos de estos depósitos, los cuales se hallan cubriendo a las rocas anteriormente descritas y se caracterizan por tener conductividades hidráulicas altas a muy altas a excepción de los bofedales que se caracterizan por pocas conductividades hidráulicas comportándose como un medio acuitardo, en el área del proyecto tenemos los siguientes depósitos cuaternarios.

Depósitos Glaciares-Morrenas

Constituidos por una mezcla mal gradada de limos, arcillas, arenas y gravas de variados tamaños, los cantos rodados y granos varían desde sub angulosos hasta sub redondeados, se hallan moderadamente compactadas, de espesor muy variable. En el área de la mina estos depósitos se encuentran como relleno, cuyo espesor no es relevante. Algunas de las áreas donde se aprecia es en las laderas del cerro San Cristóbal, al sur de la laguna Angascancha, al noroeste de la laguna Yanacocha, a los alrededores de las lagunas Cuchis Grande y Cuchis Chico.

Depósitos Fluvioglaciares

Constituido por arenas y gravas poco consolidadas con matriz de limos, se hallan aflorando generalmente en las cabeceras y en las márgenes de algunas quebradas, donde alcanzan su mayor espesor.

Depósitos Aluviales

Conformados por arenas y gravas mal gradadas, con fragmentos angulosos a sub redondeados, inconsolidados y de composición polimíctica, con espesores variables que generalmente rellenan el fondo de quebradas y valles, se ubican depositados en las quebradas existentes en la zona y en el cauce del río San Juan, en la zona de San Gregorio estos depósitos llegan a tener hasta 110 m de espesor.

Bofedales

Son formaciones hidromórficas alimentadas por afloramientos permanentes de agua subterránea, estas unidades geológicas retienen agua ya que son hidráulicamente poco conductivos, generándose es esta gran biodiversidad; se ubican en el lecho de algunas quebradas, así como en algunas laderas de pendiente suave, donde el drenaje es deficiente y donde los suelos son compuestos por gravas, arenas y limos. Contienen vegetación hidrofílica de alta montaña, con abundante materia orgánica de color gris oscuro a marrón grisáceo.

ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

En el área de Colquijirca, los estratos están fuertemente plegados, dando origen a anticlinales y sinclinales, cuyos ejes tienen rumbo NNW y, un buzamiento suave del eje hacia el Sur, cuya ocurrencia habría sido antes de la mineralización e incluso antes de la intrusión. Ver figura 9,10 y 11. Regionalmente, en el área de estudio, existen las siguientes estructuras:

Fallas Mayores

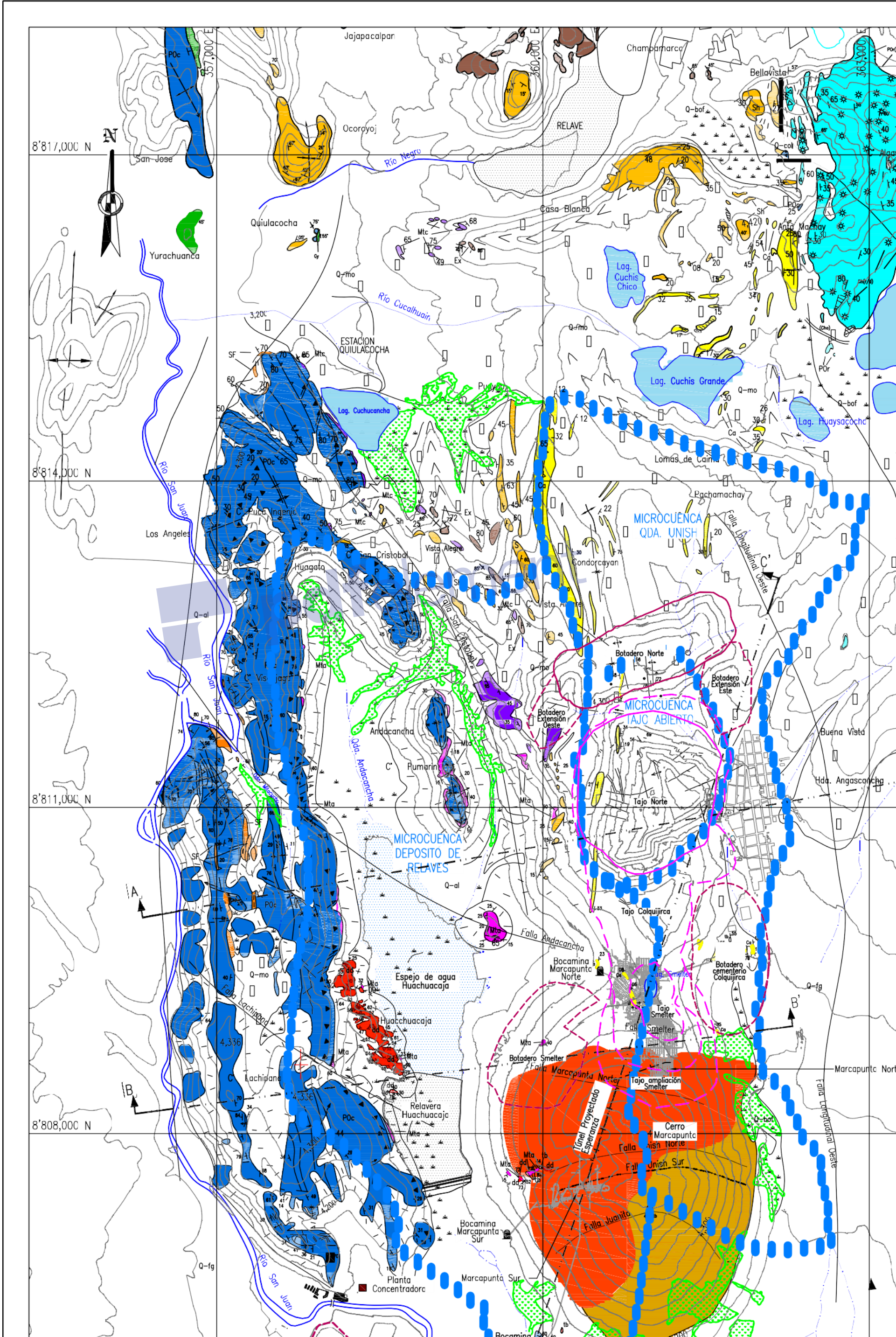
Las siguientes, son fallas longitudinales paralelas a los ejes de plegamiento:

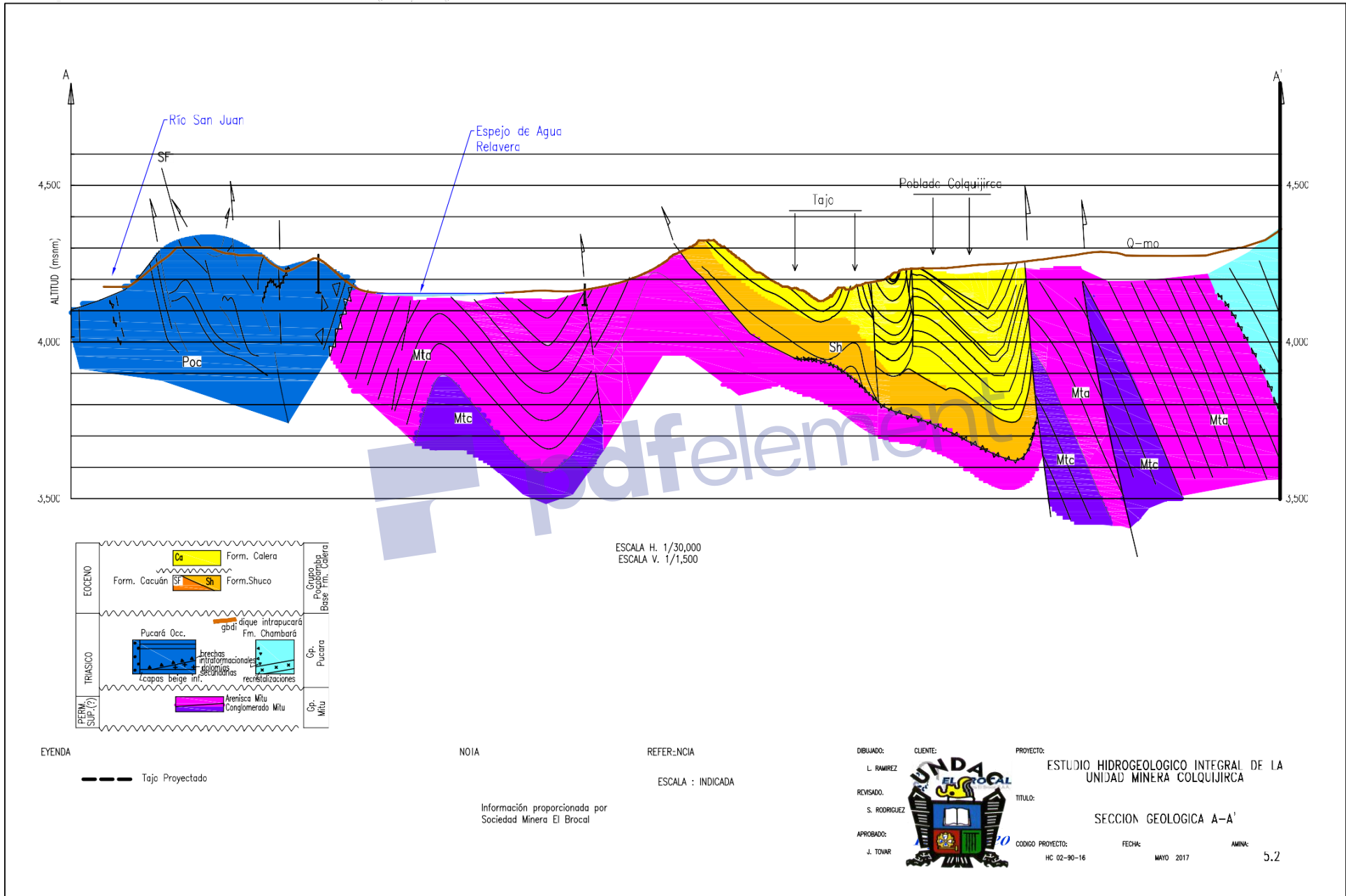
- Falla Longitudinal Este. Con rumbo NW-SE, se halla ubicada al Este de Marcapunta y del poblado de Colquijirca, a la altura de Buenavista, se evidencia desde la laguna Yanamate hasta la altura del cerro San Cristobal.
- Falla Longitudinal Oeste. Al igual que la anterior tiene rumbo NW-SE, se halla ubicada al Oeste de Buenavista y Este de Colquijirca, se evidencia desde Pachamachay hasta la altura de Marcapunta Sur.
- Falla Río San Juan. Con rumbo NS, se halla siguiendo el lineamiento del río San Juan.

Fallas Menores

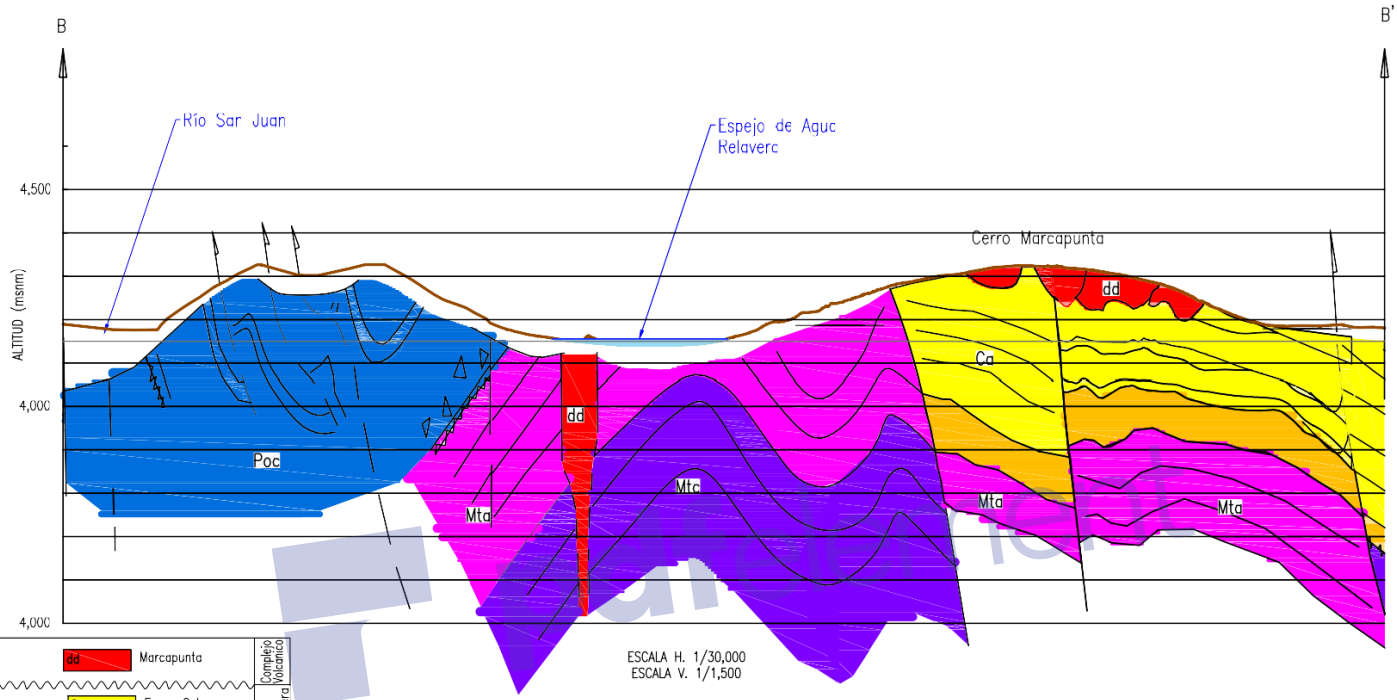
Principalmente, son fallas transversales a los ejes de plegamiento:

- Falla San Cristobal. Con rumbo NW-SW, se ubica al W del tajo y se proyecta hasta San Cristobal.
- Falla Andacancha. Con rumbo NW-SE, se ubica al SW del tajo y se proyecta hasta el río San Juan.
- Falla Lachipana. Con rumbo NW-SE, se ubica al NW de Marcapunta Norte y desde la parte baja de la relavera Huachuacaja hasta el río San Juan.
- Fallas en el área del tajo, con rumbo EW.
 - Falla Norte.
 - Falla Colquijirca.
- Fallas en el área de Marcapunta, con rumbo EW.
 - Falla Smelter.
 - Falla Marcapunta Norte.
 - Falla Unish Norte.
 - Falla Unish Sur.
 - Falla Juanita.





POR : User
 RUTA : D:\HG\PROYECTOS\PROYECTOS BROCAL LAMINAS\DFG\Finales\Lamina 5.2_5.3 Sección Geológica A-A' y B-B'.dwg



ESCALA H. 1/30,000
 ESCALA V. 1/1,500

MIOCENO	dd	Marcapunta	Complejo Volcánico
EOCENO	Ca	Form. Calera	Grupo Pucará (Base Trh. Calera)
	SI Sh	Form. Cacuán Form. Shuco	
TRASISCO	Pucará Occ.	brechas intratormacionales dolomías secundarias Zcapas beige inf.	Gr. Pucara
PERU SUP. (?)	Mtu	Arenisca Mtu Conglomerado Mtu	Gr. Mtu

EYENDA

— Niveles de minado

NOIA

Información proporcionada por
 Sociedad Minera El Brocal

REFERENCIA

ESCALA : INDICADA

DIBUJADO:

L. RAMIREZ

REVISADO:

S. RODRIGUEZ

APROBADO:

J. TOWAR

CLIENTE:



PROYECTO:

PROYECTO:

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO INTEGRAL DE LA
 UNIDAD MINERA COLQUIJRCA

TITULO:

SECCION GEOLOGICA B-B'



CODIGO PROYECTO:

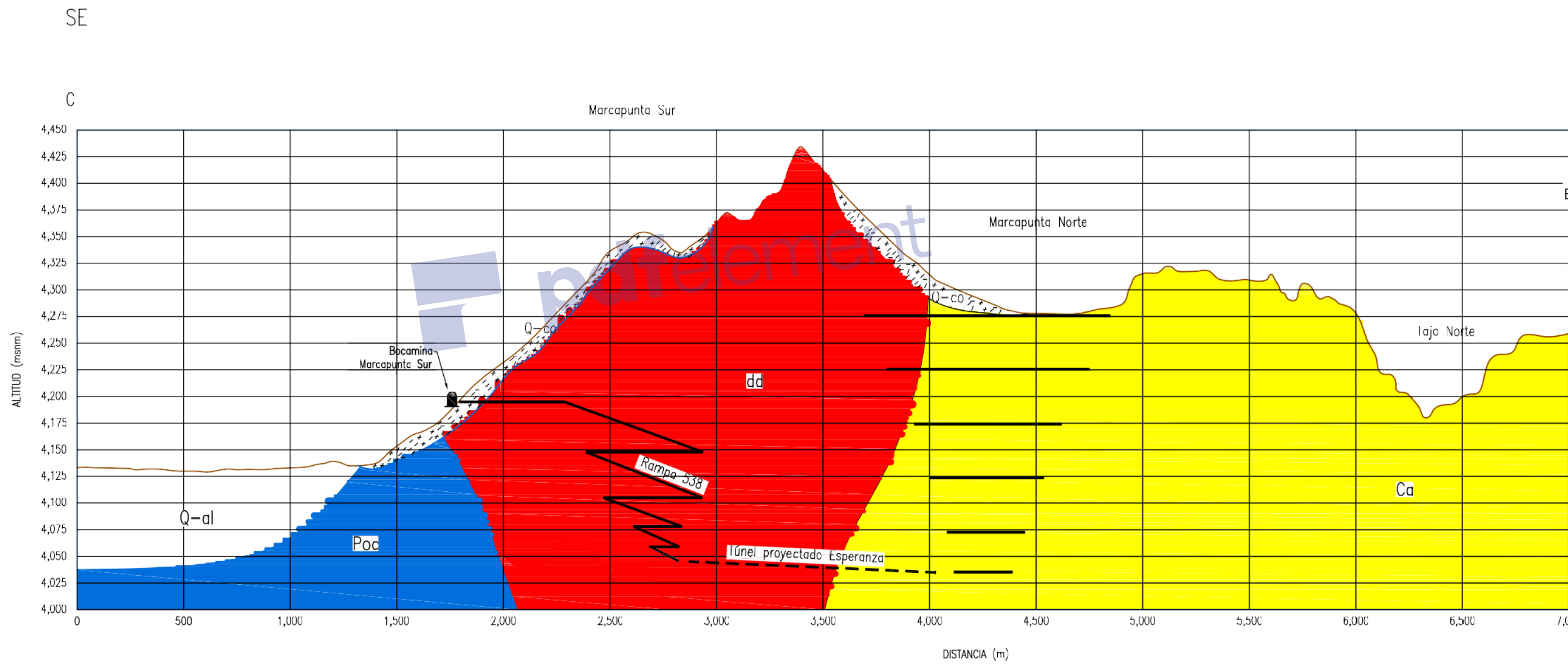
HC 02-90-16

FECHA:

MAYO 2017

ANINA:

5.3



ESCALA H. 1/25,000
 ESCALA V. 1/5,000

CUATERNARIO	coluvial Q-col bloques	fluvio-glacial y aluvial Q-fc Q-al	
MIOCENO	dd	Marcapunta	Complejo Volcánico
EOCENO	Ca	Form. Calera	Grupo Pocobarrabá s.e. Fm. Calera

4.2.2 HIDROGEOLOGIA

4.2.2.1 INVESTIGACIONES HIDROGEOLOGICAS

El programa de investigaciones hidrogeológicas mediante la perforación, representa un componente importante del estudio hidrogeológico; por ello, para este estudio se planteó la perforación de nuevos piezómetros, debido, a que si bien es cierto, para estudios anteriores se han instalados piezómetros, la gran mayoría de ellos ya no existen actualmente, no están habilitadas, han quedado colgados o se ha perdido la información con la cual se contaba; por este motivo, se ha realizado un programa de investigaciones hidrogeológicas con instalación de piezómetros tipo casa grande y de cuerda vibrante, distribuidos de tal forma que cubran el área de estudio y con el fin de que estos perduren en el tiempo y sean incluidos como piezómetros de monitoreo ante el EIA. Los criterios que se han considerado para la ubicación de estos piezómetros son:

- Aguas arriba y aguas abajo de cada uno de los componentes (botadero Norte, tajo Colquijirca, mina subterránea Marcapunta Norte, mina subterránea Marcapunta Sur).
- La cercanía a las fuentes de agua, tales como: ríos, bofedales, quebradas, entre otros, que podrían ser afectados.
- La cercanía al área de minado para monitoreo de las variaciones del nivel de agua.

Tabla 12. Objetivo de los Piezómetros Instalados

PIEZOMETRO	UBICACION	OBJETIVO
PZ-CN-1	Tajo Norte	Monitorear la relación del flujo de agua subterráneo entre el botadero Norte y el Tajo Norte
PZ-CN-2		Monitorear la relación del flujo de agua subterráneo entre el Tajo Norte y el minado subterráneo de Marcapunta Norte
PZ-CN-3		Monitorear la relación del flujo de agua subterráneo entre el Tajo Norte y la relavera Huachuacaja
PCV-1 (*)		
PCV-2 (*)		Monitorear la relación del flujo de agua subterráneo entre el Tajo Norte y el pueblo de Colquijirca

Las perforaciones diamantinas han permitido definir la geología, estructuras y las unidades hidrogeológicas asociadas a las rocas atravesadas; además de determinar el nivel piezométrico, los parámetros hidráulicos y el caudal del agua subterránea en el área de estudio, a su vez las instalaciones de estos piezómetros tienen como fin contar con pozos de monitoreo de nivel y calidad del agua subterránea.

Tabla 13. Características de los Piezómetros Instalados

SONDEO/ PIEZOMETRO	COORDENADAS UTM WGS 84 -18 S		COTA COLLAR (msnm)	PROFUNDIDAD PERFORACION (m)	PIEZOMETRO	
	Este	Norte			Profund. Instalación (m)	Tramo Ranurado (m)
Tajo Norte						
PZ-CN-1	8'811,787	360,584	4,324	330.00	292.00	115.00 - 292.00
PZ-CN-2	8'810,252	360,598	4,305	300.00	300.00	70.80 – 298.00
PZ-CN-3	8'810,671	360,168	4,293	149.60	149.60	61.30 - 146.90

4.2.2.2 PRUEBAS HIDRÁULICAS

A continuación, se detallan las pruebas de conductividad hidráulica realizadas por Hydro-Geo en los sondeos para la obtención de los parámetros hidráulicos del acuífero y para la complementación de la información existente que será utilizada en el desarrollo del presente estudio hidrogeológico.

Durante el avance de perforación y después de la instalación de los piezómetros, se realizaron un total de 44 pruebas hidráulicas mediante inyección de agua a caudal variable y constante (tipo Lefranc) y mediante extracción de agua con aire comprimido (Air Lift),

Tabla 14. Ensayos de Conductividad hidráulica Tipo Lefranc en los Piezómetros del Tajo Instalados en el 2016

PIEZOMETRO	TIPO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO (m)		CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA		LITOLOGIA TRAMO DE ENSAYO
		Tope	Base	(cm/s)	(m/día)	
PZ-CN-2B	Carga Constante	24.00	28.00	2.73E-05	2.36E-02	Caliza Fracturada
		45.00	52.00	6.25E-04	5.40E-01	
		61.40	67.00	5.68E-04	4.91E-01	Zona de Falla
		222.40	227.40	6.62E-04	5.72E-01	Conglomerado
		240.20	244.60	4.31E-04	3.72E-01	Brecha
	Carga Variable	45.50	52.00	6.08E-07	5.25E-04	Caliza Fracturada
		61.40	67.00	2.80E-07	2.42E-04	Brecha
		122.70	130.20	8.53E-07	7.37E-04	Caliza Fracturada
PZ-CN-3	Carga Constante	75.00	85.50	8.83E-04	7.63E-01	Limolitas
		95.00	100.00	2.48E-04	2.14E-01	
		109.40	115.40	7.76E-04	6.70E-01	
	Carga Variable	262.05	268.05	6.24E-05	5.39E-02	
PCV-1	Carga Variable	43.00	49.00	1.14E-02	9.85E+00	Caliza y Dolomias
		78.60	87.70	2.71E-03	2.34E+00	
		94.20	100.20	3.35E-05	2.89E-02	Conglomerado
		196.00	202.00	1.11E-03	9.59E-01	
		273.70	279.70	1.91E-05	1.65E-02	
PCV-2	Carga Variable	76.00	80.90	8.92E-05	7.71E-02	Zona Mineralizada
		88.20	93.40	3.03E-04	2.62E-01	Caliza Fracturada
		137.70	143.70	5.61E-06	4.85E-03	Conglomerados

Los valores de conductividad hidráulica encontrados durante las pruebas de permeabilidad, fueron los siguientes:

- Las areniscas del Grupo Mitu presentan una conductividad hidráulica promedio de 1.55E+01 m/d, variando entre 3.07E+01 m/d y 2.55E-01 m/d.
- Las calizas de la Formación Calera tienen una conductividad hidráulica promedio de 1.41E-01 m/d, que varía desde 7.37E-04 m/d a 1.41E-01 m/d.
- Las limolitas de la Formación Mitu tienen una conductividad hidráulica promedio de 3.31E-01 m/d, que varía entre 8.04E-02 m/d y 1.61E+00 m/d.
- Las brechas de la Formación Shuco tienen una conductividad hidráulica promedio de 1.86E-01 m/d.
- Las fallas encontradas durante la perforación tienen una conductividad hidráulica promedio de 4.94E-01 m/d.

Adicionalmente a estas pruebas, en 8 piezómetros se realizaron pruebas Air Lift y de recuperación durante el desarrollo de los piezómetros, cuyos resultados se muestran en el Tabla 15. La realización de las pruebas Air Lift, también confirma que el agua contenida en cada piezómetro no sería agua de perforación, sino que es agua propia del acuífero atravesado

Tabla 15. Pruebas Air Lift en los Piezómetros Instalados

PIEZOMETRO	TRAMO DE ENSAYO (m)		TRANSMISIVIDAD (m ² /día)	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA		LITOLOGIA TRAMO DE ENSAYO
	De	A		(m/s)	(m/día)	
HG-MN-1	154.50	298.50	1.43E+00	2.38E-03	2.06E+02	Areniscas y Limolitas
HG-MN-2	130.00	250.00	4.23E-01	5.88E-04	5.08E+01	Dolomías, Margas, Volcanoclastos, Conglomerados y Brecha Volcánica
HG-MS-1	33.00	217.00	1.78E+00	3.79E-03	3.28E+02	Brecha, arenisca y Limolita
HG-MS-2	25.40	228.00	3.79E+00	8.89E-03	7.68E+02	Limolita, Arenisca, Conglomerado, Dacita
HG-MS-3	3.00	97.00	4.40E-02	4.79E-05	4.14E+00	Areniscas y Limolitas
PZ-CN-1	120.00	292.00	6.66E-01	1.33E-03	1.15E+02	Caliza, Dolomías, volcano clastos, conglomerado
PZ-CN-2B	37.00	300.00	2.84E+00	8.64E-03	7.47E+02	Brecha, Caliza, conglomerados en matriz carbonatada
PZ-CN-3	13.00	149.60	1.05E+00	1.66E-03	1.43E+02	Limolitas

4.2.2.3 HIDRODINAMICA SUBTERRANEA

4.2.3.1 Parámetros Hidráulicos

Con la finalidad de determinar los parámetros hidráulicos del medio acuífero subterráneo, así como investigar la dinámica y las características hidráulicas del acuífero, en esta fase del estudio se ha interpretado también las pruebas hidráulicas realizadas en años anteriores, durante la perforación de sondeos hidrogeológicos.

Tabla 16. Rangos de Conductividad Hidráulica

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA APARENTE	RANGOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/d)	
	De	A
Muy Permeable	1.E+04	1.E+03
Permeable	1.E+02	> E+00
Algo Permeable	< E+00	>E-02
Poco Permeable	<E-02	>E-04
Impermeable	<E-04	>E-07



Tabla 17. Conductividades Hidráulicas Asignadas a las Formaciones Geológicas de la UM Colquijirca

UNIDAD HIDROGEOLOGICA		PERMEABILIDAD APARENTE	TIPO DE ACUIFERO	LITOLOGIA	FORMACION	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA PROMEDIO (m/d)
U-1	U-1a	Permeable	Acuífero libre, detrítico y fisurado cárstico	Material Aluvial Qda.Unish	Cuaternario	4.00E+02
	U-1b			Calizas	Formación Pucará Chambará	3.00E+01
U-2	Unidad Hidrogeológica Local	Algo Permeable	Acuífero libre, fisurado	Conglomerado coluvial	Cuaternario	5.00E+00
	Unidad Hidrogeológica Regional			Clastos Calcareos y conclomerados tobáceos en matriz arenosa	Formación Pocobamba (Miembro Calera y Shuco)	3.23E-01
	Unidad Hidrogeológica Local			Brechas, Dacitas fracturadas	Complejo Volcánico	2.43E-01
				Areniscas Fracturadas	Grupo Mitu	5.00E-01
				Limolitas Fracturadas		2.00E-01
U-3	Unidad Hidrogeológica Local	Poco Permeable	Acuitardo	Brechas y Dacitas, algo fracturadas	Complejo Volcánico	6.00E-02
U-4	Unidad Hidrogeológica Regional	Cuasi_Impermeable	Basamento	Areniscas y limolitas Compactas	Grupo Mitu	1.00E-04
				Brechas, Dacitas compactas	Complejo Volcánico	

Los valores obtenidos en la Formación Mitu y complejo volcánico, corresponden a estratos superficiales respectivamente, aquellos que se encuentran fracturados e intemperizados, a mayor profundidad se presentan compactos con muy baja a nula conductividad hidráulica, aún no se han realizado pruebas en las calizas Chambará y Pucará sin embargo se ha asumido un valor de conductividad hidráulica promedio de acuerdo a la litología (según, Custodio y Llamas), esta permeabilidad podrá ser confirmada con las perforaciones que están pendientes de ejecutarse para este estudio, así mismo se ha podido observar que las fallas locales del Tajo Norte y las que se encuentran en Marcapunta Norte – Sur estarían actuando como barrera debido a que estas se encuentran rellenas de panizo, material fino cuyas características de conductividad hidráulica son muy bajas a nulas

Unidades Hidrogeológicas

La UM Colquijirca se encuentra ubicada en un sistema de plegamientos Norte - Sur, en la cual las fallas mayores se emplazan paralelas al sistema de plegamientos; las rocas que afloran en la zona de estudio pertenecen al Miembro Calera y Conglomerado Shuco (Eoceno), formaciones Chambará y Pucará (Triásico Superior) y la Formación Mitu (Pérmico Superior) y Volcánico Rumiallana. La Formación Pucará y Chambará conformadas principalmente por sucesiones de calizas que forman sinclinales y anticlinales, algunos de ellos muy apretados, principalmente sinclinales y los anticlinales se presentan muy fracturados en su cresta, lo que facilitaría la infiltración del agua y el intemperismo de los mismos facilitando procesos de carstificación.

De acuerdo a los datos de conductividad hidráulica obtenidos, se ha podido determinar las siguientes unidades hidrogeológicas:

Unidad Hidrogeológica U-1 (Acuífero Libre, Detrítico y Fisurado)

Esta unidad está conformada principalmente por dos tipos de materiales litológicos, en los cuales se realizó una subdivisión de las unidades hidrogeológicas, de acuerdo a las conductividades hidráulicas obtenidas:

- **U-1a: Unidad hidrogeológica local**, constituida por depósitos cuaternarios, detríticos e inconsolidados, de origen aluvial, esta unidad aflora localmente en el cauce de la quebrada Unish, facilitando la infiltración del agua que discurre por la quebrada al acuífero subterráneo, con conductividad hidráulica de $4.00E+02$ m/d, en el cual se aloja un acuífero libre sub-superficial.
- **U-1b: Unidad Hidrogeológica Regional**, constituida por rocas carbonatadas fisuradas, principalmente calizas de la Formación Pucará y Chambará, medianamente carstificadas, esta unidad se encuentra aflorando, en la comunidad de Sacrafamilia en la parte Oeste de la UM Colquijirca y al Este por las Lagunas Yanamate, Chaquicocha y Angascancha, con lo cual la filtración que se pudiesen generar de las lagunas, en especial de la laguna Yanamate, que contiene agua ácida, son neutralizadas por las calizas Chambará. En general esta unidad tiene una conductividad hidráulica promedio de $3.00E+01$ m/d aproximadamente, caracterizando un acuífero libre.

Unidad Hidrogeológica U-2 (Acuífero Libre, Fisurado)

Compuesta principalmente por rocas fisuradas:

- **Formación Pocobamba**. Unidad hidrogeológica Regional, conformada por clastos Calcareos y conglomerados tobáceos en matriz arenosa del miembro Calera y Conglomerado Shuco, los cuales se muestran aflorando en la zona del tajo Norte y en Marcapunta Norte con una conductividad hidráulica de $3.23 E-01$ m/d.
- **Complejo Volcánico**, Unidad hidrogeológica Local, conformado por brechas, Dacitas fracturadas, las cuales se evidencian en el domo de Marcapunta, tanto en la mina subterránea Marcapunta Norte como en Marcapunta Sur, con una conductividad hidráulica de $2.43E-01$ m/d.
- **Grupo Mitu**, Unidad hidrogeológica Local, conformada por areniscas fracturadas, la cual se evidencio a través de los piezómetros instalados, en la zona Oeste del Tajo y de Marcapunta Norte – Sur, con una conductividad hidráulica de $5.00E-01$ m/d.

- **Grupo Mitu**, Unidad Hidrogeológica Local, constituida por Limolitas fracturadas, al igual que la unidad anterior, esta unidad se evidencio a través de los piezómetros instalados, en la zona Oeste del Tajo y de Marcapunta Norte – Sur, con una conductividad hidráulica de $2.00E-01$ m/d.
- Algunos materiales cuaternarios con presencia de finos, se clasificaron como una unidad hidrogeológica local, constituida por algunos materiales coluviales cuya conductividad hidráulica es de $5.00E+00$ m/d, la cual ha podido ser evidenciada en las partes bajas de Marcapunta Norte – Sur y en el Tajo Norte. Esta unidad se comporta como un acuífero libre.

Unidad Hidrogeológica U-3 (Acuitardo)

Esta unidad se halla conformada por depósitos morrénicos limosos y bofedales de muy baja conductividad hidráulica, además de brechas y dacitas algo fracturadas, cuya conductividad hidráulica sería de $6.00E-02$ m/d, comportándose como una unidad hidrogeológica local y como un acuitardo, los depósitos morrénicos y bofedales se evidencia muy localmente al Oeste de la Relavera Huachuacaja, en las partes bajas de Marcapunta Norte - Sur y aguas arriba de las lagunas Yanamate, Huaysacocha y Angascancha y las brechas y dacitas de esta unidad hidrogeológica se muestran a partir de la proyección del túnel Esperanza.

Unidad Hidrogeológica U-4 (Basamento Impermeable)

Constituido por areniscas y limolitas del Grupo Mitu y por materiales volcánicos compactos, con una conductividad hidráulica de $1.00 E-04$ m/d aproximadamente. Esta unidad, se ha podido identificar en algunas de las perforaciones cerca de la relavera Huachuacaja a unos 25-30m de profundidad desde la superficie, pero se estima que en otras zonas se encontraría a una profundidad mayor a la cota 3,900 n.s.n.m. y actúa como barrera o basamento impermeable.

Morfología de la Napa Freática

Para la elaboración del mapa piezométrico, se ha tomado como referencia los niveles de agua registrados tanto por los piezómetros pre-existentes como por los piezómetros implementados por SMEB y por Hydro-Geo en febrero del 2017. Asimismo, se han tomado como referencia los afloramientos del agua subterránea, a través de manantiales, filtraciones y bofedales identificados tanto en superficie como en interior mina (Marcapunta Norte – Sur). Ver figura 12.

El flujo regional del agua subterránea en la UM Colquijirca ocurre desde el Norte y Noreste hacia el Sur; siendo este el flujo principal que ingresa hacia las zonas de minado, así mismo la relavera solo presenta un flujo sub superficial en su lecho, a través del material cuaternario, pero debido a que se emplaza sobre rocas de muy baja permeabilidad (Formación Mitu y dacitas) que actúan como basamento impermeable que genera una divisoría subterránea de agua, no hay flujo subterráneo de la relavera hacia otras zonas, como son: hacia el Tajo Norte, Marcapunta Norte -Sur, sin embargo aguas debajo de la relavera hacia el río San Juan; si la relavera no se encontrara revestida por geomembrana podría haber una pequeña influencia de la relavera hacia el río, lo cual no ha sido identificado, por el contrario en el muestreo de los piezómetros de la relavera Huachuacaja las agua tienden a ser ligeramente alcalina a alcalinas,

Así mismo, se identificó una divisoria de agua subterránea, entre el Tajo Norte y Marcapunta Norte, y entre Marcapunta Norte y Marcapunta Sur, que direcciona los flujos de agua subterránea en sentido contrario.

A partir de la morfología de la napa freática local y regional definida por las curvas de isopiezas, se ha determinado el comportamiento del agua subterránea desde sus nacientes hacia las quebradas y hacia las labores mineras.

De acuerdo se define que las aguas subterráneas de la UM Colquijirca discurren en dirección Sur, desde la divisoria con el valle del río Cocalhuain hacia el Sur, hacia el río San Juan en las inmediaciones del proyecto San Gregorio, en la zona de la pampa de Vicco. Localmente tanto en el tajo Norte como en las minas

subterráneas Marcapunta Norte y Sur se generan depresiones del nivel de agua debido al minado. Ambas minas actúan como pozos de bombeo en los que el agua subterránea fluye en forma radial hacia la parte más profunda, es así que los niveles más bajo de la napa freática se encuentra en la cota 4,025 msnm en Marcapunta Norte, 4,028 msnm en Marcapunta Sur y en el Tajo Norte la cota más baja del nivel de agua se encuentra entre 4,150 y 4,100 msnm. y su cono de depresión aún no ha sido interceptado por el cono de depresión de Marcapunta Norte.

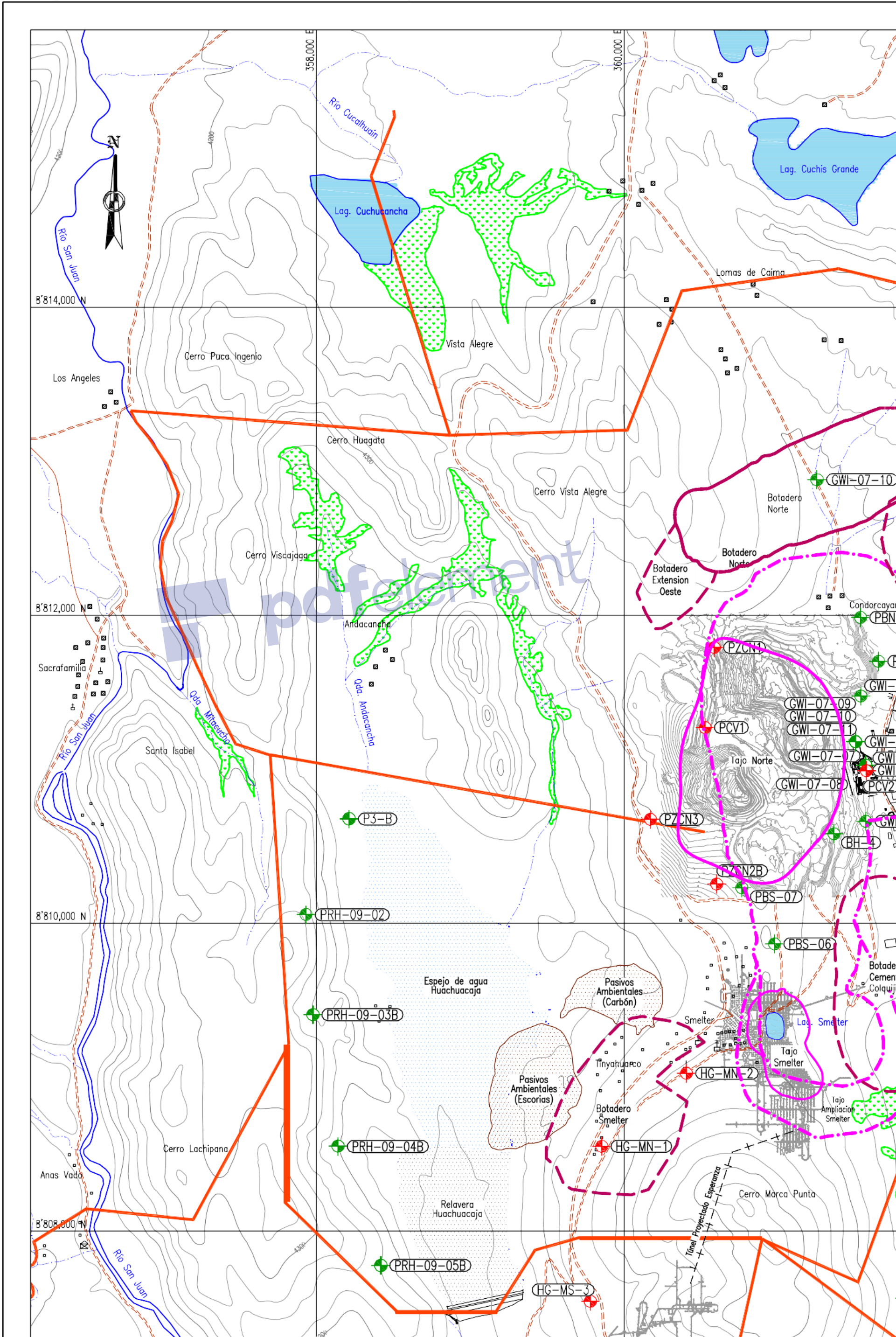
En relación a los botaderos existentes, debido a que estos poseen materiales finos, limitan la infiltración de agua hacia el acuífero generando por lo contrario una escorrentía subsuperficial que aflora muchas veces en la base de estos componentes, sin embargo, por precaución la base de estos debe ser impermeabilizada, ya que se ubicarían sobre la unidad U-2 (algo permeable).

En general, la napa freática evaluado regionalmente tiene un gradiente aproximado de 12.46%, desde la divisoria con la quebrada Cucalhuain hasta el río San Juan en la pampa de Vicco.

4.2.2.4 ZONAS DE RECARGA

Las principales zonas de recarga del agua subterránea en la mina Marcapunta Norte y Sur, proviene del agua que se infiltra en la quebrada Unish, alimentando al Nor-Este de Marcapunta; de la zona de la quebrada Huacchuacaja, alimentando al Oeste de Marcapunta y hacia el Sur de Marcapunta la recarga proviene del río San Juan.

POR : User
RUTA : D:\HG\PROYECTOS\PROYECTOS BROC\M\LAMINAS\DWG Finales\Lamina 6.1 Ubicacion de Piezómetros.dwg



4.2.2.5 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

Para definir el comportamiento hidráulico del agua subterránea (Modelo Hidrogeológico Conceptual) en el área de la UM Colquijirca, se han identificado y definido las unidades hidrogeológicas más importantes que gobiernan el flujo del agua, las cuales, en resumen, son las siguientes: ver figura 13

- **Unidad hidrogeológica U-1.-** Constituida por materiales permeables a muy permeables, correspondientes a algunos depósitos detríticos aluviales (unidad hidrogeológica local), además de las calizas fisuradas, medianamente carstificadas de las formaciones Pucará y Chambará (unidad hidrogeológica regional), las cuales en conjunto conforman acuíferos libres.
- **Unidad hidrogeológica U-2.-** Constituida por materiales algo permeables y fisurados, conformados por conglomerados del Miembro Calera y Shuco de la Formación Pocobamba (unidad hidrogeológica regional), así como por brechas, dacitas del complejo volcánico (unidad hidrogeológica local), areniscas y limolitas muy fracturadas del Grupo Mitu (unidad hidrogeológica local). Son acuíferos libres, cuyos afloramientos en las crestas de los cerros conforman las zonas de recarga. Esta es la unidad principal en el Tajo Marcapunta Norte y del Botadero Norte.
- **Unidad hidrogeológica U-3.-** Constituida por materiales detríticos poco permeables, conformados por depósitos heterogéneos limosos de origen glacial, los cuales se comportan como acuitardos, además de areniscas y limolitas poco fracturadas del grupo Mitu y las brechas y dacitas poco fracturadas (unidad hidrogeológica local). Esta unidad que se presenta con mayor potencia en la mina subterránea Marcapunta Norte – Sur.
- **Unidad hidrogeológica U-4.-** Constituida por materiales de baja a nula conductividad hidráulica, que estarían actuando como barreras impermeables. Esta unidad la conforman las areniscas y limolitas del Grupo Mitu y las rocas masivas volcánicas. Esta es la unidad principal de la relavera Huachuacaja

A partir de las unidades hidrogeológicas anteriormente descritas, es posible establecer el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero local, mostrado en

el cual define el comportamiento del agua subterránea contenida principalmente en las unidades U-1, U-2 y U-3 de la siguiente forma:

- El flujo regional del agua subterránea discurre principalmente de Norte a Sur, con un gradiente hidráulico de 12.46%. La zona de recarga de lluvias se ubica principalmente en el extremo Norte y Noreste de la UM Colquijirca
- El agua subterránea proveniente del extremo NE y NO discurre por debajo del Botadero Norte hacia el Tajo Norte, y por el Este del pueblo de Colquijirca también existe un flujo que discurre por debajo del pueblo e ingresa al tajo Norte desde donde es drenado para facilitar el minado, mediante un bombeo por pozos con un caudal entre 116.8 a 217.4 L/s en lo que va de este año, manteniendo el nivel del agua subterránea en el tajo Norte alrededor de 4,150 y 4,100 msnm. Entre el Tajo Norte y Marcapunta Norte, se genera una divisoria de agua subterránea, ello indica que aún no existe conexión hidráulica entre el Tajo y la mina subterránea Marcapunta Norte.
- No hay flujo de agua subterránea de la relavera Huachuacaja hacia el tajo ni hacia las minas subterráneas de Marcapunta, debido a que entre estos componentes se genera una divisoria de agua subterránea; sin embargo, podría haber cierta influencia hacia el río San Juan hacia aguas debajo de la relavera, si esta relavera no estuviese revestida o impermeabilizada, esto no se ha identificado por el contrario piezómetros aguas abajo de la relavera muestran un agua alcalina. Así mismo, hacia el lado Oeste del área de la relavera Huachuacaja existe una barrera impermeable que actúa como divisoria subterránea e impide que la relavera tenga alguna influencia hacia Sacrafamilia y hacia el río San Juan en esa zona.
- En forma similar, las aguas del lado Este, confluyen hacia la quebrada Unish para luego ingresar al interior de la mina subterránea Marcapunta Norte, donde hay un cono de depresión causado por el minado y desde cuyo fondo son drenadas las aguas hacia la superficie, mediante un bombeo promedio de 138 L/s. El nivel más profundo del agua subterránea en esta mina, se encuentra aproximadamente en la cota 4,025 msnm.

- En la mina Marcapunta Sur también se genera un pequeño cono de depresión, generado por el bombeo de un caudal promedio de 90 L/s evidenciando un aporte de flujo subterráneo procedente del acuífero Sur. En esta mina, el nivel más profundo del agua subterránea está alrededor de 4,028 msnm.
- La proyección del túnel Esperanza, estará emplazado en la unidad hidrogeológica U-3; se puede prever que la mayor evidencia de agua estará en el lado Sur, ya que en la parte Norte el radio del cono de depresión es amplio, generándose el drenaje del agua subterránea por el túnel, con lo cual se tendrían líneas concéntricas de ingreso de agua hacia el túnel Esperanza en el lado Sur.
- En la parte central de la UM, entre el tajo Norte y la mina Marcapunta Norte, existe una divisoria que indica que parte de las aguas subterráneas se dirigen hacia el tajo y otra parte estaría fluyendo hacia el fondo de la mina subterránea.
- No existe conexión hidráulica entre la laguna Smelter y Marcapunta Norte, ya que su existencia se debe a que esta sobre material poco permeable.

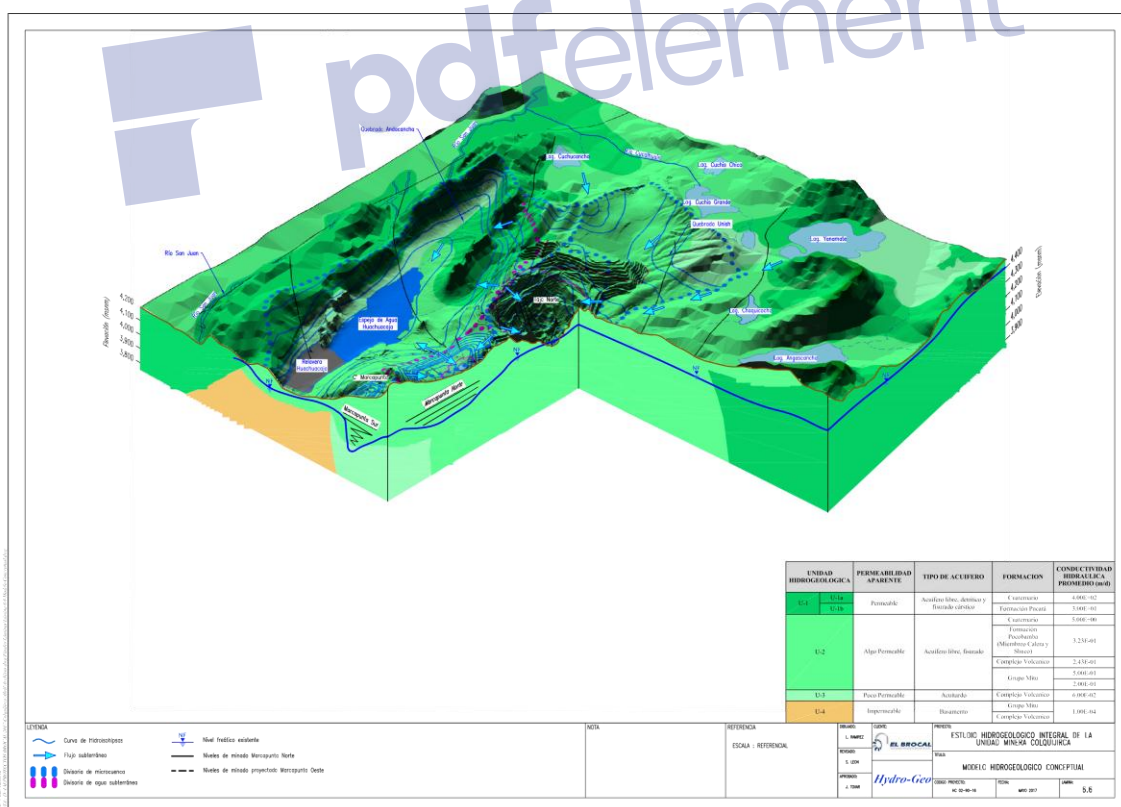


Figura 13. Modelo Hidrogeológico

4.2.3. PERFORACIÓN DE POZOS EXPLORATORIOS

A fin de obtener información técnica para la caracterización hidrogeológica del área de estudio, se ha planteado realizar perforaciones exploratorias con profundidades variables entre 70 y 280 m, incluyendo las respectivas pruebas hidráulicas, que en conjunto servirán para obtener la información hidráulica del subsuelo que requiere el estudio hidrogeológico.

Al finalizar las referidas perforaciones, serán implementadas como pozos de monitoreo, los cuales serán integrados a la red de monitoreo de aguas subterráneas a fin de obtener la información necesaria para elaborar el estudio hidrogeológico.

El objetivo es mostrar la ubicación de las perforaciones con fines de investigación hidrogeológica, los cuales han sido ubicados de forma estratégica aguas arriba y aguas abajo de los principales componentes de la UM Colquijirca. Estos piezómetros serán de gran importancia y servirán para caracterizar las unidades hidrogeológicas atravesadas, conocer la morfología actual de la napa freática y monitorear la calidad del agua subterránea.

SECCION TIPICA:

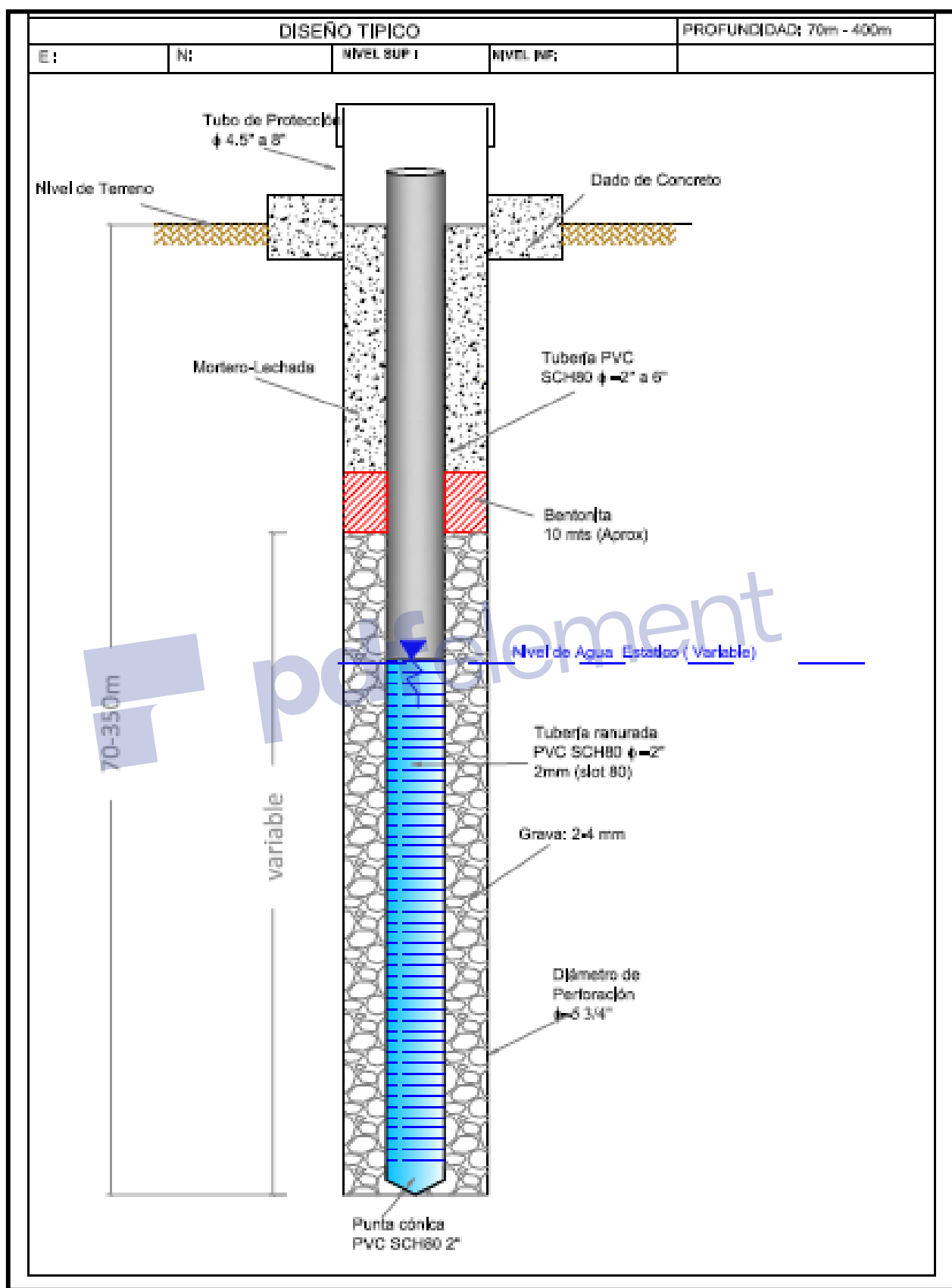


Figura 14. Piezómetro Tipo Casagrande

4.2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PIEZÓMETROS

PERFORACION:

Para efectuar las perforaciones, se utilizará el método de perforación diamantina, debido a la profundidad a la que se pretende perforar en dichos taladros. Este método de perforación está constituido por una fuente de energía, una batería de barras de tubos, conectados en serie que transmiten peso, la rotación y are de barrido a una broca con dientes de acero o de tungsteno que actúa sobre la roca cortándola en Cores. La ejecución de la perforación no hará uso de ningún aditivo de perforación, solo se usará agua para la lubricación y enfriamiento de la broca

4.2.3.2 INSTALACION DEL PIEZOMETRO

De acuerdo al material atravesado durante la perforación y de acuerdo a los estratos acuíferos encontrados, además de la posición del nivel de agua subterránea encontrada, se ajustarán los diseños técnicos de cada piezómetro a instalar

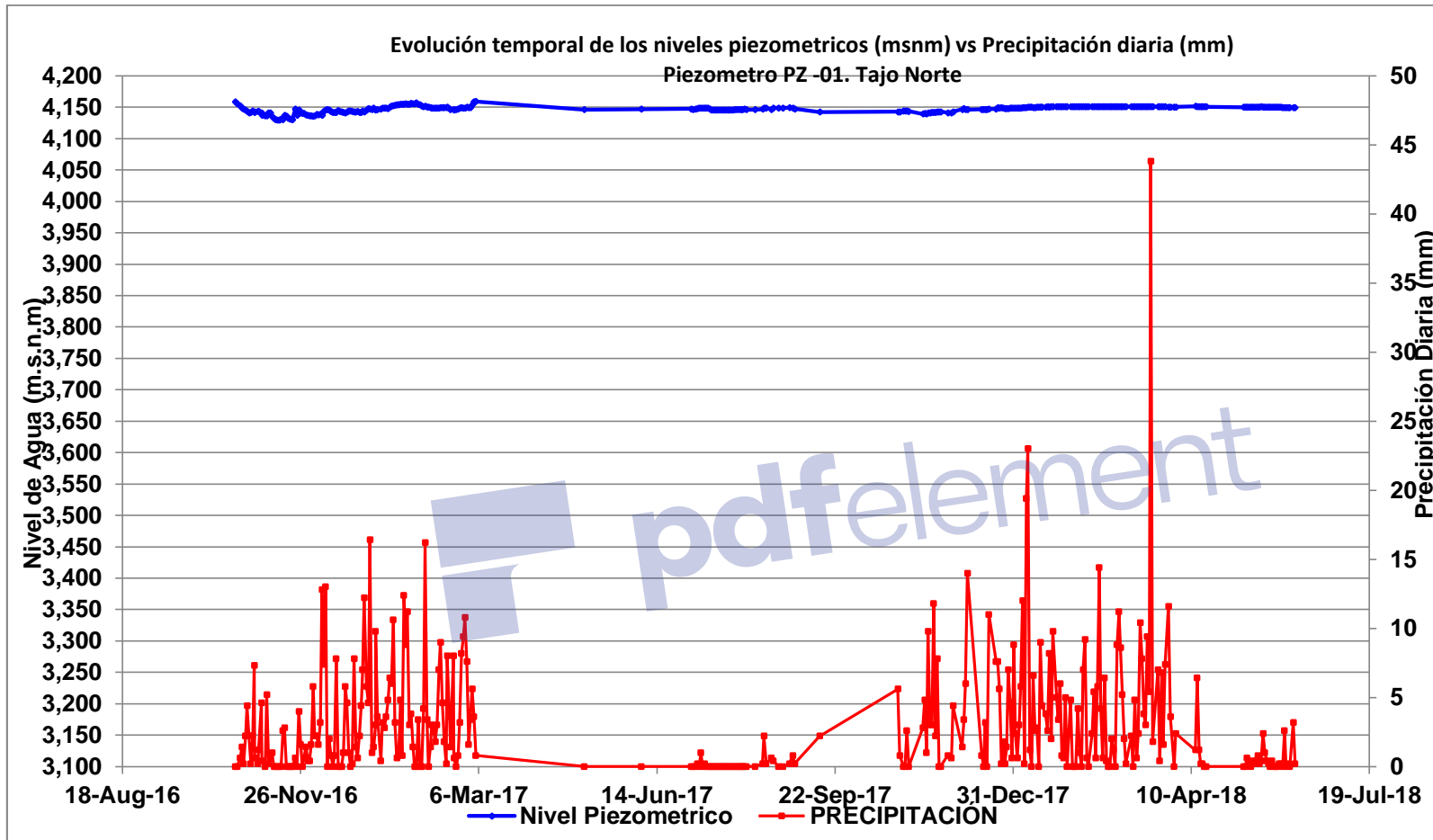


Figura 15. Evolución de los niveles piezométricos

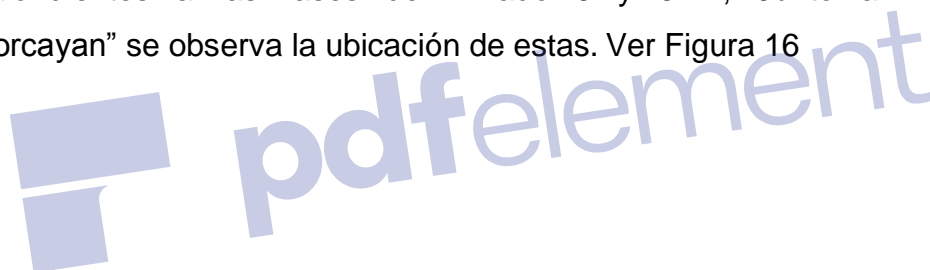
4.2.4. PERFORACIONES HIDROGEOLOGICAS DE POZOS VERTICALES,

El lado noroeste del Tajo nivel 4162 a 4174, se ha evidenciado afloramientos de agua subterránea, con un caudal promedio de 2.0 l/s. De la misma manera en el botadero “Condorcayan” nivel 4300 con un caudal promedio de 15.0 l/s. Es por ello para continuar con el drenaje y de la despresurización de las paredes de tajo y del botadero, se deberá realizar o ejecutar una caracterización Hidrogeológica mediante las investigaciones de perforación

La perforación de 2 pozos de 150 m aproximadamente, son para dar condiciones de minado a las fases de minado.

UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES

Los taladros están ubicados en la zona Norte del Tajo Colquijirca, correspondientes a las fases de minado 9 y 5 A, Junto al Botadero “Condorcayan” se observa la ubicación de estas. Ver Figura 16



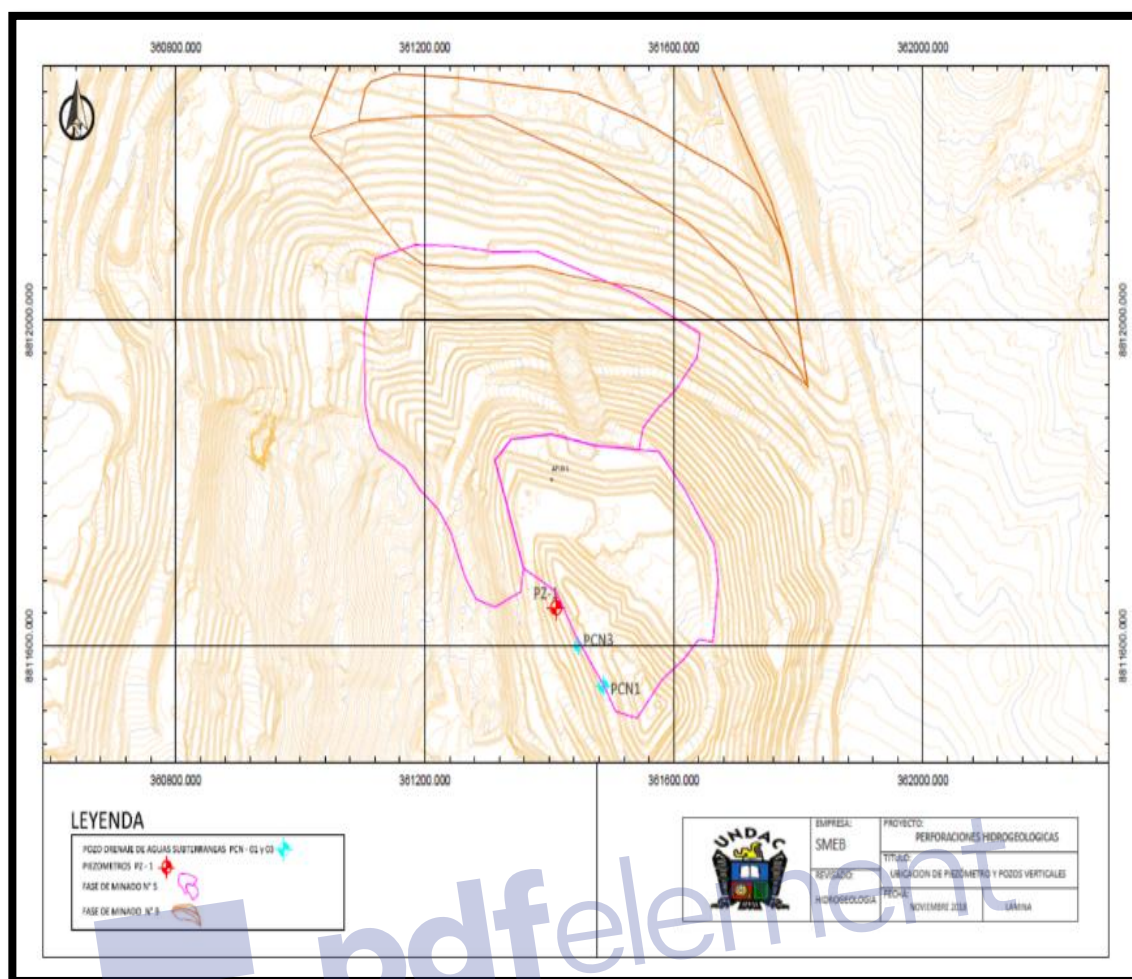


Figura 16. Ubicación espacial del programa de perforaciones 2018

POZOS

En las figuras 17 y 18 se muestra las características de los Pozos, estas perforaciones se ejecutarán en función y resultados de los pozos exploratorios. Los pozos serán parte del sistema de Dewatring para dar condiciones al minado.

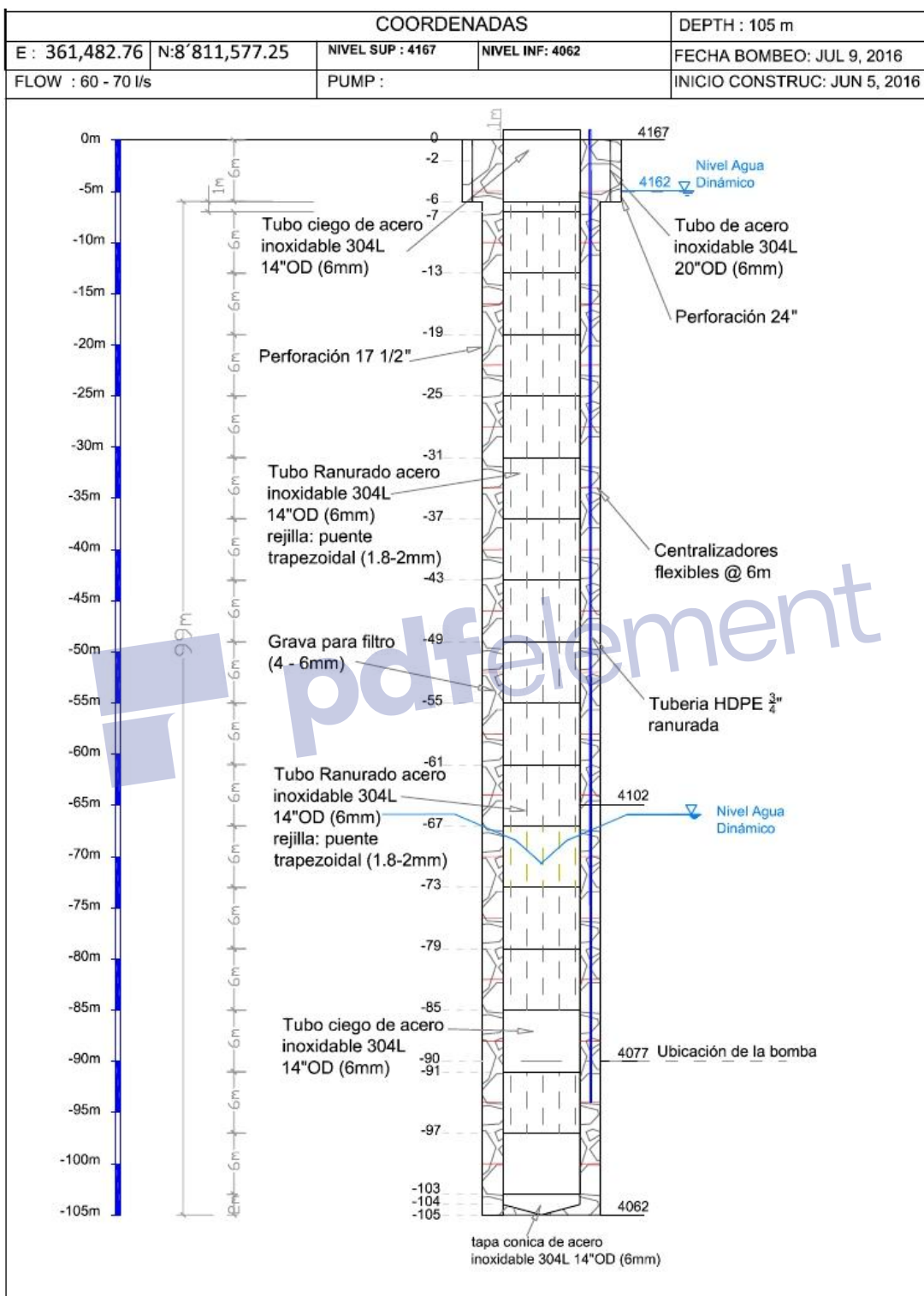


Figura 17. Pozo PCN1 de Tajo Norte de Colquijirca

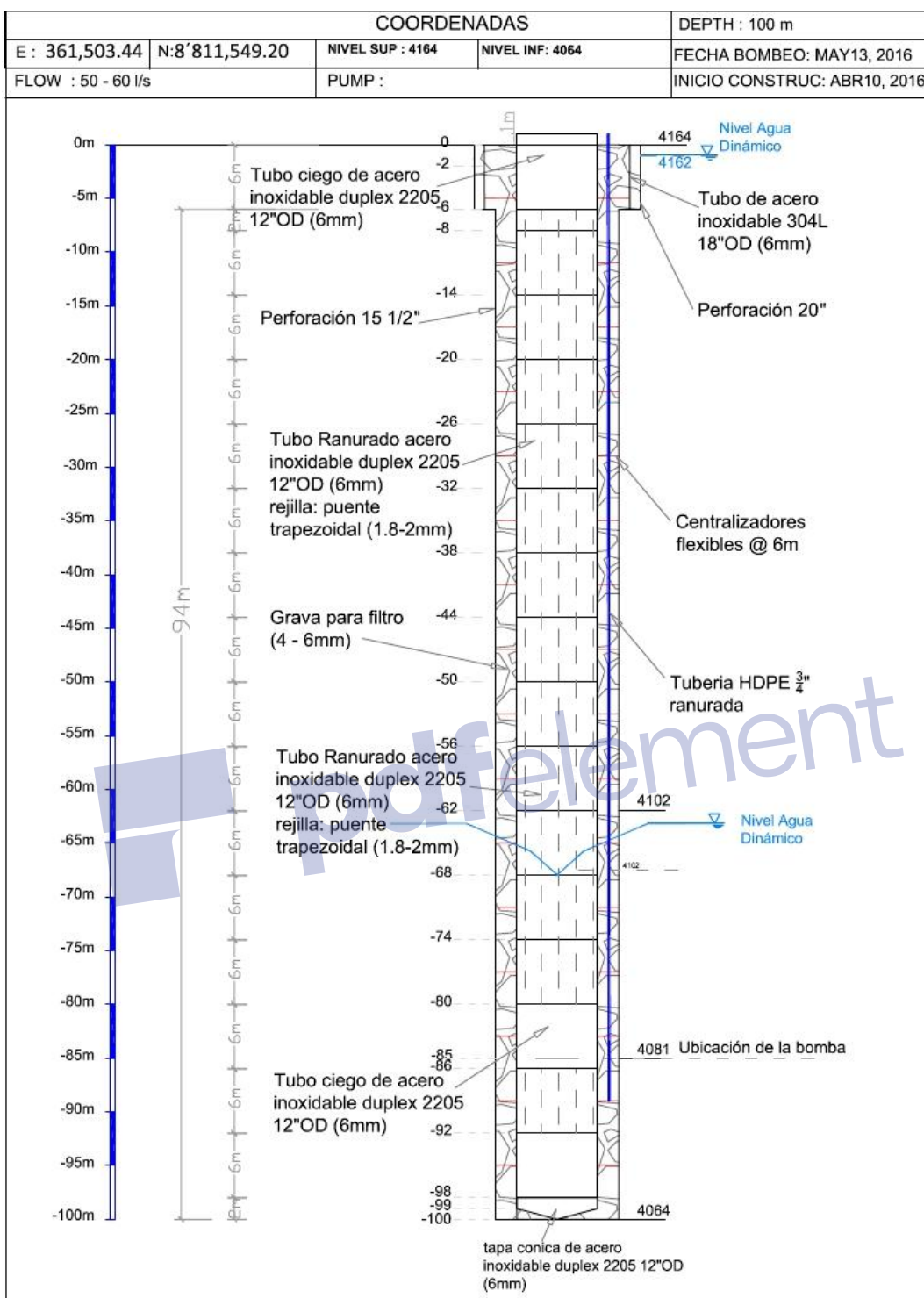


Figura 18. Pozo PCN3 de Tajo Norte de Colquijirca

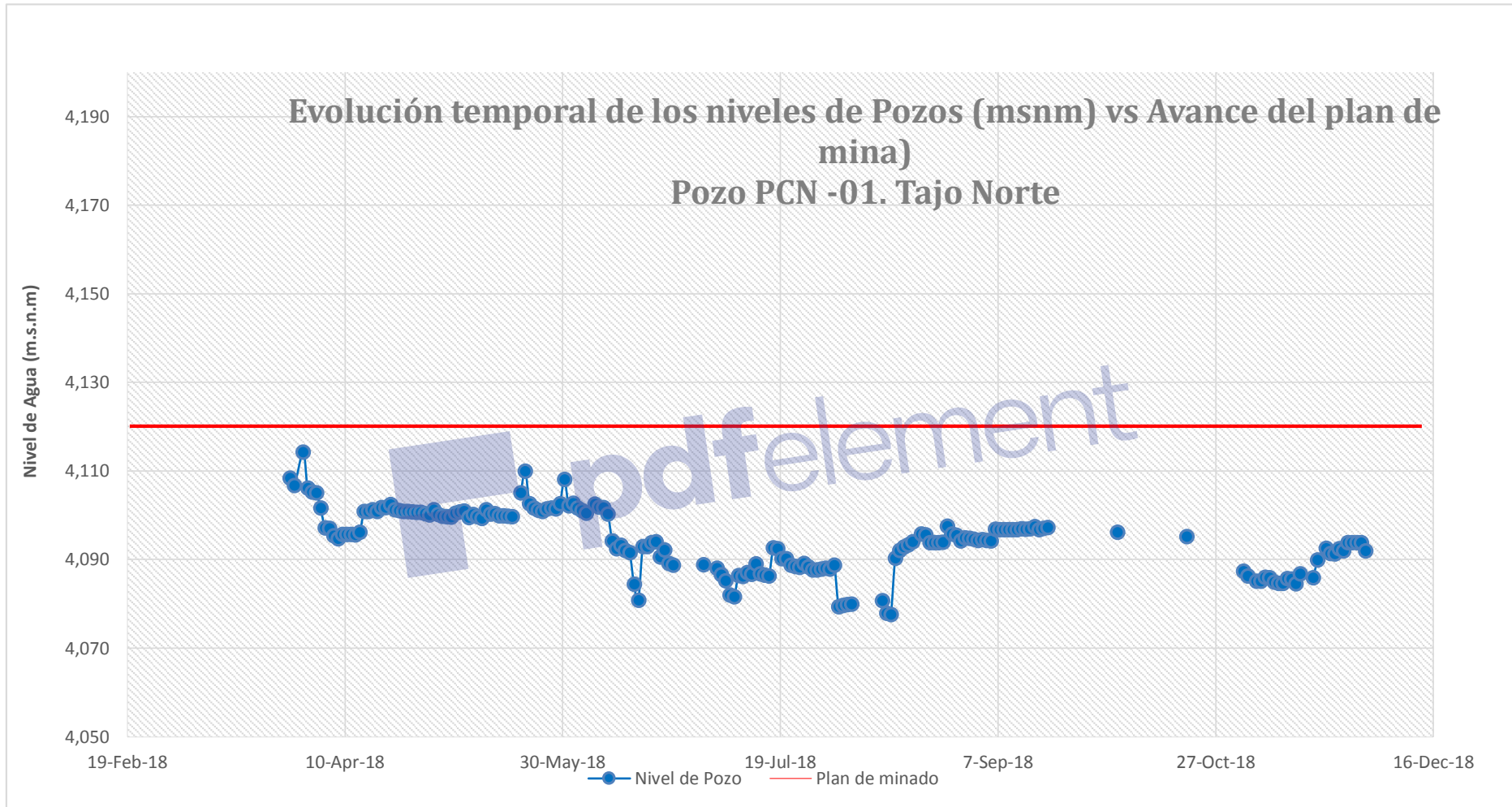


Figura 19. Evolución Temporal del pozo PCN1

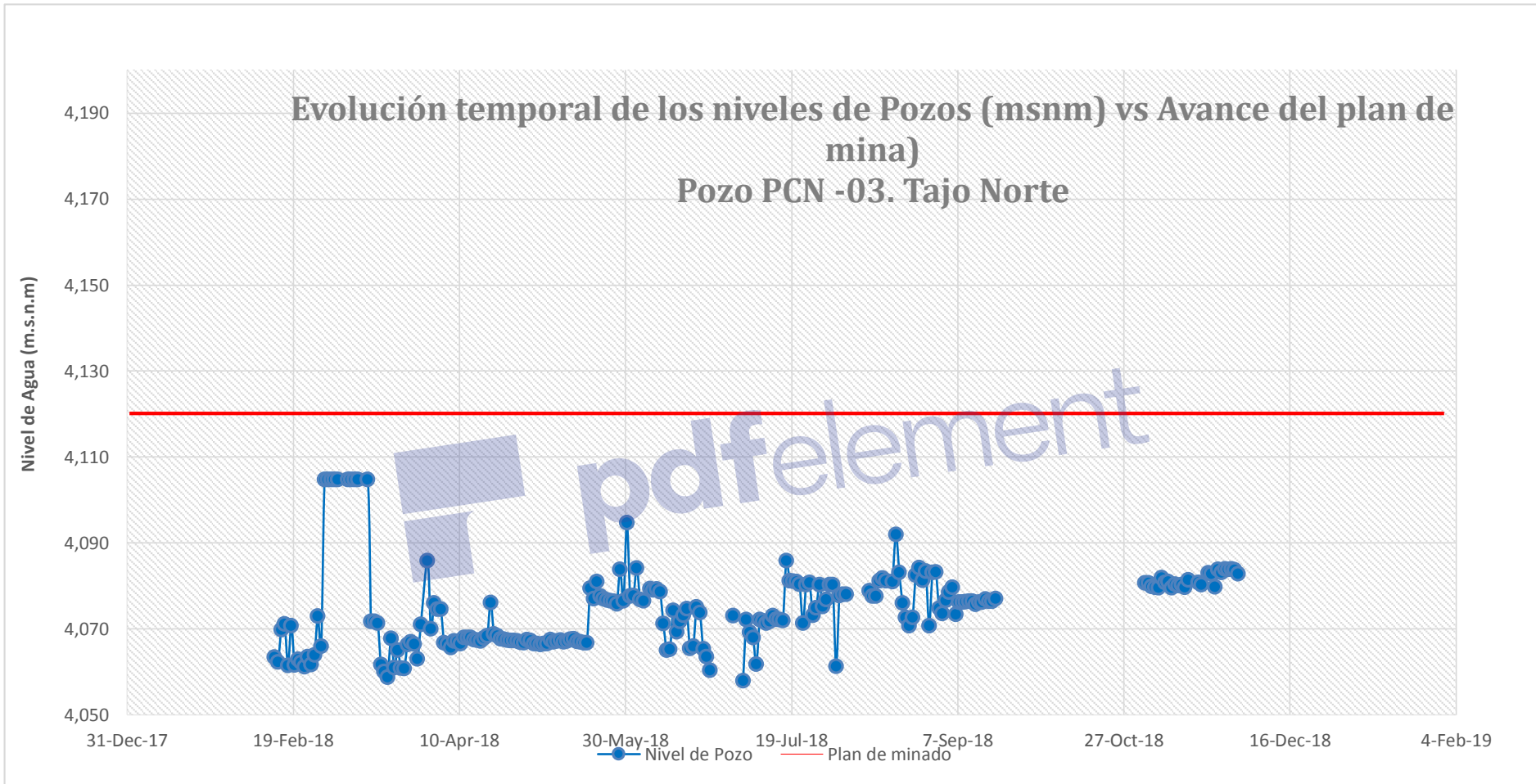


Figura 20. Evolución Temporal del pozo PCN3

4.2.5. DRENAJE Y MANEJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL TAJO

Las aguas subterráneas constituyen un problema operacional importante y un peligro potencial en la minería a cielo abierto y subterráneo. La presión de las aguas subterráneas en las discontinuidades geológicas afecta adversamente la seguridad de la altura y los ángulos de pendiente de las minas a cielo abierto, lo que justifica medidas para reducir las presiones del agua subterránea en sus proximidades. Así como un plan de manejo de las aguas subterráneas con el fin de instalar una capacidad de bombeo acorde con la recarga potencial local y regional del agua subterránea, para deprimir el nivel freático y explotar el mineral seco.

4.2.5.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE RECARGA POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA AL TAJO

Según Ground Water International (GWI) Diciembre del 2008, ha estimado los ingresos de agua al tajo norte en 123.0 l/s para el caso de alto almacenamiento y 120.0 l/s para el caso de bajo almacenamiento. Recomendando en su momento la instalación de pozos de drenaje dentro del Tajo para manejar estos flujos de ingreso.

4.2.6 DRENAJE ACTUAL EN EL TAJO – POZOS DE DRENAJE

Pozos de Drenaje

Con el fin de mejorar las condiciones de drenaje en el tajo, para deprimir y controlar el nivel freático, se perforaron 02 pozos tubulares correspondiendo a la Fase 5 del plan de minado. Estos pozos se ubicaron en los niveles 4163 y 4162 en el tajo norte.

Con una profundidad de 150 m en promedio, diámetro de 14”, casing ciego y ranurado tipo puente trapezoidal de 2.5 mm de abertura en acero inoxidable tipo.

Actualmente a nivel espacial los pozos han variado su nivel, a consecuencia de los planes de minado (Fase 5).. Siendo el caudal promedio de explotación estimado en 115.0 l/s.

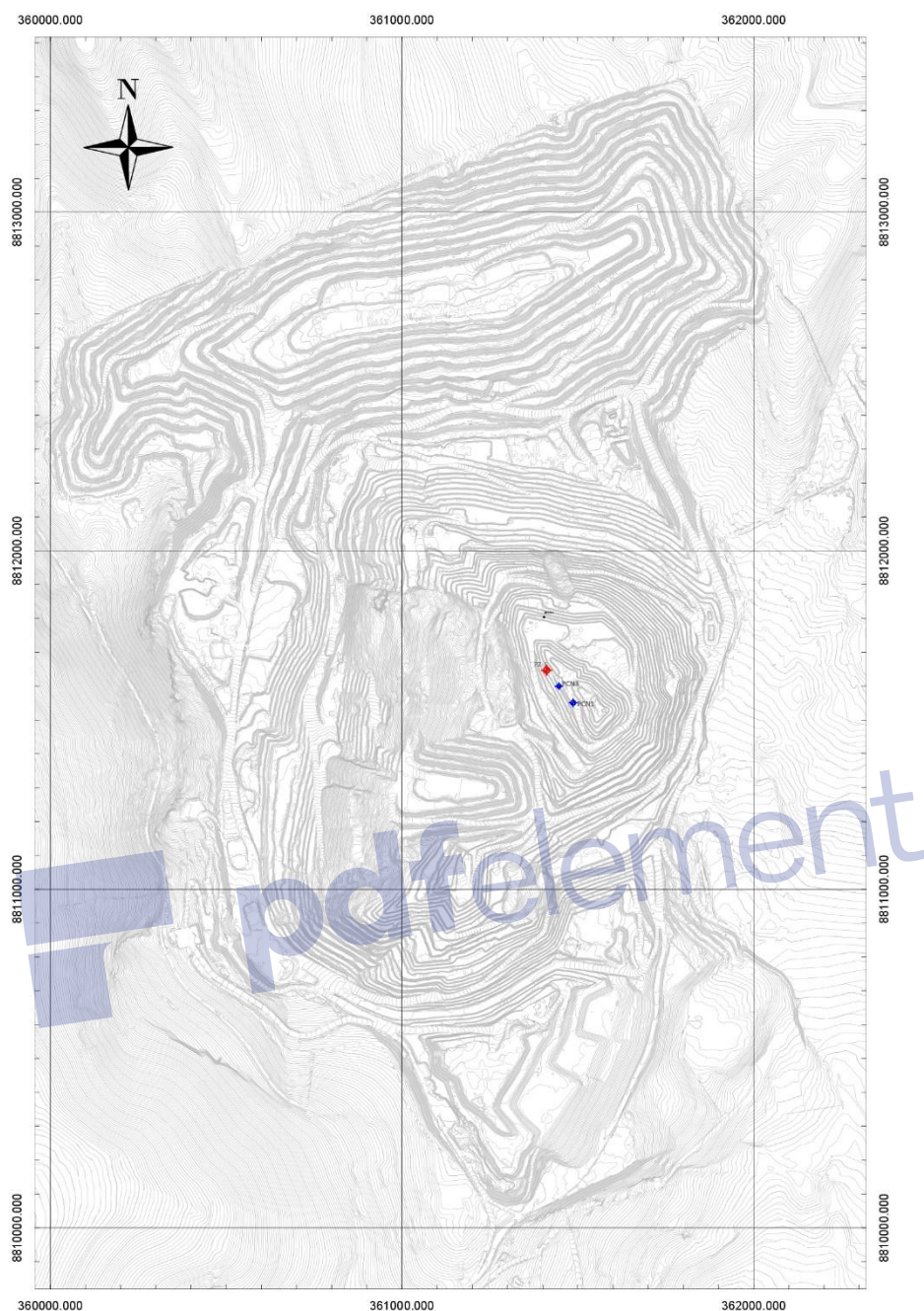


Figura 21 Ubicación espacial de los pozos de drenaje actualmente instalados en el tajo. Los cuales descargan sus aguas desde el nivel 4120 hacia la Booster Station, nivel 4204

Tabla 18. Características de los pozos de drenaje en el Tajo

Pozo	Coordenadas WGS 84		Cota Terreno. Inicial. msnm	Cota Terreno. Actual msnm	Perforación					Niveles de Agua y Caudal						
	Este	Norte			Año	Tipo	Prof. Inicial	Prof. Actual	Diám.	Fecha	P.R. Suelo (m)	Nivel Estático		Caudal (l/s)	N. Dinámico	
												Prof.	m.s.n.m.		Prof.	m.s.n.m.
PCN - 1	361,488	8,811,551	4,163	4,139	2016	T	150	126	14"	08/01/2017	1.20			50	59.55	4,079
PCN - 3	361,450	8,811,597	4,162	4,145	2016	T	150	133	14"	10/01/2017	1.30			30	81.07	4,064

Equipamiento de los pozos de bombeo

En la Tabla 19 se muestra las características de los equipos de bombeo, tanto del motor como de la bomba, que actualmente están instalados en los pozos de drenaje de tajo.

Tabla 19. Descripción de las características de los equipos de bombeo

Pozo	Datos del Motor					Datos de la Bomba					
	Marca	Modelo	n° de Serie	Potencia	Voltaje	Marca	Modelo	Numero de Etapas	Diámetro de Descarga	Presión	Caudal (l/s)
PCN - 1	SME	10INCH-200HP-2P	1302DP3263	200 HP (150 Kw)	460 v	National Pump	SH10HC-3	03 Etapas	8"	145	65
PCN - 3	Grundfos	MMS8000	96430675	125 HP (92 Kw)	460 v	Grundfos	SP 95-12	12 Etapas	8"	185	35

Por otra parte, en Tabla 20. se muestra las características de los tableros eléctricos instalados en los pozos de drenaje en el tajo, así como lo referente a los cables sumergibles eléctricos.

Tabla 20. Descripción de las características de los tableros eléctricos

Pozo	Tablero	Cable Eléctrico
PCN-1	Tablero de Arranque con Variador 200 HP	Cable Plano Sumergible 3x250 MCM+4AWG
PCN-3	Tablero de Arranque con Variador 125 HP	Cable Plano Sumergible 3x250 MCM/0+4 AWG

Tuberías de descarga de agua, HDPE

Con el fin de evacuar o desaguar el agua proveniente de la escorrentía superficial y agua subterránea se cuenta con líneas de descarga de tuberías HDPE con SDR 13.5 en diámetros de 4", 6", 8" y 12". En la Tabla 21. se detalla los diámetros y las longitudes de las tuberías de descarga actualmente instaladas en el tajo:

Tabla 21. Descripción de las características de las tuberías HDPE

Punto de Bombeo	Punto de Descarga	Longitud	SDR	Diámetro
PCN-1	Booster Station	400	13.5	8"
PCN-3	Booster Station	450	13.5	8"
Flygt 2400 MT	Booster Station	430	13.5	8"
Flygt 2400 MT	Booster Station	450	13.5	8"
Poza Sur	Ampliación del Botadero Este	2200	13.5	8"
Booster Station	Planta de Tratamiento de Agua de Mina	2350	13.5	12"
Booster Station	Planta de Tratamiento de Agua de Mina	2350	13.5	12"
Booster Station	Planta de Tratamiento de Agua de Mina	2350	13.5	12"
Poza Sur	Garza	200	13.5	4"
Motobombas	Pozas Dinámica	800	13.5	4"
Estación Condorcayan	Cuenca Vecina, margen izquierda	1060	13.5	12"

4.2.7. ESTACIONES DE BOMBEO

Con el fin de captar, almacenar y evacuar las aguas subterráneas actualmente se cuenta en el nivel 4202 una estación de bombeo con una capacidad de 15,000.0 m³, la cual reciben aguas de bombeo de los pozos; PCN-1 y PCN-3. Así como la descarga de dos electrobombas ubicadas en el fondo del tajo.

Así mismo esta estación de bombeo está recubierta e impermeabilizada con geotextil y geomembrana de 2 mm de espesor.

Pozas dinámicas de bombeo

Con el fin de captar las aguas de escorrentía superficial en las temporadas de lluvia se proyecta pozas dinámicas en función al plan de minado. Actualmente en el fondo del tajo en el nivel 4120 se han acondicionado una poza dinámica, con el fin de captar agua remanente, en donde se han instalado 01 electrobomba Flygt 2400 MT, la cual descarga en la Booster Station, nivel 4204.

4.2.7.1 ESTIMACION DE LAS POTENCIAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Dadas las condiciones del Back Fill fase 2 en el tajo norte, en donde se rellanará con material de desmonte el área de influencia directa de los pozos PCN 1 y 3, así como las fases de minado 5, 6 y 9, las condiciones de operación de los pozos de drenaje cambiarán.

Es por ello que se deberá rediseñar las potencias y pérdidas de carga en función al nuevo escenario de bombeo. En el Cuadro 4.6 se detalla las cotas de los pozos de drenaje en el tajo a diseño final, tomando en cuenta la Fase 9 del pan de minado y el Back Fill fase 2.

Pozo de Drenaje de Tajo, PCN -1

Actualmente el pozo de drenaje PCN-1 se encuentra bombeando ubicado en el nivel 4136 en el tajo. Como parte del sistema de drenaje del tajo (Pitdewatering), tomando en cuenta los planes de minado fase 5 y descargando sus aguas a la Booster Station ubicada en el nivel 4204.

Sin embargo, los planes de minado correspondiente a la Fase 9, así como el Back Fill Fase 2, cambiaran el escenario de explotación de agua subterránea con énfasis en el drenaje del tajo. Por lo que se replanteara el sistema actual de bombeo, realizando un análisis de las pérdidas de carga en función al nuevo punto de operación del pozo de drenaje PCN-1. Con el fin de estimar la potencia requerida del equipo a instalar y con ello seleccionar de manera efectiva los equipos de bombeo; electrobombas sumergibles, tableros eléctricos, conductores eléctricos, etc.

Dada la condición final de minado (fase 9 y Back Fill Fase 2), el collar del pozo de drenaje PCN-1 se ubicará en el nivel 4198.71. Siendo esta la nueva condición de bombeo. Y sus descargas de sus aguas se realizarán en la nueva Booster Station ubicada en el nivel 4216.

En la tabla 22 y figura. 22 se muestra las condiciones de bombeo tomando en cuenta el diseño según el plan de minado (Fase 9, y Back Fill, Fase 2), para el pozo PCN -1.

Tabla 22. Condiciones de Bombeo Pozo PCN – 1

Caudal	50.00
Altura bruta	136.82
Long. tubería	600.00
Diámetro	8.00
Rugosidad (e)	0.0020
Material PVC	
Temp. Liquido	8.00 °C

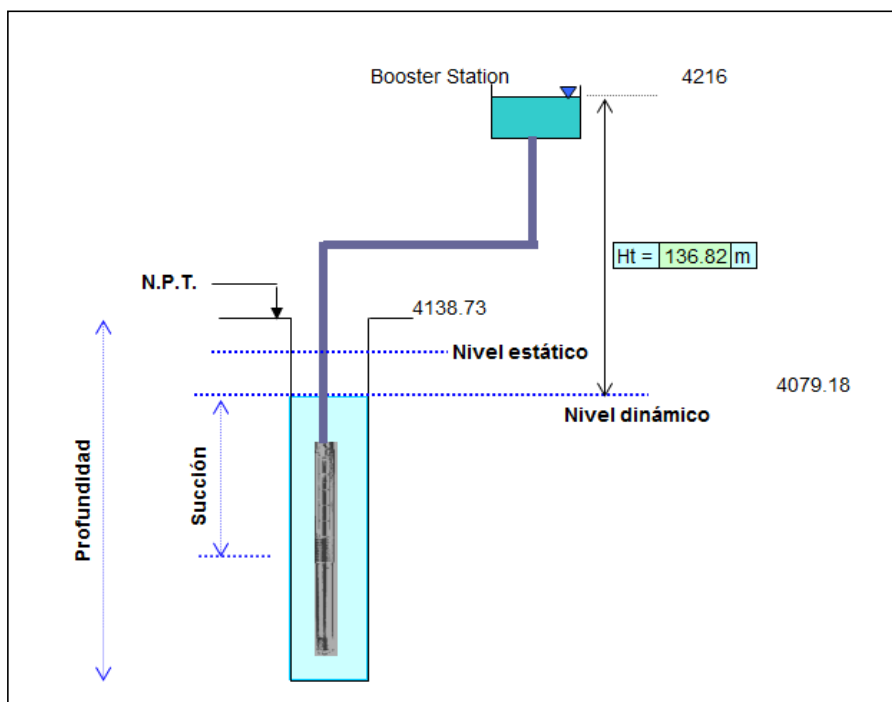


Figura 22. Condiciones de Bombeo Pozo PCN – 1

Resultados del análisis

De acuerdo a las características de bombeo, se ha estimado la curva del sistema tomando en cuenta el ADT y caudal. Los cuales se muestran en la Tabla 23. y figura 23.

Tabla 23. Resultados Caudal – ADT

CAUDAL	A.D.T.
0.00	136.82
30.00	139.36
40.00	141.09
50.00	143.21
60.00	145.73
70.00	148.61

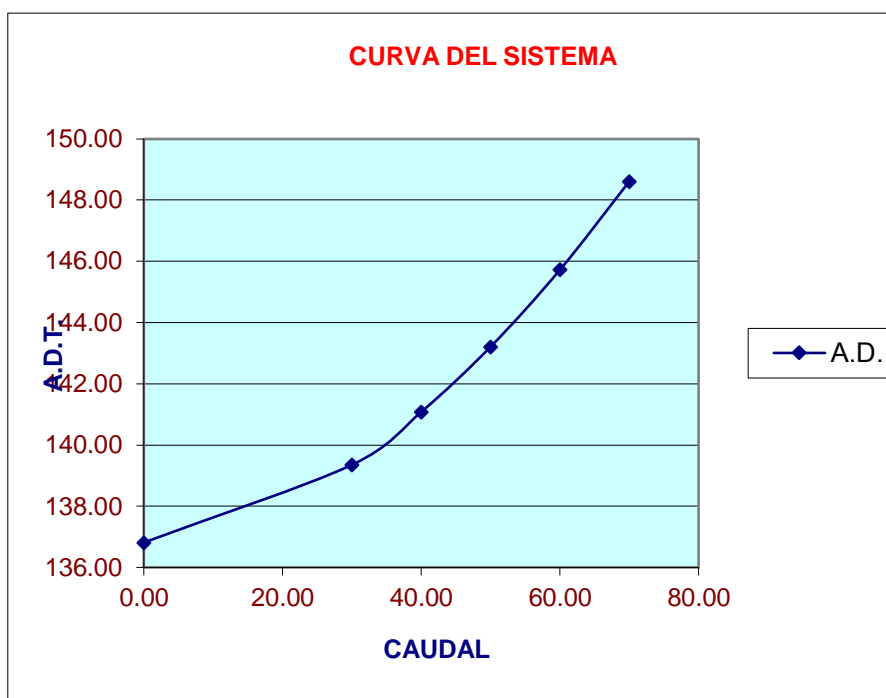


Figura 23. Curva del Sistema. Pozo PCN – 1.

Por otra parte del análisis tomando en cuenta las características operativas de bombeo se ha estimado la potencia requerida en 150 HP

Pozo de Drenaje de Tajo, PCN - 3

Actualmente el pozo de drenaje PCN-3 se encuentra bombeando ubicado en el nivel 4144.847 en el tajo. Como parte del sistema de drenaje del tajo (Pitdewatering), tomando en cuenta los planes de minado fase 5. Siendo su punto de descarga en la Booster Station ubicada en el nivel 4216.

Sin embargo, los planes de minado correspondiente a la Fase 9, así como el Back Fill Fase 2, cambiarán el escenario de explotación de las aguas subterráneas con énfasis en el drenaje del tajo. Por lo que se replanteará el sistema actual de bombeo, realizando un análisis de las pérdidas de carga en función al nuevo punto de operación del pozo de drenaje PCN-3. Con el fin de estimar la potencia requerida del equipo a instalar y con ello seleccionar de

manera efectiva los equipos de bombeo; electrobombas sumergibles, tableros eléctricos, conductores eléctricos, etc.

Dada la condición final del plan de minado (Fase 9 y Back Fill Fase 2), el collar del pozo de drenaje PCN-3 se ubicará en el nivel 4186.106. Siendo la nueva condición de bombeo.

En la Tabla 24. y figura 24 se muestra las condiciones de bombeo tomando en cuenta el diseño según el plan de minado (Fase 9 y Back Fill, Fase 2), para el pozo PCN - 3.

Tabla 24. Condiciones de Bombeo Pozo PCN – 3

Parámetro	Valor
Caudal	30.0 l/s
Altura bruta	152 m
Long. tubería	450 m
Diámetro	6"
Rugosidad (e)	0.002
Temp. Líquido	8 °C

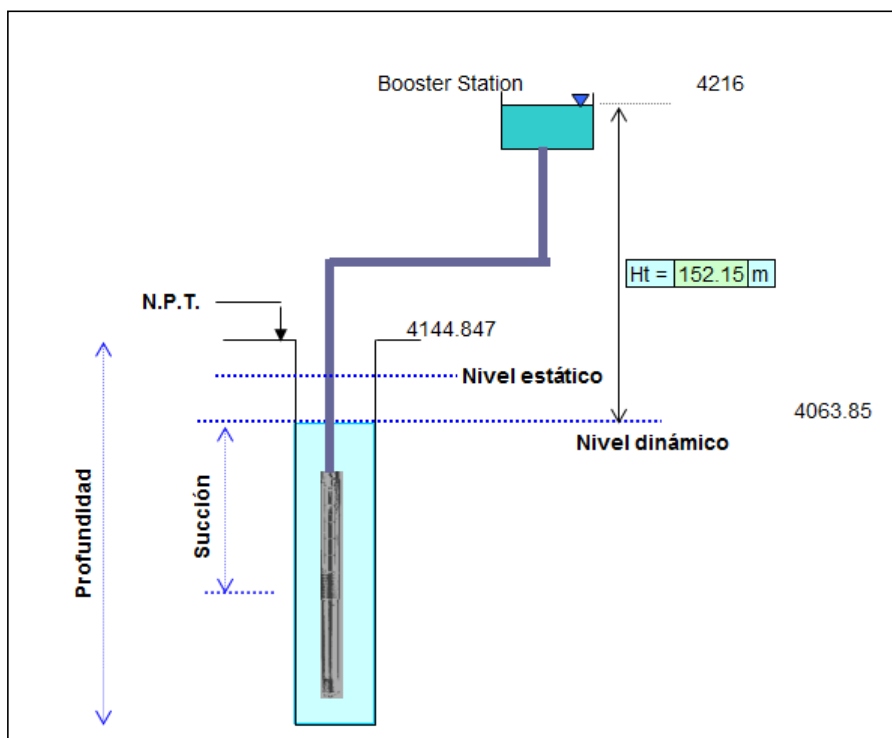


Figura 24. Condiciones de bombeo pozo PCN-3. Escesario Back Fill. Fase 2.

Resultados del análisis

De acuerdo a las características de bombeo, se ha estimado la curva del sistema tomando en cuenta el ADT y el caudal. Los cuales se muestran en el Tabla 25 y figura 25.

Tabla 25. Resultados Caudal – ADT

CAUDAL	A.D.T.
0.00	152.15
18.00	155.88
24.00	158.42
30.00	161.54
36.00	165.21
42.00	169.43

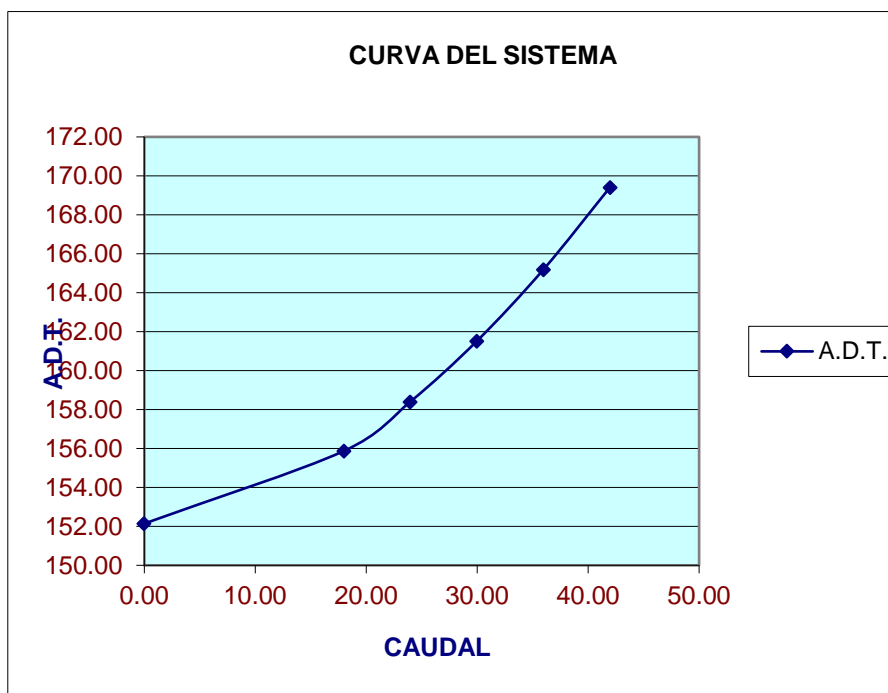


Figura 25. Curva del Sistema. Pozo PCN – 3.

Por otra parte, del análisis tomando en cuenta las características operativas de bombeo se ha estimado la potencia requerida en 110.0 HP.

4.2.7.2 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA PERFORACION DE POZOS DE DRENAJE EN EL TAJO

METODO DE PERFORACION

A continuación de manera general se detalla, la metodología a seguir para la perforación de los pozos de drenaje de tajo. Con la cual la empresa de supervisión en perforación de pozos deberá tomar en consideración;

El método de perforación recomendable será; “Método de Perforación Circulación Reversa”, ya que este método permite un mejor control hidrogeológico, así como la ejecución de ensayos de bombeo o de producción (air – lift) en el avance.

Una vez seleccionado los puntos a perforar se deberán realizar plataformas de perforación, así como accesos, para el fácil ingreso e instalación.

Perforación del pozo piloto haciendo uso del método circulación reversa – RC en un diámetro de 5 ½". Tomando en consideración los ensayos de bombeo (air – lift) en función al avance y con un tiempo de duración de estos ensayos de 15 min, con el fin de evaluar la productividad del pozo a construir. Así mismo para el registro de los niveles dinámicos durante el ensayo de air – lift, se utilizará diver o mini-diver.

Por otra parte, durante el ensayo de air – lift, deberá registrarse la presión ejercida, así como la sumergencia de la tubería.

Identificado el pozo piloto con mejores condiciones hidrogeológicas, se procederá al ensanchamiento del pozo en diámetros que varían de 18" a 22". La limpieza del sondeo se realizará mediante aire comprimido durante 72 horas, con el fin de eliminar los sólidos en suspensión (hasta que el agua salga limpia). Durante la inyección de aire comprimido se realizarán medida de los niveles piezométricos así como del caudal evacuado cada 30 minutos. Esta información será referencial como un ensayo de bombeo preliminar (deberá controlarse la presión y la sumergencia), con el fin de obtener los valores hidrodinámicos del medio.

Sin embargo, antes de iniciar la limpieza y el desarrollo se deberá analizar el uso de un dispersante de lodos (fosfatos de sodio y carbonatos de sodio), que deberán elegirse en función al tipo de aditivo empleando. Es recomendable utilizar lodo en base de agua sin aditivos durante la perforación, pero en ocasiones el terreno exige aditivos (espumas, bentonita, polímeros, etc.), en estos casos deben controlarse las dosificaciones y medirse la viscosidad y densidad del lodo utilizado.

De acuerdo a las características hidrogeológicas se realizará el diseño definitivo, en donde se afinará el metraje referente a casing ciego y ranuradas de 12" y 14", así como el dimensionamiento de la grava y sellos.

Habilitación del pozo de producción, esta maniobra deberá realizarse sin inconvenientes. Toda la columna de tubería ranurada y ciega deberá bajar sin ninguna dificultad, teniendo en cuenta el espacio anular entre el casing y la pared perforada, con el fin de suministrar grava (pre-filtro).

Durante la perforación del pozo piloto, se deberá medir la fluctuación de los niveles piezométricos.

Desinfección del pozo de producción con hipoclorito sódico después del desarrollo y antes de la habilitación. Sin embargo, no es relevante, ya que no es un pozo de agua potable, pero eliminara bacterias y otros organismos que pueden acceder al pozo contenidos en la grava y tuberías. Asimismo, es conveniente asegurarse que la grava viene convenientemente lavada y no contiene altos niveles de sales.

Por otra parte, de realizarse la perforación por el método de circulación reversa-RC, es de mucha importancia realizar los ensayos geofísicos, diagráfias de pozo (ATV&OTV), con el fin de afinar el diseño del pozo definitivo (antes de la habilitación del sondeo y después de la limpieza). Esta herramienta permite visualizar y caracterizar (rumbo, buzamiento y rellenos) las discontinuidades (venas, fracturas, etc.). Este tipo de pruebas debería instaurarse de forma usual en todos los sondeos que se hagan en el área de estudio (sondeos hidrogeológicos, geofísicos, etc.).

Con el fin de estimar el caudal óptimo del pozo, así como el dimensionamiento de los equipos de bombeo, se deberá realizar un ensayo de bombeo a caudales escalonados (4 régimen de bombeo) durante un periodo de 12 horas. Posteriormente se realizará un ensayo de bombeo a caudal constante tomando en cuenta el caudal óptimo por un periodo de 24 horas, con el fin de estimar los parámetros hidrónicos (K , T y S_c). Así mismo para el registro de los caudales dinámicos será necesaria la instalación de control de presión (mini-divers) en piezómetros o pozos próximos o la utilización de un wáter-level.

Estos ensayos permitirán estimar el caudal óptimo de pozo, pérdidas de carga hidráulica, eficiencia del pozo, a través de la curva característica del pozo.

Es de mucha importancia realizar el pozo piloto, ya que no se conoce las condiciones hidrogeológicas del medio a proyectar los pozos de producción. Por lo que, de no de ejecutar el pozo piloto, antes de perforar el pozo es un tema vinculado con el costo de ejecución y riesgos de que el pozo perforado no sea suficientemente productivo.

De los pozos pilotos que no se tengan resultados favorables, quedarían como piezómetros, con el fin de medir y monitorear el efecto del bombeo en los piezómetros y con ello cuantificar el radio de influencia de los pozos de producción.

4.2.7.3. ESTIMACION DE TIEMPOS DE EJECUCION DE LA PERFORACION DE POZOS DE DRENAJE

De acuerdo a la información recopilada, se ha estima el avance de 30 m en un tiempo de 12 horas para la perforación de pozo piloto. En donde se incluye ensayos de air-lift, así como los ensayos de diagráfias de pozo (ATV & OTV).

Por otra parte, se ha estimado que el ensanche final del pozo será de 20 m para 12 horas. Así mismo 24 horas para el desarrollo del pozo, 24 horas para la limpieza del pozo. Así como durante la habilitación del pozo se ha estimado en 50 m de bajado de tubería en un tiempo de 12 horas, considerando las actividades siguientes; colocación grava, bajado de tuberías, entubado de piezómetro, etc.

Por otra parte 12 horas para la prueba de rendimiento y 12 horas para los ensayos a caudal constante. Así mismo en el cuadro 4.1 se muestra el Desglose de tiempos previstos de operaciones por pozos de drenaje. En donde se estima la perforación y habilitación de cada pozo para una profundidad preliminar de 150 m en un tiempo de 13.5 día. Tabla 26.

Tabla 26. Descripción de actividades para la perforación de un pozo de 150 m

Descripción de la Actividad Para Perforación de un Pozo de 150 m	Días
Perforación Pozo Piloto	2.5
Pruebas geofísicas	0.5
Ensanche Pozo Producción	4
Desarrollo Pozo	1
Habilitación Pozo	1.5
Prueba de bombeo y desinfección	3
Movilización/desmovilización	1
Suma Total de Días	13.5

4.2.7.4. ESTIMACION DE LA ENERGIA REQUERIDA EN EL SISTEMA DE DRENAJE DEL TAJO

Tabla 27. Estimación de la potencia requerida incluido el factor de potencia, para el diseño y selección de un transformador eléctrico

Sector del Tajo	Ubicación	Datos del Motor	Potencia		Factor de Potencia Operación	Factor de Potencia Nominal	Eficiencia	KVA	Voltaje Nominal	Corriente Nominal (amperaje)	Corriente Arranque Directo (estimado)
		Marca	HP	KW							
Norte	Tajo Norte - Pozo PCN-1	Electrobomba National Pumps	200.00	149.20	0.70	1.46	0.90	236.83	460.00	240.00	1200.00
	Tajo Norte - Pozo PCN-3	Electrobomba Grundfus	125.00	93.25	0.70	1.46	0.90	148.02	460.00	151.10	755.50
Sur	Pozo WB-1	Electrobomba Grundfus	175	131	0.7	1.46	0.9	207.2	460.0	226.0	1130.0
	Pozo WB-2	Electrobomba Grundfus	175	131	0.7	1.46	0.9	207.2	460.0	226.0	1130.0
	Pozo WB-3	Electrobomba Grundfus	175	131	0.7	1.46	0.9	207.2	460.0	226.0	1130.0
Potencia Requerida								1154			

Estimación de la potencia requerida en electrobombas. Para la selección de un transformador eléctrico. Lado Norte

La estimación de la potencia de los equipos de bombeo se ha estimado tomando en cuenta el caudal de bombeo para un periodo de retorno de 10 años (0.52 m³), así como las pérdidas de carga en la conducción hasta el punto de descarga.

Por lo que para evacuar el caudal de 0.52 m³ (periodo de retorno 10 años) del lado norte se está planteando instalar 10 electrobombas sumergibles de 140 HP en el lado norte del tajo. Ver figura 26.

Tabla 28. Estimación de la potencia requerida incluido el factor de potencia, para el diseño y selección de un transformador eléctrico

Sector del Tajo	Ubicación	Datos del Motor		Potencia		Factor de Potencia Operación	Factor de Potencia Nominal	Eficiencia	KVA	Voltaje Nominal	Corriente Nominal (amperaje)	Corriente Arranque Directo (estimado)
		Marca	HP	KW								
Norte	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00	
Potencia Requerida								1658				

Potencia Requerida Con el Factor de Potencia	1950
---	-------------

Estimación de la potencia requerida en electrobombas. Para la selección de un transformador eléctrico. Lado Sur.

Tabla 29. Estimación de la potencia requerida incluido el factor de potencia, para el diseño y selección de un transformador eléctrico

Sector del Tajo	Ubicación	Datos del Motor	Potencia		Factor de Potencia Operación	Factor de Potencia Nominal	Eficiencia	KVA	Voltaje Nominal	Corriente Nominal (amperaje)	Corriente Arranque Directo (estimado)
		Marca	HP	KW							
Norte	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
	Fondo del Tajo Norte	Electrobomba Flygt 2400 MT	140.00	104.44	0.70	0.83	0.90	165.78	460.00	158.00	790.00
Potencia Requerida								1658			
Potencia Requerida Con el Factor de Potencia								1950			

Tomando en cuenta un periodo de retorno de 10 años, se ha estimado un caudal de escorrentía en 0.58 m^3 el cual será bombeado a la estación de bombeo 4238, esta estación también recibirá agua proveniente de la explotación del agua subterránea en un caudal estimado en 0.04 m^3 . Siendo el total de agua a bombear en 0.62 m^3 . Con el fin de evacuar esta agua proveniente de escorrentía superficial y subterránea, a continuación, se detallará la estimación de la potencia de los equipos de bombeo y con ello la potencia requerida. Para dimensionar y seleccionar un transformador eléctrico para la alimentación, a los tableros eléctricos, variadores y finalmente al motor eléctrico de las electrobombas.

Cálculos de la potencia del equipo de bombeo

La tabla 30 detalla la estimación de la potencia requerida, con el fin de cubrir la demanda eléctrica en la estación de bombeo 4238. En donde la potencia requerida con un factor de potencia de 0.85 se ha estimado en 796 KVA mínimo. Con el fin de dimensionar y seleccionar un transformador eléctrico para la alimentación, a los tableros eléctricos, variadores y finalmente al motor eléctrico de las electrobombas instaladas.

Tabla 30. Estimación de la potencia requerida incluido el factor de potencia, para el diseño y selección de un transformador eléctrico en la estación de bombeo 4238

Sector del Tajo	Ubicación	Datos del Motor	Potencia		Factor de Potencia Operación	Factor de Potencia Nominal	Eficiencia	KVA	Voltaje Nominal	Corriente Nominal (amperaje)	Corriente Arranque Directo (estimado)
		Marca	HP	KW							
Nor-Oeste	Estación de Bombeo 4238	Electrobomba Peerless	143	107	0.7	0.80	0.9	169.2	460	167	836
		Electrobomba Peerless	143	107	0.7	0.80	0.9	169.2	460	167	836
		Electrobomba Peerless	143	107	0.7	0.80	0.9	169.2	460	167	836
		Electrobomba Peerless	143	107	0.7	0.80	0.9	169.2	460	167	836
Potencia Requerida								677			
Potencia Requerida Con el Factor de Potencia								796			



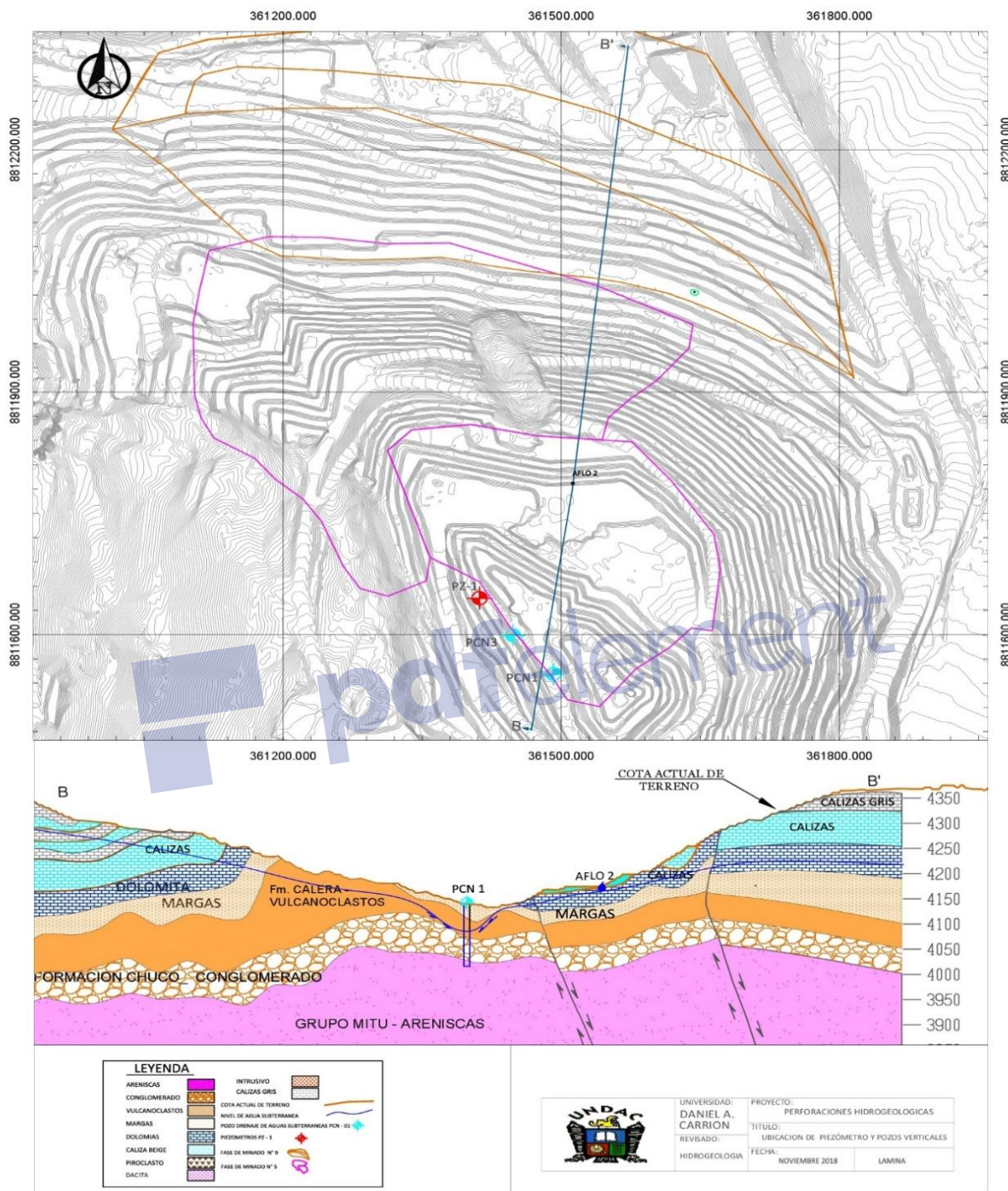


Figura 26. Ubicación de pozo de Bombeo PCN 01

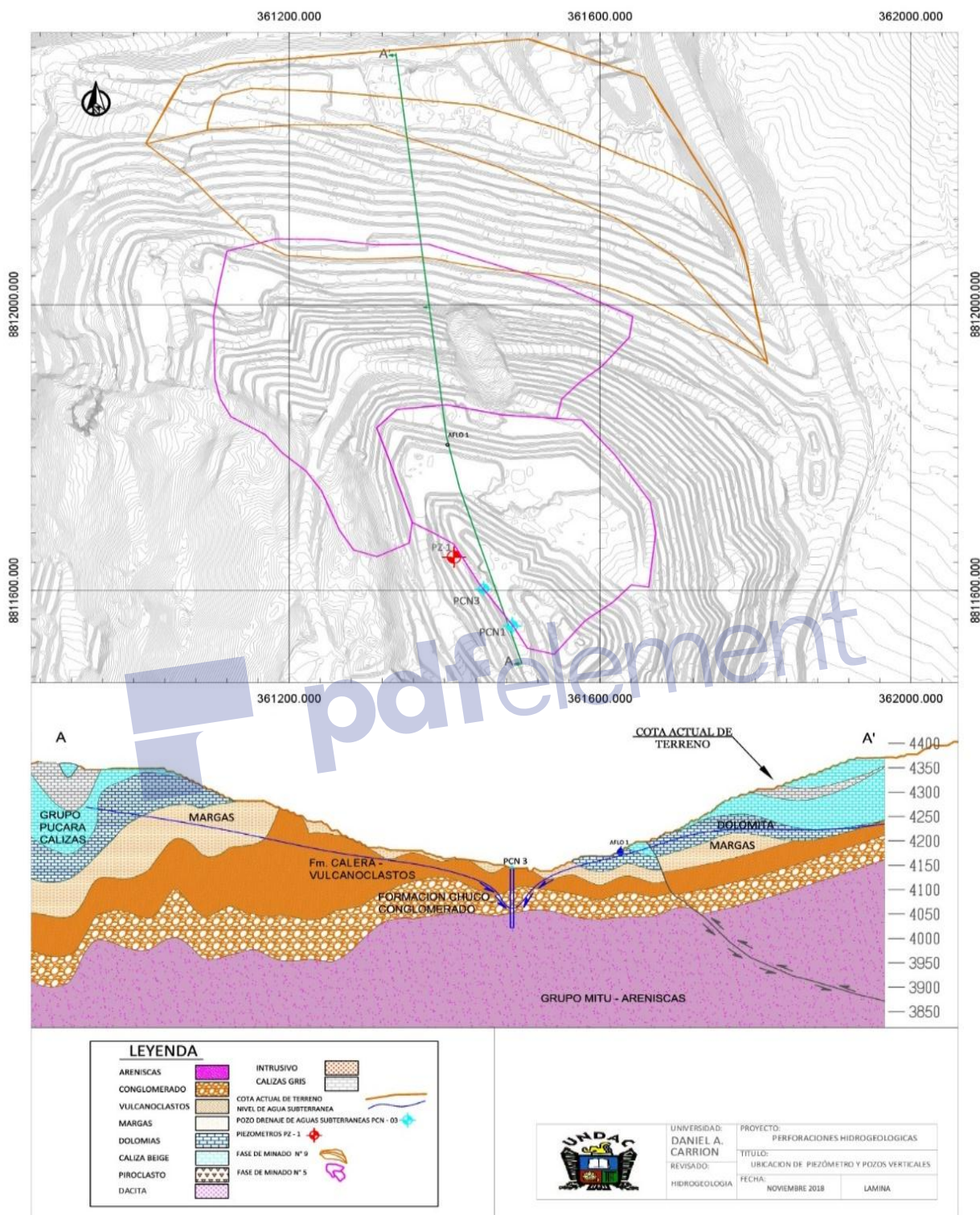


Figura 27. Ubicación de pozo de Bombeo PCN 03

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 el estudio hidrogeológico para la proyección de los pozos de drenaje y que por consiguiente permita deprimir el nivel freático en el tajo abierto de la Mina Colquijirca.

Se alcanzó el objetivo general al cumplir con las investigaciones hidrogeológicas mediante la perforación, el cual representa un componente importante del estudio hidrogeológico; por ello, para este estudio se ubicó piezómetro de exploración PZ-1 teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Aguas arriba y aguas abajo de cada uno de los componentes (botadero Norte, tajo Colquijirca, mina subterránea Marcapunta Norte, mina subterránea Marcapunta Sur).
- La cercanía a las fuentes de agua, tales como: ríos, bofedales, quebradas, entre otros, que podrían ser afectados.
- La cercanía al área de minado para monitoreo de las variaciones del nivel de agua.

De la misma manera se ubicó los dos pozos de drenaje PCN1 y PCN3 y se comenzó a perforar para que cumplan sus funciones.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1:

Determinar las características hidrogeológicas para ubicar los pozos de drenaje.

Se alcanzó el objetivo específico 1 caracterizando las 4 unidades hidrogeológicas:

- Unidad Hidrogeológica U-1 (Acuífero libre, detrítico y Kárstico): Depósitos aluvial (U-1b) y formaciones Pucará y Chambará (U-1a).
- Unidad Hidrogeológica U-2 (Acuífero libre, fisurado): Miembro Calera y Chuco, además de brechas, dacitas, areniscas y limolitas muy fracturadas.
- Unidad Hidrogeológica U-3 (Acuitardo): Depósitos morrenicos limosos y bofedales, así como areniscas y limolitas poco fracturadas.
- Unidad Hidrogeológica U-4 (Basamento impermeable): Rocas masivas del Grupo Mitu y volcánico Rumiallana.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2:

Diseñar los pozos exploratorios y de dewatering para deprimir el nivel freático.

Se cumplió el objetivo específico para ambos casos perforándose una profundidad promedio de 150 m. para cada pozo y un rendimiento de PCN1 de 50 l/s y PCN3 de 30l/s.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3:

Proponer la instalación de infraestructura de bombeo en los pozos de dewatering para deprimir el nivel freático.

Se cumplió el objetivo señalando las características específicas.

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En relación al objetivo planteada y luego de ser confrontadas con los resultados obtenidos se puede confirmar que las características hidrogeológicas encontradas en la cuenca de Tajo abierto de la mina Colquijirca, tales como la permeabilidad, el tipo de acuífero, su litología y específicamente su conductividad hidráulica han servido para definir las cuatro unidades hidrogeológicas con los cuales se estableció el modelo hidrogeólogo conceptual del acuífero local el cual define el comportamiento del agua subterránea contenida principalmente en las unidades U-1, U-2 y U-3. De la misma manera se demostró que en la parte central de la UM, entre el Tajo Norte y la mina

Marcapunta Norte, existe una divisoria que indica que parte de las aguas subterráneas se dirigen hacia el tajo y otra parte estaría fluyendo hacia el fondo de la mina subterránea, asimismo se demostró que no existe conexión hidráulica entre la laguna Smelter y Marcapunta Norte, ya que su existencia se debe a que esta sobre material poco permeable.

En general se demostró que, con el modelo hidrogeológico conceptual, se determinó el flujo de aguas subterráneas tiene una dirección Norte-Sur y un gradiente promedio de 12%, recargándose por acción de las lluvias anuales, en las cumbres de las zonas Norte, Noreste y Este.

La instalación de pozos exploratorios y deewatering fue útil para obtener información técnica para la caracterización hidrogeológica incluyendo las respectivas pruebas hidráulicas, que en conjunto servirán para obtener la información hidráulica del subsuelo que requiere el estudio hidrogeológico integral. Al finalizar las referidas perforaciones, serán implementadas como pozos de monitoreo, los cuales serán integrados a la red de monitoreo de aguas subterráneas a fin de obtener la información necesaria, no solo para elaborar el estudio hidrogeológico.

Finalmente se cumplió con especificar con las características de los equipos de bombeo tanto del motor como de la bomba y de los tableros eléctrico.

CONCLUSIONES

1. Para definir el régimen pluviométrico que caracteriza a la UM Colquijirca, se utilizó información de 10 estaciones meteorológicas, cuya información histórica fue corregida, completada y regionalizada, obteniéndose como resultado que la precipitación total anual en el área de estudio es de 931.6 mm.
2. Se instaló 01 piezómetro, en el cual se han realizado pruebas hidráulicas y se han obtenido datos de nivel de agua, ello con el fin de actualizar y complementar la información existente, la ubicación de estos piezómetros es aguas arriba y aguas abajo de los distintos componentes de la UM, así como en zonas carentes de información.
3. Se instaló 02 pozos de dewatering PCN1 y PCN3 con el fin de mejorar las condiciones de drenaje en el tajo, para deprimir y controlar el nivel freático. Con una profundidad de 150m. Siendo el caudal promedio de explotación estimado en 50.0 l/s para PCN1 y 30 l/s para PCN3.
4. A partir de la información geológica local, además de los datos obtenidos por las pruebas hidráulicas efectuadas en las perforaciones, se han identificado 4 unidades hidrogeológicas:
 - Unidad Hidrogeológica U-1 (Acuífero libre, detrítico y Kárstico): Depósitos aluvial (U-1b) y formaciones Pucará y Chambará (U-1a).
 - Unidad Hidrogeológica U-2 (Acuífero libre, fisurado): Miembro Calera y Chuco, además de brechas, dacitas, areniscas y limolitas muy fracturadas.
 - Unidad Hidrogeológica U-3 (Acuitardo): Depósitos morrenicos limosos y bofedales, así como areniscas y limolitas poco fracturadas.

- Unidad Hidrogeológica U-4 (Basamento impermeable): Rocas masivas del Grupo Mitu y volcánico Rumiallana.
5. El flujo regional del agua subterránea en la UM Colquijirca ocurre desde el Norte y Noreste hacia el Sur; siendo este el flujo principal que ingresa hacia las zonas de minado. No existe conexión de flujo subterráneo de la relavera con el Tajo Norte debido a entre ellos se emplazan rocas de baja permeabilidad, además entre la relavera y el Tajo se genera una divisoria de flujo subterráneo. Localmente tanto en el tajo Norte como en las minas subterráneas Marcapunta Norte y Sur se generan depresiones del nivel de agua debido al minado.
 6. La recarga del agua subterránea en la mina Marcapunta Norte y Sur, proviene principalmente del agua que se infiltra en la quebrada Unish, alimentando al Nor-Este de Marcapunta; de la zona de la quebrada Huacchuacaja, alimentando al Oeste de Marcapunta y hacia el Sur de Marcapunta la recarga proviene del río San Juan
 7. El balance hídrico realizado en la microcuenca del tajo abierto indica que para un año promedio la infiltración profunda en la microcuenca 6%.
 8. El modelo hidrogeológico conceptual, indica que el flujo de aguas subterráneas tiene una dirección Norte-Sur y un gradiente promedio de 12%, recargándose por acción de las lluvias anuales, en las cumbres de las zonas Norte, Noreste y Este.
 9. El agua subterránea que ingresa al interior del tajo Norte, procede mayormente del extremo Noreste.
 10. El caudal máximo estimado en la Cuenca del Tajo Abierto Colquijirca, se ha estimado con fines del diseño del plan de drenaje 2015 -2016, con énfasis

en el diseño de equipos de bombeo, diseño de líneas de bombeo, obras de mantenimiento y adecuación de la vía, así como con fines descriptivos del sistema de la Cuenca del Tajo Abierto Colquijirca y su influencia hasta ríos de orden hidrográfico superior. Debido a que la vida útil del tajo es aproximadamente 6 años, se ha elegido el periodo de retorno de 5 años. Por lo que el caudal de diseño será 0.34 m³/s.

11. El modelo hidrogeológico conceptual, indica que el flujo de aguas subterráneas tiene una dirección Norte-Sur y un gradiente promedio de 12%, recargándose por acción de las lluvias anuales, en las cumbres de las zonas Norte, Noreste y Este



RECOMENDACIONES

1. Para una mejor interpretación hidrogeológica, es importante contar con la información (pruebas y niveles de agua medidos) de los piezómetros que han sido instalados en el área del proyecto San Gregorio. Así mismo, es de gran importancia que estos piezómetros puedan ser incluidos dentro de la red de monitoreo de agua subterránea de El Brocal.
2. Adquisición de las licencias del software HEC-HMS versión 3.5, así como del ARC-GIS versión 10.3, así como del Arc – Hydro 10.3
3. Monitorear constantemente el nivel del descenso del agua subterránea, para saber con certeza el comportamiento de los pozos y plantear acciones preventivas a corto plazo y atender los pozos críticos.
4. Efectuar mediciones sistemáticas de los componentes del balance hídrico, implementando redes de control en las sub-cuencas en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Auge, M. (2005). Curso de “*Perforaciones para Agua Subterránea*”. Universidad de Buenos Aires, M.Pilar, Argentina.

Bellino, N. (2012). Curso de “*Aguas Subterráneas, Conocimiento y Explotación*”. Universidad de Buenos Aires.

C.W. Fetter (1988): “*Applied Hydrogeology*”. Second Edition. Merrill Publishing Company

Benítez, A. (1972). Captación de Aguas Subterráneas. Ed. Dossat –2da. Edic. revisada y aumentada. Madrid España

Castany, G. (1971). Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas - Ed. Omega - Barcelona España

Custodio E. y Llamas M. R. (1976). Hidrología subterránea. 2T: 1-2.359. Ed. Omega. Barcelona

Chuo K. (1995). Estudio Hidrogeológico en el Valle de la Ciudad de Guatemala, Proyecto Emergencia I.

Díaz, P. J M. et al. (1993). Importance of the alluvial aquifer of the Urgell plain irrigation area. Necessity of water quality protection. International Conference on Environmental Pollution. (Barcelona).

Losilla M., Rodriguez H. Schosinsky G.; Stimson J.; Bethune D.,(1995). Los

acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Maestría en Geología, con énfasis en Manejo de Recursos Hídricos e Hidrogeológicos Universidad de Costa Rica.

Pimienta, J. (1973). La Captación de Aguas Subterráneas. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona – España.

Rick Brassington (1998): “Field Hydrogeology”. Second Edition. Wiley

Tahal (1990). Estudio de recursos de agua subterráneas para el abastecimiento a la ciudad de Guatemala

Verrey J. (1968). American Water Works Association Agua superficial, calidad y tratamiento.





ANEXOS



A1: ESTACION CERRO DE PASCO -DATA ORIGINAL

REGISTRO DE PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1950	162.2	134.7	183.2	103.7	44.2	23.8	16	2.2	59.2	85.2	99.7	180.8
1951	148.3	276.6	138.8	55.4	50.1	36.3	0	5.1	26.2	56.4	147.7	138.2
1952	126.1	239.2	127.2	72.7	17.6	26.2	13.8	19	44.8	110.1	135	199.5
1953	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1954	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1955	228.1	205.7	239.1	59.9	101	20.9	15.7	19.2	36.2	70.7	20.8	102
1956	104.6	125	109.6	102.8	37	6.3	15.2	28	81	90.5	47.9	68.9
1957	144.8	141.9	75.5	62.6	57.5	26.5	4.6	36.3	82.7	88.8	107.5	117.6
1958	107.6	128.8	164.7	69.5	32.1	7	20.7	14.6	30.5	157.9	77.6	107.7
1959	122.5	188.1	124.1	115.5	62	15.9	9.5	7.2	46	141	87.4	161
1960	135.2	76	67.8	140.6	32.1	1.5	8.5	34.2	52.4	64.1	132.1	63.9
1961	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1962	129.5	127.9	170.3	57.6	23.5	4	11.6	12.4	48.6	52	56.1	152.1
1963	146.8	177.7	141.9	118.2	11.2	10.7	18.4	11.8	18	64.6	99.1	106.8
1964	88.9	105.5	164	64.5	71.4	3.5	13.2	24.6	53	176	146.3	97.9
1965	88.5	158.3	164.5	79.3	47.4	5.5	22	41	119.1	74.7	93.4	146.2
1966	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1967	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1968	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1969	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1970	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1971	161.5	112.2	93.2	26.7	39.6	12.2	11.5	37.4	39.2	179.5	80.7	194.3
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1973	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1974	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1975	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1976	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1977	256	276	223	76	47	17	14	90	50	84	180	76
1978	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1979	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1981	381	543	231	171	40	26	0	159	94	250.6	438	230
1982	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	252	343	272	102	42	55	31	57	68	132	220	90
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	261	202	200	85	69	24	15	119	174	222	234	262.4
1987	239.9	157.9	150.9	51.9	73.9	36.7	41.2	31.4	67.9	88.3	101.3	164.6
1988	232.2	153.1	122.7	140.8	33.7	7.2	0	12.6	46.8	210.6	165.2	241.7
1989	195.5	162.2	122	102.4	31.9	91.4	24.9	36.4	110.4	114	96.3	75.6
1990	60.2	157.1	129	69.1	52.5	74.3	7.3	12.6	97.1	102.7	172.7	179.1
1991	89.5	44.2	219.7	66.7	44.7	47.5	12.1	0.7	57.6	163	128.2	58.4
1992	100	78.1	106	76	8.5	29.9	3.2	48.5	60.8	93.2	24.6	139.6
1993	156.1	140.5	170.7	139.9	64.9	1.9	12	41.9	53.6	218.1	254.1	207.4
1994	234.8	194.6	149.2	109.1	69.2	47.5	51.8	32	54.4	121	103.1	133.2
1995	109	109.1	194.4	72.2	40.2	6.2	74	0	44	84.7	125.9	105.9
1996	75.8	154.5	207.4	155	47	15	15	31	62	140	155	170
1997	217	248	295	155	47	15	15	31	25	72.8	125.3	131.6
1998	91.5	214.2	112	72.2	47	15	15	31	62	140	155	170
1999	168	142	135	100	60	20	18	15	35	80	113	140
2000	120	200	165	80	60	90	52	21	86	112	84	53
2001	74	83	90	50	30	22	18	19	24	49	99	110
2002	100	99	175	75	49.2	24.7	9.5	4.1	24.2	143.6	120.7	170
PROM	156.12	173.50	159.82	90.54	46.60	25.49	17.93	31.95	59.81	118.62	130.20	139.57
DES.V. STA	71.51	91.35	54.00	34.81	18.95	23.25	15.76	33.05	32.01	53.13	75.62	53.78
MAX.	381.00	543.00	295.00	171.00	101.00	91.40	74.00	159.00	174.00	250.60	438.00	262.40
MIN.	60.20	44.20	67.80	26.70	8.50	1.50	0.00	0.00	18.00	49.00	20.80	53.00

Fuente: SENAMHI
S/D: SIN DATO

BALANCE HIDRICO

PRECIPITACION DE EXCEDENCIA (mm) - PROBABILIDAD DE WEIBULL

MICROCUENCA TAJO ABIERTO

Nº	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Prob (%)
1	195.1	280.2	233.9	143.3	98.8	59.4	46.4	92.9	116.5	175.6	185.1	208.3	1.47
2	187.0	273.3	226.9	137.5	69.8	49.8	41.1	75.2	112.0	172.2	176.1	199.5	2.94
3	185.9	270.6	218.1	127.5	64.5	40.2	37.4	72.4	110.5	170.3	165.9	195.1	4.41
4	184.9	253.4	197.7	115.6	62.6	39.0	31.3	66.4	106.3	165.3	165.8	190.1	5.88
5	181.9	234.0	183.9	113.0	60.6	38.0	31.1	57.7	85.1	158.5	164.9	187.8	7.35
6	175.1	229.7	180.0	111.5	60.6	37.8	27.3	55.4	80.9	154.5	161.4	176.9	8.82
7	174.1	228.9	179.9	102.7	56.2	37.2	25.9	53.9	79.2	146.3	158.1	169.4	10.29
8	173.7	209.3	179.2	101.4	55.8	36.3	25.9	41.3	72.4	137.9	151.6	160.4	11.76
9	171.2	202.5	173.1	100.6	52.9	35.5	25.9	40.2	72.1	133.5	144.5	157.5	13.24
10	162.4	201.2	172.3	99.3	49.8	35.1	25.5	40.1	64.5	133.0	143.4	156.1	14.71
11	160.8	184.0	171.2	94.9	49.0	35.1	25.4	36.6	62.8	132.3	143.1	154.6	16.18
12	158.7	173.8	166.6	90.6	47.0	35.1	25.1	35.7	61.6	131.9	132.4	148.8	17.65
13	158.0	173.1	163.6	89.4	47.0	32.1	23.5	35.5	58.7	131.5	132.1	148.7	19.12
14	155.6	172.2	161.8	87.2	46.4	30.3	23.0	35.2	57.9	128.1	131.1	147.9	20.59
15	155.0	169.2	161.1	83.1	46.0	30.3	22.7	33.5	57.7	127.3	129.2	146.4	22.06
16	150.5	166.8	160.9	79.2	44.7	30.1	22.5	33.0	56.7	126.6	128.1	144.9	23.53
17	150.5	163.4	160.8	77.8	44.2	29.3	22.1	32.9	56.1	126.3	126.2	143.0	25.00
18	149.7	160.4	160.4	77.6	43.2	28.9	21.5	31.7	55.4	115.4	120.7	142.8	26.47
19	145.1	160.4	159.2	74.5	43.2	26.4	21.5	29.3	52.8	107.7	114.6	141.3	27.94
20	143.7	155.7	156.5	74.3	43.0	26.4	20.5	29.3	51.8	106.7	114.4	140.9	29.41
21	143.6	154.8	156.0	71.5	43.0	26.4	20.3	28.5	51.8	105.2	114.4	140.9	30.88
22	143.5	153.9	155.5	71.4	43.0	25.9	20.3	28.4	51.8	104.7	113.7	138.9	32.35
23	141.6	149.7	146.7	71.2	42.2	25.6	20.2	28.3	51.3	103.5	111.5	135.2	33.82
24	140.9	144.0	146.7	71.1	41.3	24.9	19.3	28.3	50.9	100.8	109.4	129.1	35.29
25	140.9	143.1	145.7	71.1	40.6	23.3	19.1	27.4	49.9	100.6	107.2	127.0	36.76
26	139.2	140.9	144.1	70.5	38.7	21.5	18.0	26.1	49.8	100.4	105.2	125.0	38.24
27	136.0	139.9	142.8	70.4	38.1	21.5	16.6	26.0	49.7	100.2	101.7	123.2	39.71
28	135.4	138.8	139.6	69.6	38.0	21.5	16.4	25.4	48.9	98.8	101.5	122.2	41.18
29	133.0	135.0	138.8	69.5	36.2	20.4	15.7	24.1	48.8	95.9	101.2	121.7	42.65
30	133.0	132.9	135.8	68.0	36.2	18.7	15.7	22.0	47.5	88.6	99.8	121.3	44.12
31	132.2	132.1	133.5	67.5	34.2	18.6	15.7	19.6	46.9	88.5	99.0	121.0	45.59
32	131.6	131.8	132.4	65.6	33.4	16.6	15.4	19.6	46.4	88.0	98.8	119.2	47.06
33	130.2	128.3	130.6	65.6	32.7	16.6	14.9	19.3	46.4	87.1	97.5	118.5	48.53
34	128.5	126.0	130.1	64.6	32.3	15.6	14.8	19.3	45.6	86.9	96.9	117.4	50.00
35	128.4	125.1	126.6	63.6	31.7	15.5	14.8	18.8	45.0	86.4	96.4	116.4	51.47
36	126.7	123.2	124.4	63.1	31.4	15.4	13.7	18.6	43.9	86.1	95.9	115.0	52.94
37	125.3	122.3	124.2	62.6	31.4	14.7	13.5	18.4	43.8	83.3	95.0	111.2	54.41
38	124.6	122.2	124.2	61.2	30.5	11.9	13.2	17.5	43.5	82.7	91.4	109.2	55.88
39	123.6	121.5	123.6	60.6	29.8	11.9	12.9	17.3	42.7	78.7	90.9	106.0	57.35
40	123.3	120.3	121.4	59.1	29.7	11.3	12.9	15.5	40.8	78.3	87.1	105.3	58.82
41	122.5	118.3	121.1	58.7	28.2	11.2	12.8	15.3	40.8	76.4	86.8	104.5	60.29
42	121.3	114.4	120.8	58.6	26.0	11.2	12.4	15.3	40.5	74.6	85.5	101.2	61.76
43	119.8	113.5	119.4	57.1	26.0	10.8	12.4	14.7	39.5	73.1	84.1	100.3	63.24
44	119.3	109.7	113.5	57.1	25.4	10.8	11.9	14.3	38.8	72.4	83.7	99.8	64.71
45	118.8	107.6	109.6	56.3	24.3	10.8	11.9	12.7	38.4	71.6	83.0	96.6	66.18
46	116.4	103.2	109.4	56.0	23.7	10.5	11.5	12.7	38.4	70.7	81.5	95.8	67.65
47	109.2	102.8	107.2	55.3	23.0	10.4	11.3	12.1	38.3	69.4	80.9	94.9	69.12
48	109.2	101.5	106.7	54.2	22.8	10.1	11.2	11.7	38.2	69.2	80.3	94.9	70.59
49	105.3	100.2	106.6	52.8	22.6	9.9	10.8	11.7	35.4	67.5	78.9	93.9	72.06
50	102.3	97.3	105.9	52.8	22.2	9.6	9.8	11.5	35.1	66.2	75.9	87.1	73.53
51	94.9	96.7	104.7	51.8	21.2	9.1	9.6	8.7	34.5	65.8	75.3	86.9	75.00
52	91.9	96.2	100.0	51.8	21.2	8.1	9.3	8.5	34.2	63.2	74.3	86.6	76.47
53	91.3	91.9	99.6	51.6	18.6	8.1	9.1	8.5	33.7	62.8	71.4	84.3	77.94
54	91.0	90.3	97.0	51.0	18.4	6.8	8.3	8.1	33.4	62.7	67.5	83.1	79.41
55	90.3	88.7	92.2	49.3	17.2	6.8	7.8	8.0	32.6	62.0	66.2	83.1	80.88
56	90.0	88.0	91.2	48.7	17.1	6.2	7.6	7.0	32.4	60.5	64.5	81.2	82.35
57	87.0	87.7	90.3	47.5	17.1	5.9	6.4	6.0	31.3	58.3	62.2	70.4	83.82
58	86.6	83.7	88.2	47.0	16.6	5.9	5.9	5.2	29.8	57.7	60.6	67.9	85.29
59	84.9	82.6	86.1	45.9	15.8	5.4	5.9	5.0	29.3	57.7	59.8	67.5	86.76
60	82.0	74.3	80.9	45.1	15.7	5.2	5.9	4.9	26.0	55.4	56.1	67.4	88.24
61	69.6	74.3	77.6	42.6	13.0	3.9	5.9	4.2	25.6	55.2	54.9	62.5	89.71
62	68.5	71.0	73.9	42.1	12.7	3.4	4.9	3.1	24.5	50.9	47.0	59.6	91.18
63	67.1	69.6	67.9	37.4	11.7	2.0	4.8	2.9	24.5	48.4	46.9	58.9	92.65
64	64.5	63.6	67.5	37.1	11.7	1.5	4.5	2.2	23.5	42.0	44.6	51.8	94.12
65	58.9	60.0	66.3	32.8	11.2	0.6	1.4	2.0	22.1	33.4	39.2	51.0	95.59
66	45.2	52.0	48.9	32.3	11.0	0.0	0.0	1.0	20.5	24.5	22.1	40.8	97.06
67	36.2	32.9	43.8	26.1	8.8	0.0	0.0	0.0	17.6	13.6	20.3	40.8	98.53
Prob (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
20	156.6	172.5	162.5	88.1	46.6	31.0	23.2	35.3	58.2	129.5	131.5	148.2	1,183.2
50	128.5	126.0	130.1	64.6	32.3	15.6	14.8	19.3	45.6	86.9	96.9	117.4	877.8

80	90.8	89.6	96.0	50.7	18.4	6.4	8.0	8.0	33.2	62.7	65.9	82.7	612.4
----	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	------	------	------	------	-------

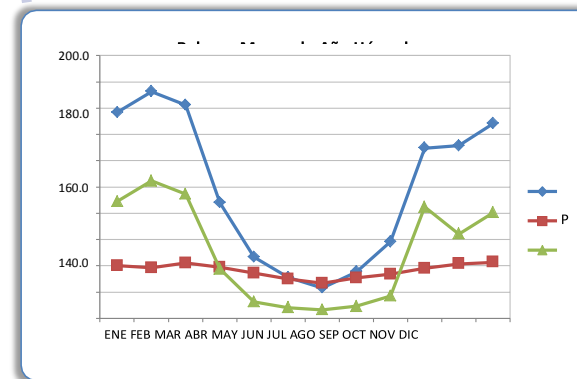
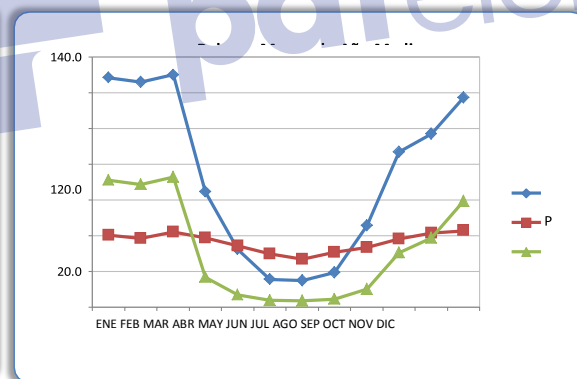
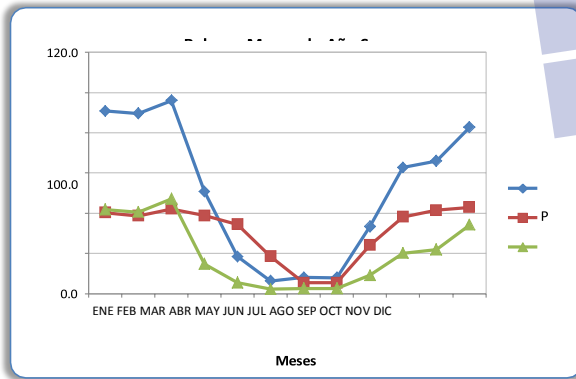


BALANCE HÍDRICO MENSUAL

MICROCUECNA TAJO ABIERTO

Reserva Máxima de Agua (mm):	100.0
------------------------------	-------

Mes	ANO SECO											ANO MEDIO											ANO HUMEDO										
	P Media (mm)	ETc Media (mm)	Eso Media (mm)	Eso Media (l/s/ha)	P-Eso-ETc (mm)	S (mm)	ΔS (mm)	ETR Media (mm)	ETR Media (l/s/ha)	I Media (mm)	I Media (l/s/ha)	P Media (mm)	ETc Media (mm)	Eso Media (mm)	Eso Media (l/s/ha)	P-Eso-ETc (mm)	S (mm)	ΔS (mm)	ETR Media (mm)	ETR Media (l/s/ha)	I Media (mm)	I Media (l/s/ha)	P Media (mm)	ETc Media (mm)	Eso Media (mm)	Eso Media (l/s/ha)	P-Eso-ETc (mm)	S (mm)	ΔS (mm)	ETR Media (mm)	ETR Media (l/s/ha)	I Media (mm)	I Media (l/s/ha)
Ene	90.8	40.3	41.8	0.156	8.8	21.3	8.8	40.3	0.150	0.0	0.000	128.5	40.3	71.2	0.266	17.1	100.0	5.9	40.3	0.150	11.2	0.042	156.6	40.3	88.7	0.331	27.5	100.0	0.0	40.3	0.150	27.5	0.103
Feb	89.6	38.6	40.6	0.168	10.4	31.7	10.4	38.6	0.160	0.0	0.000	126.0	38.6	68.7	0.284	18.7	100.0	0.0	38.6	0.160	18.7	0.077	172.5	38.6	104.6	0.433	29.3	100.0	0.0	38.6	0.160	29.3	0.121
Mar	96.0	42.1	47.1	0.176	6.8	38.5	6.8	42.1	0.157	0.0	0.000	130.1	42.1	72.8	0.272	15.2	100.0	0.0	42.1	0.157	15.2	0.057	162.5	42.1	94.6	0.353	25.7	100.0	0.0	42.1	0.157	25.7	0.096
Abr	50.7	38.8	14.7	0.057	-2.7	35.7	-2.7	38.8	0.150	0.0	0.000	64.6	38.8	16.8	0.065	9.0	100.0	0.0	38.8	0.150	9.0	0.035	88.1	38.8	37.5	0.145	11.8	100.0	0.0	38.8	0.150	11.8	0.045
May	18.4	34.4	5.5	0.020	-21.4	14.3	-21.4	34.4	0.128	0.0	0.000	32.3	34.4	6.8	0.025	-8.9	91.1	-8.9	34.4	0.128	0.0	0.000	46.6	34.4	12.6	0.047	-0.3	95.1	-4.9	34.4	0.128	4.6	0.017
Jun	6.4	29.9	2.2	0.008	-25.8	0.0	-14.3	18.4	0.071	0.0	0.000	15.6	29.9	3.7	0.014	-18.1	73.1	-18.1	29.9	0.115	0.0	0.000	31.0	29.9	8.2	0.032	-7.1	88.0	-7.1	29.9	0.115	0.0	0.000
Jul	8.0	26.8	2.6	0.010	-21.4	0.0	0.0	5.4	0.020	0.0	0.000	14.8	26.8	3.5	0.013	-15.5	57.5	-15.5	26.8	0.100	0.0	0.000	23.2	26.8	6.4	0.024	-10.1	77.9	-10.1	26.8	0.100	0.0	0.000
Ago	8.0	30.7	2.6	0.010	-25.4	0.0	0.0	5.3	0.020	0.0	0.000	19.3	30.7	4.4	0.016	-15.8	41.7	-15.8	30.7	0.115	0.0	0.000	35.3	30.7	9.2	0.034	-4.5	73.4	-4.5	30.7	0.115	0.0	0.000
Sep	33.2	33.5	9.1	0.035	-9.3	0.0	0.0	24.1	0.093	0.0	0.000	45.6	33.5	9.9	0.038	2.2	43.9	2.2	33.5	0.129	0.0	0.000	58.2	33.5	17.1	0.066	7.7	81.1	7.7	33.5	0.129	0.0	0.000
Oct	62.7	38.2	20.2	0.075	4.3	4.3	4.3	38.2	0.143	0.0	0.000	86.9	38.2	30.5	0.114	18.2	62.1	18.2	38.2	0.143	0.0	0.000	129.5	38.2	84.8	0.316	6.5	87.6	6.5	38.2	0.143	0.0	0.000
Nov	65.9	41.5	21.9	0.085	2.5	6.8	2.5	41.5	0.160	0.0	0.000	96.9	41.5	38.7	0.149	16.7	78.8	16.7	41.5	0.160	0.0	0.000	131.5	41.5	64.2	0.248	25.8	100.0	12.4	41.5	0.160	13.3	0.051
Dic	82.7	42.8	34.2	0.128	5.8	12.5	5.8	42.8	0.160	0.0	0.000	117.4	42.8	59.3	0.221	15.3	94.1	15.3	42.8	0.160	0.0	0.000	148.2	42.8	80.4	0.300	25.0	100.0	0.0	42.8	0.160	25.0	0.094



BALANCE HIDRICO ANUAL (mm)

MICROCUENCA TAJO ABIERTO

PERIODO	P ANUAL (mm/año)	ESI ANUAL (mm/año)	ETR ANUAL (mm/año)	ESO ANUAL (mm/año)	I ANUAL (mm/año)
Año Seco	612.4	0.0	369.9	242.5	0.0
Año Promedio	877.8	0.0	437.5	386.2	54.0
Año Húmedo	1183.2	0.0	437.5	608.3	137.3

BALANCE HIDRICO ANUAL (L/s/ha)

MICROCUENCA TAJO ABIERTO

PERIODO	P ANUAL (L/s/ha)	ESI ANUAL (L/s/ha)	ETR ANUAL (L/s/ha)	ESO ANUAL (L/s/ha)	I ANUAL (L/s/ha)
Año Seco	0.194	0.000	0.117	0.077	0.000
Año Promedio	0.278	0.000	0.139	0.122	0.017
Año Húmedo	0.375	0.000	0.139	0.193	0.044



CERRO DE PASCO
 LONGITUD: 76° 15' W
 ALTITUD: 4260 ms.n.m.

PROV.: PASCO
 DIST.: CHAUPIMARCA

REGISTRO DE PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1950	162.2	134.7	183.2	103.7	44.2	23.8	16	2.2	59.2	85.2	99.7	180.8
1951	148.3	276.6	138.8	55.4	50.1	36.3	0	5.1	26.2	56.4	147.7	138.2
1952	126.1	239.2	127.2	72.7	17.6	26.2	13.8	19	44.8	110.1	135	199.5
1953	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1954	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1955	228.1	205.7	239.1	59.9	101	20.9	15.7	19.2	36.2	70.7	20.8	102
1956	104.6	125	109.6	102.8	37	6.3	15.2	28	81	90.5	47.9	68.9
1957	144.8	141.9	75.5	62.6	57.5	26.5	4.6	36.3	82.7	88.8	107.5	117.6
1958	107.6	128.8	164.7	69.5	32.1	7	20.7	14.6	30.5	157.9	77.6	107.7
1959	122.5	188.1	124.1	115.5	62	15.9	9.5	7.2	46	141	87.4	161
1960	135.2	76	67.8	140.6	32.1	1.5	8.5	34.2	52.4	64.1	132.1	63.9
1961	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1962	129.5	127.9	170.3	57.6	23.5	4	11.6	12.4	48.6	52	56.1	152.1
1963	146.8	177.7	141.9	118.2	11.2	10.7	18.4	11.8	18	64.6	99.1	106.8
1964	88.9	105.5	164	64.5	71.4	3.5	13.2	24.6	53	176	146.3	97.9
1965	88.5	158.3	164.5	79.3	47.4	5.5	22	41	119.1	74.7	93.4	146.2
1966	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1967	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1968	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1969	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1970	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1971	161.5	112.2	93.2	26.7	39.6	12.2	11.5	37.4	39.2	179.5	80.7	194.3
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1973	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1974	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1975	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1976	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1977	256	276	223	76	47	17	14	90	50	84	180	76
1978	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1979	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1981	381	543	231	171	40	26	0	159	94	250.6	438	230
1982	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	252	343	272	102	42	55	31	57	68	132	220	90
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	261	202	200	85	69	24	15	119	174	222	234	262.4
1987	239.9	157.9	150.9	51.9	73.9	36.7	41.2	31.4	67.9	88.3	101.3	164.6
1988	232.2	153.1	122.7	140.8	33.7	7.2	0	12.6	46.8	210.6	165.2	241.7
1989	195.5	162.2	122	102.4	31.9	91.4	24.9	36.4	110.4	114	96.3	75.6
1990	60.2	157.1	129	69.1	52.5	74.3	7.3	12.6	97.1	102.7	172.7	179.1
1991	89.5	44.2	219.7	66.7	44.7	47.5	12.1	0.7	57.6	163	128.2	58.4
1992	100	78.1	106	76	8.5	29.9	3.2	48.5	60.8	93.2	24.6	139.6
1993	156.1	140.5	170.7	139.9	64.9	1.9	12	41.9	53.6	218.1	254.1	207.4
1994	234.8	194.6	149.2	109.1	69.2	47.5	51.8	32	54.4	121	103.1	133.2
1995	109	109.1	194.4	72.2	40.2	6.2	74	0	44	84.7	125.9	105.9
1996	75.8	154.5	207.4	155	47	15	15	31	62	140	155	170
1997	217	248	295	155	47	15	15	31	25	72.8	125.3	131.6
1998	91.5	214.2	112	72.2	47	15	15	31	62	140	155	170
1999	168	142	135	100	60	20	18	15	35	80	113	140
2000	120	200	165	80	60	90	52	21	86	112	84	53
2001	74	83	90	50	30	22	18	19	24	49	99	110
2002	100	99	175	75	49.2	24.7	9.5	4.1	24.2	143.6	120.7	170
PROM	156.12	173.50	159.82	90.54	46.60	25.49	17.93	31.95	59.81	118.62	130.20	139.57
DES. STA	71.51	91.35	54.00	34.81	18.95	23.25	15.76	33.05	32.01	53.13	75.62	53.78
MAX.	381.00	543.00	295.00	171.00	101.00	91.40	74.00	159.00	174.00	250.60	438.00	262.40
MIN.	60.20	44.20	67.80	26.70	8.50	1.50	0.00	0.00	18.00	49.00	20.80	53.00

Fuente: SENAMHI
 S/D: SIN DATO