

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

Evaluación hidrogeológica en las labores subterráneas,

zona Catuva - Mina Raura

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. Harly Ederson TUCTO HUERTA

Asesor: Ing. Ramiro DE LA CRUZ FERRUZO

Cerro de Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**Evaluación hidrogeológica en las labores subterráneas,
zona Catuva - Mina Raura**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vidal Victor CALCINA COLQUI
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Ing. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi esposa, hijo y hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

RECONOCIMIENTO

Mi profundo reconocimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a toda la Facultad de Ingeniería, a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero reconocimiento al Ing. DE LA CRUZ FERRUZO, Ramiro, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo

RESUMEN

El estudio comprende la presentación de los resultados de la investigación de campo y la evaluación hidrogeológica de las condiciones actuales de infiltración del agua subterránea en las labores subterráneas. Asimismo, se realiza los estudios básicos relevantes para la caracterización hidrogeológica en el entorno del Complejo Catuva, para lo cual en una primera etapa se ha realizado el inventario de fuentes de agua y el mapeo hidrogeológico en superficie e interior mina para la obtención de información que permita la evaluación hidrogeológica del Complejo Catuva, el cual a su vez se ubica en las altas cumbres de las cabeceras de la cuenca del río Huallaga.

En el Complejo Catuva, la humedad en el subsuelo tiene orígenes en las filtraciones de las aguas superficiales, es decir, es el producto de las lluvias que caen en las cuencas hidrográficas las que al discurrir por el medio geológico se introducen al subsuelo.

Palabras clave: La evaluación hidrogeológica; Infiltración del agua subterránea

ABSTRACT

The study includes the presentation of the results of the field research and the hydrogeological evaluation of the current groundwater infiltration conditions in the underground work. Likewise, the relevant basic studies for hydrogeological characterization in the surroundings of the Catuva Complex are carried out, for which in the first stage the inventory of water sources and the hydrogeological mapping in surface and interior mine has been carried out to obtain information that allow the hydrogeological evaluation of the Catuva Complex, which in turn is located in the high peaks of the headwaters of the Huallaga river basin.

In the Catuva Complex, the humidity in the subsoil has origins in the filtrations of surface waters, that is, it is the product of the rains that fall in the hydrographic basins that when they pass through the geological environment are introduced to the subsoil.

Keywords: Hydrogeological evaluation; Groundwater infiltration

INTRODUCCIÓN

El proyecto estudio hidrogeológico del Complejo Catuva en la mina Raura ,que se presenta se ha realizado por la Compañía Minera Raura SA (Raura) a través de la empresa especializada Hydro-Geo Ingeniería SAC (HydroGeo). Para el cual en una primera etapa se ha realizado el inventario de fuentes de agua y el mapeo hidrogeológico en superficie e interior mina para la obtención de información que permita la evaluación hidrogeológica del Complejo Catuva, que se ubica en las altas cumbres de las cabeceras de la cuenca del río Huallaga.

Ademas se puede concluir que en el Complejo Catuva, la humedad en el subsuelo tiene orígenes en las filtraciones de las aguas superficiales, es decir, es el producto de las lluvias que caen en las cuencas hidrográficas las que al discurrir por el medio geológico se introducen al subsuelo.

EL AUTOR

INDICE

Pág.

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio.....	5
2.2. Bases Teóricas – Científicos:.....	6
2.2.1. Aguas subterráneas o aguas sub-superficiales	6
2.2.2. Modelo conceptual para flujo de aguas subterráneas	7
2.2.3. Dominio y contornos del modelo	8
2.2.4. Recarga y descarga de aguas subterráneas.....	8
2.2.5. Unidades hidrogeológicas y propiedades hidráulicas.....	9
2.2.6. Interacción de aguas subterráneas y aguas superficiales	10
2.2.7. Balance de masa de aguas subterráneas.....	11
2.2.8. Control De Aguas En Proyectos	11

2.2.9. Concepto de abatimiento y control de aguas.....	12
2.2.10. Despresurización de taludes.....	13
2.2.11. Técnicas de control de aguas en minas subterráneas	14
2.2.12. Impermeabilización de la superficie del terreno	14
2.3. Definición de términos básicos	18
2.3.1. Acuífero [aquifer] (del latín fero, llevar).....	18
2.3.2. Acuicludo [aquiclude] (del latín cludo, encerrar).....	18
2.3.3. Acuitardo [aquitard] (del latín tardo, retardar, impedir).....	19
2.3.4. Acuífugo [aquifuge] (del latín fugo, rechazar, ahuyentar).....	19
2.3.5. Unidad hidrogeológica (en inglés, a veces “sistema hidrogeológico”).....	20
2.4. Formulación de hipótesis	20
2.4.1. Hipótesis general	20
2.4.2. Hipótesis específicas	20
2.5. Identificación de variables.....	20
2.5.1. Variables independientes	20
2.5.2. Variables dependientes	21
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores	21

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

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

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DEISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	26
4.1.1. Generalidades.....	26
4.1.2. Ubicación.....	26
4.1.3. Accesibilidad	27

4.1.4. Climatología	27
4.1.5. Precipitación	28
4.1.6. Geomorfología	30
4.1.7. Geología.....	31
4.1.8. Hidrografía	35
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados	36
4.2.1. Balance hídrico	36
4.2.2. Situación actual del agua en el complejo Catuva.....	43
4.2.3. Características del flujo del agua en interior mina	45
4.2.4. Sistema de minado y drenaje	53
4.2.5. Sistema de recarga del acuífero	56
4.2.6. Sistema de descarga del acuífero.....	56
4.2.7. Geometría del acuífero	57
4.2.8. Calidad química del agua.....	57
4.2.9. Aseguramiento y control de calidad (QA/QC).....	59
4.2.10. Evaluación química del agua	61
4.3. Prueba de hipótesis	66
4.4. Discusión de resultados	67

CONCLUSIONES

RECOMENDACIÓN

BIBLIOGRAFIA

ANEXO

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.

La presente tesis se realiza porque la Compañía Minera Raura, tiene el proyecto de profundizar sus labores y con ello se incrementará el caudal de las aguas subterráneas que definitivamente hace difícil realizar la explotación de las labores.

La evaluación hidrogeológica que se realiza es para conocer cómo se puede optimizar el manejo de aguas en interior mina.

Asimismo, el propósito de realizar este trabajo es determinar el comportamiento hidrogeológico de la zona Catuva y las estructuras geológicas con las aguas subterráneas.

El incremento del caudal se produce por: Infiltración por precipitación, “flujo en conducto” (en cársticos interconectados) e Infiltración a través de fracturas y permeabilidad del macizo rocoso.

1.2. Delimitación de la investigación

Al recurrir a fuentes escritas encontramos un mapa de la ubicación de la Mina Raura, y obtuvimos la siguiente información:

- El yacimiento minero de Raura, se ubica en la cima de la Cordillera.
- Occidental, políticamente entre los Departamentos de Huánuco (Provincia de Lauricocha) y Lima (Provincia de Oyón) a una altitud de 4 500 a 4 800 m. s. n. m

Coordenadas U.T.M. son:

- 8 845 500 Norte.
- 309 700 Este

Figura N° 01. Ubicación y accesos a Mina Raura



Fuente: Compañía minera Raura S.A.

1.3. Formulación del problema

Para la formulación del problema se plantea las siguientes interrogantes:

1.3.1. Problema general

¿La evaluación hidrogeológica determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cuáles son las características hidrogeológicas de la Zona Catuva?

¿Cuáles son los controles estructurales en la determinación de la permeabilidad del macizo rocoso?

1.4. Formulación de objetivos

La investigación tiene los siguientes objetivos:

1.4.1. Objetivo general

Determinar las características hidrogeológicas que influyen en la zona Catuva de la Mina Raura.

1.4.2. Objetivos específicos

Caracterizar la geología e hidrogeología del yacimiento.

Conocer los controles estructurales de la permeabilidad de la zona Catuva.

1.5. Justificación de la investigación

El presente estudio se justifica porque es necesario determinar la influencia de las aguas subterráneas en las labores profundas de la mina Raura, de acuerdo a la planificación minera, permitiendo la toma de decisiones en la gestión de producción del yacimiento.

1.6. Limitaciones de la investigación

Los datos utilizados en el proyecto se tomaron solo en la zona mencionada y por lo tanto los resultados son aplicables solo en la zona estudiada, los datos para otros estudios se tomarán solo como referencia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio.

Como antecedentes se tiene:

El estudio realizado en 2010, como parte del desarrollo de la Ingeniería de Detalle para Cierre de 42 Bocaminas se abordaron aspectos hidrogeológicos (Pasmaaa, 2010).

Como un antecedente utilizado en el proyecto se tiene la Tesis intitulada “La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en Compañía Minera Raura S.A.C. de C.D. Inga M.(2016), donde nos explica la geología y detalles de las labores subterráneas.

Asimismo se tiene la investigación “Estudio hidrogeológico para sustentar la disponibilidad hídrica subterránea para pozo tubular de reemplazo - Monsanto Perú

- Villacuri - Ica” desarrollado por F. M. Chavez V.(2017), donde nos detalla la caracterización hidrogeológica desarrollada.

2.2. Bases Teóricas – Científicos:

2.2.1. Aguas subterráneas o aguas sub-superficiales

Es el término usado para denotar toda el agua que se encuentra abajo de la superficie del terreno, el cual se almacena en los poros entre los granos minerales, en fracturas, o en estructuras cársticas del macizo rocoso. Esta agua es generalmente proveniente de la precipitación o por derretimiento de nieve que se infiltra a través del suelo hasta almacenarse en unidades rocosas subyacentes. “El contorno entre la zona saturada y la zona no- saturada, donde la presión de poros es cero ($p = 0$), relativa a la presión atmosférica, es denominada de superficie freática, también conocida como nivel de superficie de aguas subterráneas” (Atkinson, 2001). Los materiales que se encuentran abajo de esta superficie determinan el comportamiento del flujo, pudiendo subdividirse en dos grupos: materiales de alta conductividad (tales como rocas fracturadas, gravas y arenas) que permiten un drenaje bastante rápido, y por otro lado, materiales de baja conductividad (tales como arcillas y limos).

El movimiento de aguas subterráneas puede ser influenciado por distintos factores, de los cuales, de acuerdo con Fetter (1994), el principal es la fuerza de gravedad, la cual actúa para atraer el agua para abajo, en dirección al centro de la Tierra. En segundo lugar, está la presión que viene de arriba de la zona saturada que genera una presión la cual provoca un movimiento en

el agua. Una tercera fuerza es aquella referida como atracción molecular, la cual provoca que el agua se adhiera a los contornos de la superficie sólida creando una tensión superficial cuando están expuestas al aire.

2.2.2. Modelo conceptual para flujo de aguas subterráneas

El modelo conceptual es una representación simplificada de las características esenciales del sistema físico hidrogeológico y de su comportamiento hidráulico, en el cual diversas asunciones son hechas porque la completa reconstrucción del sistema es compleja, además de que raramente existen datos que abarcan todo el sistema ya sea espacial o temporalmente.

El modelo conceptual debe ser desarrollado usando el principio de simplicidad, i.e., el modelo debe ser tan simple como posible, pero, manteniendo una consistencia lo suficiente para: (i) representar adecuadamente los elementos físicos del sistema, (ii) reproducir el comportamiento del sistema a ser estudiado; y (iii) facilitar las respuestas relacionadas a los objetivos del modelaje. La verificación del modelo conceptual puede ser hecha al convertir éste en un modelo matemático, calibrándolo con los datos de campos observados, e.g.; cargas hidráulicas observadas versus cargas hidráulicas medidas en el campo. El modelo conceptual normalmente implica un proceso iterativo y debe ser continuamente actualizado mientras que nuevos datos estén disponibles o mientras que el entendimiento del sistema sea mejorado.

2.2.3. Dominio y contornos del modelo

En la mayoría de los casos, el dominio del modelo conceptual será el mismo que el dominio usado para el modelo numérico o podría ser más grande si el proyecto fuera a usar diferentes sub-modelos para cubrir diferentes aspectos del lugar (e.g., un modelo numérico separado para representar la mina a cielo abierto y otro para representar su presa de residuos). De acuerdo con Wels et al. (2012), los contornos más comunes usados en el modelaje de aguas subterráneas en proyectos de gran envergadura, como en la minería, incluyen: Líneas divisorias de agua de la cuenca (representando líneas de flujo divergente) Valles (representando líneas de flujo convergente) Cuerpos de agua de gran volumen tales como océanos, lagos, ríos (representando áreas con carga hidráulica conocida) Contornos geológicos tales como contactos de roca impermeable o fallas (representando características de gran escala en las cuales el comportamiento hidráulico es conocido o asumido) Condición de flujo nulo perpendicular a las líneas de flujo.

2.2.4. Recarga y descarga de aguas subterráneas

La recarga de aguas subterráneas es definida como el flujo de agua descendiente que alcanza el nivel freático acrecentando el almacenamiento de aguas subterráneas (Healy, 2010). La recarga de aguas subterráneas ocurre de forma difusa (Directa) o por medio de mecanismos focalizados (Indirecta). La recarga difusiva es distribuida alrededor de grandes áreas en respuesta a la infiltración de la precipitación en la superficie del suelo

percolando a través de la zona no saturada hasta alcanzar el nivel freático, siendo ésta la principal fuente de infiltración al sistema de aguas subterráneas (Healy, 2010). La recarga focalizada es el movimiento a partir de cuerpos de aguas superficiales, tales como, ríos, canales, o lagos. La descarga de aguas subterráneas puede ser definida como el flujo que abandona el área en estudio o a las que descargan en las aguas superficiales. Por ejemplo, en este mecanismo la Evapotranspiración (ET) puede ser considerado un sistema de descarga, siendo éste definido como combinados de evaporación a partir de la superficie del terreno y transpiración por las plantas a partir de sus raíces. Generalmente, la ET es considerada activa en las zonas de las raíces, i.e., hasta una profundidad de 4 a 6 metros debajo de la superficie. En áreas de recarga de aguas subterráneas (e.g. áreas de grandes elevaciones) el nivel del agua subterránea está típicamente debajo de las zonas de las raíces y la ET es tomada en cuenta implícitamente (i.e., por ajuste de la recarga). La descarga del agua subterránea en áreas de planicie (e.g. valles, terrenos húmedos), la superficie freática está próxima a la superficie y la influencia de la ET en el balance de aguas subterráneas puede ser significativa y podría ser tomado en cuenta explícitamente.

2.2.5. Unidades hidrogeológicas y propiedades hidráulicas

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

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

2.2.6. Interacción de aguas subterráneas y aguas superficiales

La interacción de aguas subterráneas con las superficiales es un aspecto importante, que ocurre en la mayoría de las cuencas, y, es gobernada por la diferencia entre el nivel de la superficie freática y la elevación de las aguas superficiales (Winter et al., 1998). Si el nivel de la superficie freática es superior que el nivel del agua de la corriente superficial, el agua subterránea descarga en el agua superficial (Figura 1a). Si el nivel del agua de la corriente superficial fuera más grande que el nivel de la superficie freática, el agua superficial sirve como fuente de agua para el agua subterránea (Figura 1b). Otro caso identificado es cuando la superficie freática está abajo del fondo de la corriente de agua, tal caso es identificado como fuentes desconectadas (Figura 1c).

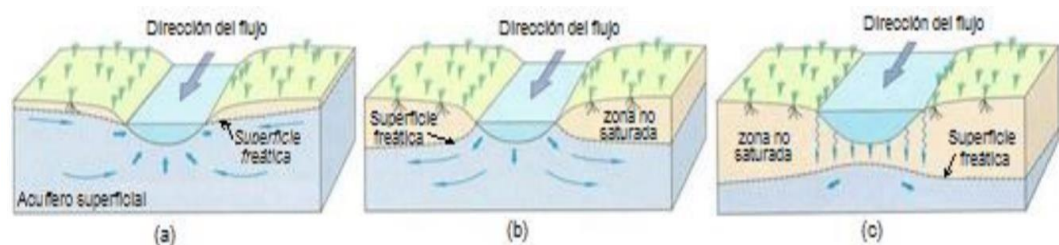


Figura 1 - Representación esquemática (a) superficie freática mayor que el nivel del río (b) superficie freática menor que el nivel en el río (c) corriente del río desconectada del acuífero.

Fuente: Reproducido de Winter et al., 1998

2.2.7. Balance de masa de aguas subterráneas

El balance de masas proporciona una relación cuantitativa entre los diferentes aspectos del modelo de flujo conceptual, i.e., la recarga de aguas subterráneas (infiltración) y la descarga de aguas subterráneas (exfiltración). En la mayoría de los casos un análisis en estado de flujo permanente para la evaluación del balance de masas es adecuada para la formulación del modelo conceptual. Un balance de masas en estado transitorio (el cual toma en cuenta las variaciones de la infiltración/exfiltración en función del tiempo, así como de su almacenamiento) es requerido en el modelo conceptual sólo si el aspecto transitorio de flujo fuera el foco de estudio.

2.2.8. Control De Aguas En Proyectos

Existen muchas evidencias a lo largo de la historia de la civilización en que el hombre mostró haber hecho intentos para efectuar el control de aguas y este proceso no es tan simple como parece (Powers et al., 2007). Hoy en día es de gran importancia el entendimiento de los diferentes procesos utilizados en el gerenciamiento del controle de aguas subterráneas en la mineralización, donde y hasta en situaciones simples, la matemática del flujo subterráneo es compleja, y acuíferos naturales están lejos de la simplicidad. La infiltración de agua a partir de estratos circundantes para el interior de la cava o pedrera requiere de la implementación de un sistema de control para un proceso de abatimiento con el intuito de asegurar que el lugar de trabajo permanezca seco. En este tipo de procesos, un concepto mal interpretado de un análisis no asociado con juzgamientos hidrogeológicos

hace con que el procedimiento de abatimiento sea afirmado como un proceso a ser realizado en cualquier lugar donde hay problemas relacionados con el agua. Entretanto, este proceso es más que un simple abatimiento de la superficie piezométrica, y va más allá que meramente instalar un pozo de bombeo.

2.2.9. Concepto de abatimiento y control de aguas

El proceso de abatimiento y monitoramiento del nivel freático es difícil, caro y frecuentemente confuso. Este encarecimiento significativo incentivó por los años 50 el desenvolvimiento de técnicas prácticas para ensayos y análisis en acuíferos, direccionados para el abastecimiento de agua e irrigación, como las propuestas por los hidrólogos Muskat, Theis, Jacob, Hantush y otros; y esos métodos fueron después adaptados a la solución de problemas de abatimiento de la superficie freática. De acuerdo con Hall (2003), el “abatimiento del nivel freático” envuelve la remoción de una cantidad de agua de la masa rocosa o perfil de suelo, de tal forma que los niveles de agua sean abatidos para brindar seguridad y economía a la mina. Físicamente este proceso es definido como un drenaje de los poros dentro de la masa del suelo o roca, y que resulta en el abatimiento del nivel freático. Cuando aplicado en la industria de la minería, los procesos de abatimiento de la superficie freática y control de las aguas, por crear el cono extensivo de depresión, causan beneficios principalmente por reducir los costos de explosión, i.e., cuando el mineral está seco, menos emulsión explosiva es requerida, reduciendo hasta los costos de transporte (combustible) y el desgaste de la

máquina y también la mejora en la traficabilidad y calidad del mineral (Rowe & Beale, 2007). Sin embargo, la aplicabilidad de estos procesos debe ser bien conceptualizada, donde un análisis técnico-económico deba ser ampliamente estudiado para que solamente lo necesario sea ejecutado por la industria de la minería para un buen funcionamiento de los procesos de minería, de tal forma que la naturaleza no se vea afectada por estos cambios. Técnicas para el control de aguas deben ser puestas en prácticas para idealizar un sistema que no sea antieconómico y que al mismo tiempo no perjudique la naturaleza.

2.2.10. Despresurización de taludes.

Este mecanismo de despresurización es un problema común en taludes profundos en proyectos de mineralización, que requieren reducir el potencial de presión excesiva dentro de los taludes de la cava. También, se presenta como levantamiento de la base de la cava bajo la presencia de secuencias de acuíferos incorporados en estratos blandos de aquícludes. Aunque la fluctuación de la presión de poros sea un factor importante que contribuye al deslizamiento, es muy importante entender las reales interacciones de la presión de poros que ocurren en una superficie de deslizamiento a lo largo de la profundidad debido a la naturaleza compleja de las condiciones hidrogeológicas (Tsao et al., 2005). En minas a cielo abierto, más del 40% de los riesgos de inestabilidad de taludes dependen de sus condiciones de flujo. Consecuentemente, el ángulo que un talud a ser escavado en seguridad debe tener es definido en función del campo de

presión de poros presente en éste. Así, para prevenir su ruptura, un sistema de drenaje debe ser instalado. Para Powers et al., 2007; Atkinson, 2001 y Brown, 1981, la importancia del control de las aguas superficiales en los taludes es destacada.

2.2.11. Técnicas de control de aguas en minas subterráneas

Los Métodos de control consisten en la prevención (limitación de la infiltración de las aguas, o bombeo antes de que éstas entren en la mina), o en el bombeo del agua desde la mina. Existen diversas técnicas de control, pero sólo algunas de estas son prácticas y económicamente aplicables para minas subterráneas. A continuación, una breve descripción de las técnicas más implementadas:

- Impermeabilización de la superficie de terreno
- Congelamiento del terreno
- Grouting
- Drenaje de mina

2.2.12. Impermeabilización de la superficie del terreno

Este método consiste en la impermeabilización de las fuentes de aguas superficiales (e.g., ríos) que descargan agua en el acuífero, la cual podría percolar en dirección a la mina. Este método fue usado con suceso en varias minas al redor del mundo. En la mina Neves-Corvo en Portugal, el sellamiento del curso de un río fue hecho con concreto reforzado e inyecciones de shotcrete en las bancas del río (Figura 0.1), lo que redujo substancialmente el flujo de infiltración a la mina (Carvalho et al., 1990).

Otra impermeabilización con resultados exitosos del curso de un río que fluía alrededor de un área impactada por subsidencia fue reportada en Konkola Mine en la Zambia (Freeman, 1970). En esta mina fueron selladas las trincas generadas por subsidencia. Esta técnica está siendo aplicada en esta tesis para el caso de la mina subterránea, estudiando la impermeabilización parcial o total del río circunyacente a la mina de Vazante. 37 Figura 0.1 - Esquematación de los trabajos de concreto en el río Oerias. Fuente: Carvalho, 1990

3.3.2 Congelamiento del terreno

El principio de este método es tornar el agua del suelo en una pared de hielo, generadas por la circulación de un fluido criogénico dentro de un sistema de tubos verticales, los cuales son instalados alrededor del objetivo, generando, de esa forma, un muro completamente impermeable (cut-off). El congelamiento puede ser un método muy eficiente en determinadas condiciones hidrogeológicas, pero, el estudio económico es muy importante debido a que este método es muy costoso no siendo normalmente viable su aplicación en minas subterráneas, pero existen muchos registros exitosos de su uso en la impermeabilización de shaft. A diferencia de otros métodos de cut-off, congelamiento del terreno es una técnica poco invasiva, ya que ésta requiere menos penetración en comparación con los otros métodos, debido a que su efectividad se propaga térmicamente. Una vez instalado este sistema de piping, el congelamiento del terreno permanece activo por mientras que el sistema esté operando, y una vez que el sistema parar, el medio subterráneo vuelve a su estado inicial.

3.3.3 Grouting

Aunque el grouting tenga diversas

aplicaciones, en este caso, es uso preferencialmente para eliminar o reducir el flujo de agua subterránea en trabajos de mineración Margen izquierda Margen derecha Sección longitudinal 100 m >4 m Leyenda Aluvión Embasamiento rocoso Concreto Malla de acero Ancoraje 0.3 m 0.3 m Sección transversal 38 subterránea propuestos o existentes. Sea cual fuera el problema de infiltración es necesario que las causas sean estudiadas completamente antes de aplicar el método de grouting adecuado. Existen 2 fases principales en la vida útil de una mina subterránea, donde de alguna forma el grouting para el control de aguas es requerido: Desarrollo y puesta en marcha – Durante la construcción del shaft o superficies de desvío y desarrollos preliminares de la mina subterránea para ganar acceso al cuerpo mineralizado. Producción/operación – Cuando se trata con problemas de aguas subterráneas en el avance de la producción o en la construcción de nuevos caminos subterráneos. Típicamente esta técnica consiste en perforaciones de aproximadamente 90 mm de diámetro, realizadas hasta las profundidades establecidas en el proyecto. En terreno seco el furo realizado es lavado y, posteriormente, el cemento de grout es inyectado y acomodado dentro de éste por vibración a través de un tubo de alta presión (standpipe) de diámetro nominal 2 pulgadas. Esta técnica además de ser muy cara, genera muchas incertezas durante su aplicación debido a que no se conoce a lo cierto a las formaciones del medio poroso a grandes profundidades y, también, porque el monitoreo para verificar la eficacia de esta técnica es limitado por no proporcionar valores realísticos

de las conductividades hidráulicas de las zonas con y sin grout. Por lo tanto, su uso es normalmente dirigido apenas para controlar el flujo de aguas en la construcción del shaft, donde la barrera de grout funcionará sólo para un período de tiempo limitado.

3.3.4 Drenaje de mina

Este método más comúnmente usado para el control de las aguas en la mineración subterránea, y puede variar desde una simple captación de aguas infiltradas en la mina (por medio de las fracturas o a través del propio medio poroso), hasta procedimientos más complejos que involucran la instalación de pozos de abatimiento a partir de la superficie del terreno, perforaciones de drenaje situada dentro de la mina o por medio de galerías de drenaje.³⁹ La técnica de abatimiento usando pozos verticales perforados es una práctica común en minas a cielo abierto, pero, este método también es empleado en minas subterráneas siempre que el análisis económico sea viable. Una de las ventajas de esta técnica es que es ejecutada normalmente antes de los trabajos y no causa interferencias con las operaciones mineras, aparte de que consigue extraer el agua limpia. Dentro de las desventajas se encuentran los costos de perforación y bombeo, así como las limitaciones en profundidades alcanzadas en el abatimiento, debido a que estos sistemas difícilmente pueden alcanzar las profundidades de la mina subterránea. Normalmente estos métodos son usados en combinación con perforaciones de drenajes instalados en el interior de la mina. Perforaciones profundas de pozos de bombeo a partir de la superficie del terreno son capaces de bombear grandes volúmenes de agua y han sido práctica común en los últimos años en los

Estados Unidos. Existen al menos tres minas subterráneas de oro en el oeste de los Estados Unidos donde pozos profundos de bombeo son el principal sistema de abatimiento. Estas minas, localizadas en Nevada (Meikle, West Leeville, y Turquoise Ridge), usan grandes diámetros de pozos (25 – 40 cm) y bombas sumergibles capaces de bombear hasta 360 m³ /h (8640 m³ /d). En el estudio de caso, referente a la mina subterránea de Vazante, este sistema de drenaje fue el principal método empleado para el abatimiento de la superficie freática en la mina.

Técnicas de control de aguas en minas a cielo abierto Técnicas pueden ser agrupadas en dos categorías principales: Las técnicas activas o también llamadas de técnicas de abatimiento avanzadas, y las técnicas pasivas también conocidas como técnicas de abatimiento a tiempo real.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Acuífero [aquifer] (del latín fero, llevar)

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Ejemplos: Arenas, gravas. También granito u otra roca compacta con una fracturación importante.

2.3.2. Acuicludo [aquiclude] (del latín cludo, encerrar)

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.

Ejemplo: Limos, arcillas. Un m³ de arcillas contiene más agua que el mismo volumen de arenas, pero el agua está atrapada, no puede salir por gravedad, y por tanto no podrá circular en el subsuelo ni en condiciones naturales ni hacia un pozo que esté bombeando.

2.3.3. Acuitardo [aquitard] (del latín tardo, retardar, impedir)

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad. Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre los dos anteriores.

Ejemplos: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas.

2.3.4. Acuífugo [aquífuge] (del latín fugo, rechazar, ahuyentar)

Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella. Ejemplo: granito o esquisto inalterados y no fracturados.

De estas cuatro denominaciones, es la menos utilizada.

No se trata de definiciones en sentido estricto, ya que no tienen unos límites precisos que permitan delimitar si una formación concreta se incluye o no en la definición, pero son términos utilizados constantemente en la bibliografía hidrogeológica (el primero de ellos usado en el lenguaje común)

En una región sin mejores recursos, una formación de la que una captación pudiera extraer 0,5 litros/seg. se denominaría “acuífero”, y su explotación sería interesante. En cambio, en una zona con buenos acuíferos, esa

formación se denominaría “mal acuífero” o “acuífero pobre” o “acuitardo”, y probablemente una perforación con ese caudal se cerraría.

2.3.5. Unidad hidrogeológica (en inglés, a veces “sistema hidrogeológico”)

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

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación hidrogeológica determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.

2.4.2. Hipótesis específicas

Las características geológicas e hidrogeológicas determinan el comportamiento del agua en las labores.

Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos determinan el comportamiento hidrogeológico en las labores.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

La evaluación hidrogeológica.

2.5.2. Variables dependientes

Comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Variables		Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable Independiente	La evaluación hidrogeológica	La evaluación hidrogeológica que se realiza es para conocer cómo se puede optimizar el manejo de aguas en interior mina.	Características hidrogeológicas de la Zona Catuva-Mina Raura	Caracterizar la geología e hidrogeología del yacimiento.	Registro y codificación de datos
Variable Dependiente	Comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.	Determinar el comportamiento hidrogeológico de la zona Catuva y las estructuras geológicas con las aguas subterráneas.	Controles estructurales en la determinación de la permeabilidad del macizo rocoso	-Conocer los controles estructurales de la permeabilidad de la zona Catuva-Mina Raura	

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El proyecto a desarrollar estará basado en tres tipos de investigación: exploratorio, descriptivo y explicativo.

***Exploratorio**, se hizo un trabajo de exploración para realizar la investigación de manera profunda y determinar las características hidrogeológicas y la permeabilidad del macizo rocoso de la Zona Catuva- mina Raura.

Se trata de un proceso para tener información básica relacionada con el problema de investigación.

***Descriptivo**, se enfoca en la descripción e identificación de evaluación hidrológica sobre el comportamiento del agua en las labores subterráneas y la estructura del macizo rocoso de la Zona Catuva- Mina Raura.

***Explicativo**, es aquel tipo de estudio que explora la relación causal, es decir, no solo busca describir o acercarse al problema objeto de investigación, sino que prueba encontrar las causas y efectos que implica determinar el comportamiento de las aguas en las labores subterráneas y sobre la estructura del macizo rocoso de la Zona Catuva-Mina Raura.

3.2. Métodos de investigación

Para cumplir con los objetivos del estudio, se ha seguido siguiente método:

- Recopilación, análisis y evaluación de la información obtenida.
- Inventario hidrogeológico por niveles, galerías, cruceros, By-Pass y tajos correspondientes.

Este inventario ha permitido reconocer las fuentes principales de surgencia de agua dentro del nivel o laboreo minero subterráneo y su derivación final.

- Aforo de los caudales mediante correntómetro digital y con método volumétrico.
- Revisión de la información colectada, interpretación de los datos de campo, elaboración de planos y finalmente elaboración del presente informe.

3.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es descriptivo y correlacional.

Se describirá las características hidrogeológicas de la zona Catuva

3.4. Población y muestra

La población son los macizos rocosos de la Mina Raura.

La muestra es la zona Catuva

Selección de muestra Se realizó la toma de muestras de las aguas subterráneas en cada nivel de la mina Raura, Zona Catuva.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En base al mapeo geológico existente se identificarán la zona de interés, en donde se realizará la toma de datos de caudal del agua subterránea, por niveles.

Registro y codificación de datos.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Ejecución de estudios de análisis de agua subterránea para determinar la calidad del mismo.

Técnicas Analíticas e Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo.

3.7. Tratamiento estadístico

Los programas de SPSS, EXCEL, fue de gran ayuda durante el desarrollo de la investigación, y que sirvió para la obtención de resultados e interpretación de las muestras tomadas en campo y que posteriormente fueron cotejadas con las normas vigentes, en función sobre la base de la información preliminar y de campo obtenida respectivamente para la interpretación final.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La calidad de validez y confiabilidad de los instrumentos usados para la medición y recolección de datos ha sido aplicada en repetidas veces al mismo objeto, lo cual iba arrojando iguales resultados, dándonos un promedio de valor aceptable.

3.9. Orientación ética

La importancia de la investigación sobre La evaluación hidrogeológica que determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura, es muy importante para tratar sobre las características geológicas e hidrogeológicas que determinan el comportamiento del agua en las labores. Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos determinan el comportamiento hidrogeológico en las labores. Es por eso que esta investigación tiene gran relevancia para que en el futuro tomar decisiones correctas y que sean sostenibles en el tiempo y espacio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Generalidades

La Unidad Minera Raura, es una empresa dedicada a la exploración, explotación y tratamiento de minerales polimetálicos con contenidos de plomo, zinc, cobre y plata.

4.1.2. Ubicación

La mina Raura se encuentra ubicado entre:

Departamento de Huánuco (Provincia de Lauricocha, distrito de San Miguel de Cauri), Departamento Lima (Provincia y distrito de Oyón), Departamento Pasco (Provincia Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca). Tiene una altura promedio de 4,700 m.s.n.m.



Plano de ubicación Unidad Minera Raura.

4.1.3. Accesibilidad

La unidad Minera Raura es accesible desde la Ciudad de Lima con una longitud de 415 Km la cual se indica a continuación:

TRAMO	Km	TIPO DE ACCESO	CONDICIONES
LIMA- HUACHO	170	ASFALTADA	MUY BUENA
HUACHO- SAYAN	50	ASFALTADA	BUENA
SAYAN- CHURIN	61	AFIRMADA	REGULAR
CHURIN-OYON	74	ASFALTADA	BUENA
OYON -RAURA	60	AFIRMADA	BUENA

Vías de acceso Unidad Minera Raura.

4.1.4. Climatología

La hidrología del área del proyecto está definida por las altas precipitaciones de origen atlántico, las altas tasas de evaporación de los cuerpos de agua,

la presencia de los nevados, lagunas y las bajas temperaturas. En general, el clima del área se caracteriza por ser relativamente seco, frío y lluvioso. La temperatura de Raura varía en los meses de estiaje de un máximo de 12°C a un mínimo de -10°C, siendo la temperatura promedio anual de 1.8°C. La temperatura nocturna durante la estación lluviosa generalmente es más baja que durante la estación seca. La temperatura varía en forma inversa al aumento de altitud. La gradiente térmica media es -0,61°C/100m.

La humedad relativa promedio anual varía desde 65% en Oyón hasta 70% en las áreas de mayor altitud en la zona de estudio (estimado).

La evaporación promedio anual se estima que es superior a 1,000 mm. Los valores mínimos de evaporación mensual ocurren en Marzo, con un promedio de 48 mm y un máximo de 71 mm en Julio.

4.1.5. Precipitación

En Raura, el régimen de lluvias es marcadamente estacional, en el que se diferencia una estación lluviosa entre Octubre hasta Abril, con lluvias no muy intensas con picos entre Febrero y Marzo y otra estación seca entre Mayo a Setiembre. Encima de los 4,800 msnm mayormente a lo largo de la cordillera de Raura, se asume que la precipitación está entre los 1,000 y 1,200 mm y gran proporción de esta precipitación cae en estado sólido como granizo, nieve y neviza.

La precipitación promedio anual estimada es de 1,007 mm, los valores mínimos de precipitación mensual son en Agosto con un promedio de 28 mm

y un máximo de 164 mm en Febrero. La lluvia se hace más intensa, particularmente sobre la cordillera de Raura y en la divisoria de aguas.

La precipitación varía en función a la altitud, a mayor altura, mayor precipitación. Por condiciones atmosféricas, las precipitaciones normales provienen principalmente de las masas de aire húmedo de la cuenca amazónica.

Para determinar la precipitación en la microcuenca donde se ubica el proyecto se ha definido la altura media de la ubicación de la mina y se halló la relación precipitación-altura de la parte alta de la cuenca del río Huaura, utilizando estadísticas históricas de los registros de las estaciones meteorológicas Picoy, Oyón, Chacua, Raura y Surasaca. Tal como se muestra en el gráfico siguiente, la relación altura-precipitación permite determinar que la precipitación media que ocurre sobre el Complejo Catuva (4850 msnm) es 1287.0 mm/año.

Datos meteorológicos proporcionados por Raura, periodo 1975-2018

ESTACION	COORDENADAS		ALTITUD (msnm)	PERIODO REGISTRO (años)	TEMP. (°C)	EVAP. (mm/año)	PRECIP. (mm/año)	HUMEDAD RELATIVA (%)	VIENTOS	
	Lat. S	Long. W							Veloc. (m/s)	Direcc.
Picoy	10°55'	76°44'	2,990	1,964-93	11.9	990.6	532.6	--	--	--
Oyón	10°40'	76°46'	3,361	1,964-99	10.2	--	540.6	65	4.0	E
Surasaca	10°31'	76°47'	4,400	1,970-98	4.1	--	794.7	--	--	--
Chacua	10°37'	76°41'	4,450	1,964-84	--	--	1,230.4	--	--	--
Raura	10°29'	76°47'	4,900	1,964-83	--	--	1,538.4	--	--	--

Fuente : SENAMHI
-- : Sin dato

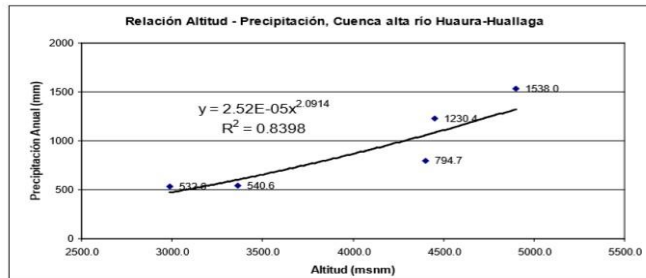


Tabla 2.2. Precipitación Anual Típica Estimada

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TOTAL
Precipitación (mm)	98.3	110.2	263.7	115.7	13.6	56.3	15.6	80.7	32.0	125.6	128.4	188.7	1,228.8

Resumen Meteorológico Regional

4.1.6. Geomorfología

El yacimiento minero Raura se encuentra enmarcado dentro la cadena montañosa perteneciente a la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, las rocas calcáreas muestran el labrado de los circos glaciares que corresponden a la sub cuenca del Marañón. Los glaciares se encuentran confinados en las partes altas bajo la forma de lenguas de retroceso en las diversas circos y en los casquetes que cubren los picos terminales. En las partes bajas se encuentran extensos depósitos de morrenas.

El relieve de la zona es extremadamente abrupto y accidentado con grandes escarpados y fuertes pendientes del orden de 50 a 60°. En las zonas existen terrazas ligeramente onduladas ubicadas en desniveles importantes de aproximadamente 50 a 100 m. Las áreas planas están cubiertas en su mayor parte por lagunas y bofedales, las cuales exhiben en sus orillas los frentes de retroceso de los glaciares.

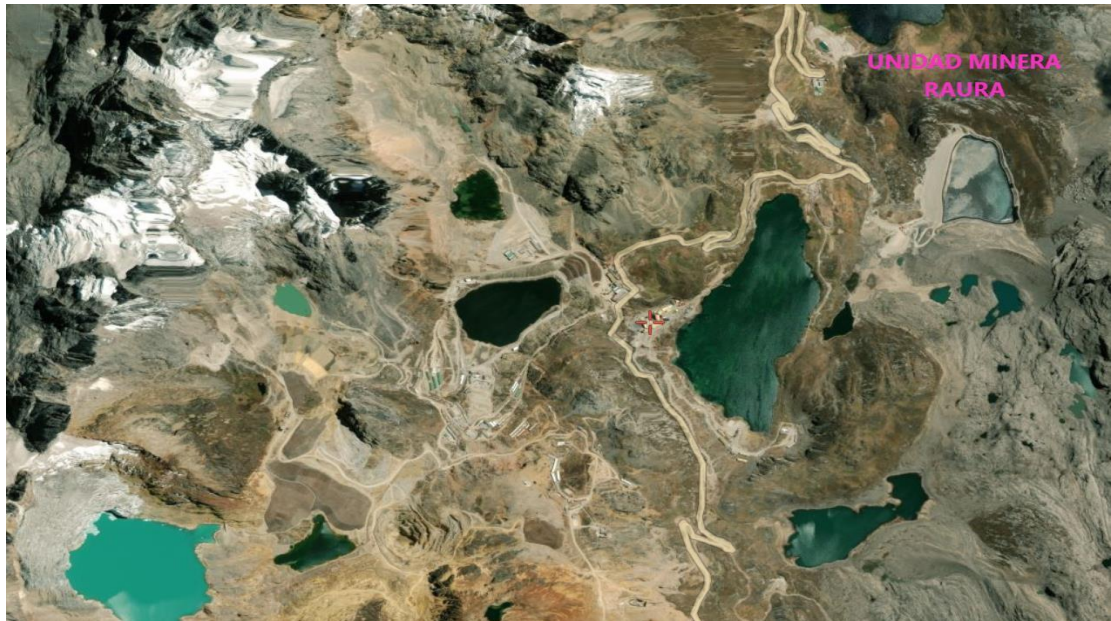


Imagen Satelital de la Unidad Minera Raura

4.1.7. Geología

4.1.7.1. Geología Del Yacimiento

4.1.7.2. Geología Regional

Rocas Sedimentarias

La cordillera Occidental en la zona de la mina Raura, está conformada por una estructura sedimentaria de dirección Oeste-Este, comprendida por la estructura invertida Niño Perdido-Condorsinga, las fallas Raura y Restauradora, además de un anticlinorio desarticulado que comprende el sinclinal Caballococha y el anticlinal de Raura. En la columna estratigráfica se distinguen 3 grupos de rocas sedimentarias:

Grupo Goyllarisquizga

Al Suroeste de Raura afloran sedimentos correspondientes al grupo Goyllarisquizga, las formaciones Chimú y Carhuaz. Su origen es predominantemente detrítico (areniscas que luego por metamorfismo regional pasan a cuarcitas) con intercalaciones de horizontes de lutitas grises a negras con lechos de carbón.

Rocas Carbonatadas

Las formaciones Chulec y Pariatambo son predominantemente carbonatadas, con calizas y margas fosilíferas, con materia orgánica a bituminosa y presentan contenidos subordinados de material detrítico fino como limo arcillitas. Afloran en el paquete invertido Niño Perdido-Condorsinga al suroeste de la mina.

La formación Jumasha está ampliamente distribuida en la zona de Raura, aflora con unos 1,300 m de espesor. La mineralización conocida está asociada principalmente a esta formación, donde están emplazados los cuerpos metasomáticos de contacto, cuerpos satélites, vetas y bolsonadas.

Sobre las calizas Jumasha yace un paquete de margas y calizas margosas con horizontes pelíticos, que determinan la fase terminal de la secuencia sedimentaria en el Cretáceo Superior.

Capas

Rojas

Llamadas por la coloración de estos sedimentos de origen continental registradas como las formaciones Casapalca en el Perú Central y formación Chota en el Norte del Perú. Se componen sobretodo de areniscas, con algo de lutitas, limolitas y conglomerados. En Raura, esta unidad, aflora al Norte de la mina, al Suroeste de la laguna Chuspicocha.

Rocas Igneas

Asociadas a la mineralización de la mina Raura, se consideran tres fases de actividad ígnea volcánica en un lapso geológico comprendido entre 8 a 11 millones de años.

Primera Fase

Representada por rocas volcánicas, en su mayoría, ácidas de tipo dacitas, riocitas a riolitas. Estudios de campo determinan la posibilidad de cuellos y ventanas volcánicas en el sureste de la mina en la zona de Farallón, Celia y Puyhuanmina. En contacto a las calizas Jumasha se presentan tobas silíceas y alejado del contacto de las calizas hacia el Oeste se presentan flujos de lava pseudo estratificados. En la zona Este, estas rocas albergan mineralización con relleno de fallas y fracturas, también se presentan zonas de reemplazamiento formando bolsonadas y/o cuerpos principalmente de Pb, Zn y Ag en la zona de Brunilda, Margot, Santa Rosa, Hadas y Grety.

Segunda Fase

Lo constituye la intrusión de un stock granodiorítico que viene a ser la roca intrusiva más antigua del área con una edad radiométrica de 11 millones de años. Se expone entre la laguna Putusay Alta, cerro Colorado, laguna Niñococha en el Sur y sobre la laguna Tinquicocha al Norte del distrito.

En sus contactos con la caliza se ha producido un halo de alteración metamórfico (Hornfels) seguido de mármol. Los afloramientos presentan superficies limonitizadas con tonalidades ocre-amarillentos por efecto del intemperismo y procesos de oxidaciónlixiviación.

Tercera Fase

Representada por la intrusión del pórfido cuarcífero-monzonítico de 7 millones de años de edad. Asociados a esta intrusión han ocurrido diferentes intrusiones o intrusivos con diferenciación magmática, de carácter ácido y con características de tipo cuarzo monzonitas y pórfidos dacíticos. Esta última fase está relacionada a la formación de cuerpos de Skarn con reemplazamiento de zinc-plomo y vetas, con zonamientos verticales y horizontales con presencia de Cu-Zn en el núcleo y Zn-Pb-Ag-Cu en los bordes y hacia las periferias Ag-Zn.

4.1.7.3. Geología estructural

Teniendo como patrón estructural Los Andes centrales del Perú, en el cretáceo superior se dieron etapas de plegamientos fallamientos y plutonismo (fase Inca), producto de esfuerzos de compresión Suroeste-Noreste en la zona de Raura se dieron plegamientos, como el anticlinal Santa Ana y el sinclinal Cabalcocha que son los más importantes del área con rumbo N 20°-30° W, produciendo fallas y sobre escurrimientos en la misma dirección, siendo la falla Chonta la que representa este evento, colocando en contacto areniscas y cuarcitas del grupo Goyllarisquizga con las calizas Jumasha.

Posteriormente, debido a fuerzas tensionales se han producido varios sistemas de fracturamiento N 65° - 80° W (vetas Giannina, Abundancia, Roxana, Torres de Cristal, Flor de Loto). El

fallamiento local en bloques es un patrón estructural importante en Catuva.

4.1.8. Hidrografía

Las aguas de la red hídrica que tienen incidencia en el área de la mina, se originan en las cabeceras de la cuenca alta del río Huaura, vertiente del Pacífico, sobre cotas que superan los 4,800 msnm, mientras que para la vertiente del Atlántico conforman una serie de lagunas (lagunas Caballococha, Tinquicocha, Chuspicocha, Patarcocha y Lauricocha) que dan origen al río Lauricocha, tributario principal de la naciente del río Marañón. En el entorno del área de estudio se encuentran nevados, lagunas y aguas superficiales. Estas últimas, al escurrir por una serie de quebradas de diverso orden, se juntan aguas abajo para conformar la quebrada Yunca que drena al río Quichis; hidrográficamente, este río pertenece a la cuenca del río Huaura de la vertiente del Pacífico.

Dentro de los nevados aún presentes en el área, destacan Niño Perdido y Brazzini, cuyas aguas de deshielo van a alimentar a algunas lagunas o conformar parte del escurrimiento superficial.

Por encima de los 4,800 msnm, existen cuerpos de agua de régimen permanente y de gran diversidad de tamaños, entre las que destacan las lagunas Caballococha, Niñococha y Puyhuancocha. Periféricamente, destacan las lagunas Tinquicocha, Santa Ana Baja y Alta, Caballococha y Putusay Alto y Putusay Bajo.

La fuente principal de alimentación de las lagunas está constituida por la precipitación pluvial estacional que cae en la zona, además del aporte de los nevados que se encuentran en proceso de deglaciación y las filtraciones provenientes de los sectores superiores.

La microcuenca donde se ubica el Complejo Catuva se denomina laguna Lauricocha, afluente del río Tingo y de la subcuenca del río Huertas, la cual a su vez drena en la cuenca del río Huallaga.

El Complejo Catuva se ubica en un área parcial de 100 ha de una microcuenca que termina en la laguna Santa Ana, la cual se inicia en la cota 5,600 msnm y llega hasta la cota 4,650 msnm. La microcuenca superficialmente drena hacia el Norte, tiene una forma redondeada y una relativa fuerte pendiente en sus laderas.

Los límites probables de drenaje de la microcuenca terminan en los inicios de la laguna Santa Ana, la cual tiene un área de 3.3 km².

CUENCA DE DRENAJE	AREA (m ²)	LONGITUD (m)	COTA MÁXIMA (msnm)	COTA MÍNIMA (msnm)	PENDIENTE	CENTRO GRAVEDAD (msnm)
Complejo Catuva	1'000,000	1,120	4,800	4,650	0.13	4,750
Laguna Santa Ana	3'310,351	2,820	5,600	4,650	0.34	4,950

Características de las microcuencas

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Balance hídrico

Evapotranspiración

La evapotranspiración es un elemento del balance hídrico que se refiere a la pérdida de agua por el suelo como efecto de la transpiración de las plantas. El cálculo de la evapotranspiración se efectúa teniendo en cuenta la cobertura vegetal, la temperatura del medio y otros factores, inclusive en zonas de agricultura extensiva se utiliza métodos que toman en consideración los periodos vegetativos de las plantas.

Para el cálculo de la evapotranspiración, en el presente estudio se empleará el método de Hargreaves, que utiliza la radiación mensual de la zona y la humedad relativa. La fórmula aplicada para el cálculo de la evapotranspiración es la siguiente:

$$EVTP = 0.34 * Ra * (0.4 + 0.024 * T) * (1.35 * (1 - HR)^{0.5}) * (1 + 0.04 * H / 1000) * n$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial (mm/mes).

Ra : Radiación en el tope de la atmósfera en agua evaporable (mm). T : Temperatura media (°C).

HR : Humedad relativa media (%). H : Altitud de la estación (msnm).

n : Número de días del mes.

PARAMETRO	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Ra	16.3	16.2	15.4	14.2	12.9	12.2	12.4	13.4	14.8	15.9	16.2	16.3
T °C	1.6	1.2	1.6	1.5	1.2	1.1	1.0	1.3	1.5	1.4	1.4	1.1
HR (%)	78.4	83.2	81.6	75.7	65.5	59.3	56.9	59.6	65.1	67.6	73.1	74.9
H (msnm)	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850	4,850
n (días)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ETP (mm)	56.4	43.7	49.2	50.2	55.2	54.6	58.6	62.4	62.7	66.7	59.9	59.1

Evapotranspiración Potencial en el Área del Complejo Catuva

Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua pasa desde la superficie hacia el interior del suelo. La rapidez con que el agua se introduce en el suelo es la capacidad de infiltración del terreno: a mayor rapidez de infiltración mayor tiempo para formarse el escurrimiento de las precipitaciones.

Para el cálculo de la infiltración de las microcuencas se ha considerado una razón de infiltración asumida de los factores que recomienda la US Soil Conservation Service, (1972). Para ello se define la siguiente relación:

$$S = (25400/N - 254)$$

Donde: S, es la infiltración de la precipitación en el terreno (mm).

N, número que se asigna al área de la cuenca según sus características de relieve, porosidad aparente, cobertura vegetal y almacenaje superficial.

Los resultados del cálculo de la infiltración en la microcuenca de la laguna Santa Ana y en el área del Complejo Catuva, se muestran en la tabla siguiente:

CUENCA DE DRENAJE	NUMERO DE ESCORRENTIA N					INFILTRACION (mm)
	Relieve	Infiltración	Cobertura Vegetal	Almacenaje Superficial	Total	
Lag. Santa Ana	30	10	10	10	60	169
Complejo Catuva	20	10	15	10	55	208

Cálculo de la Infiltración

Escorrentía

La escorrentía es el flujo de agua producido por la precipitación que se traslada por la superficie y forma los cauces de los cursos de agua. En las microcuencas involucradas en el balance, la escorrentía se define mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Escorrentía} = \text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración} - \text{Evaporación} - \text{Infiltración}$$

En vista de que en las microcuencas en estudio, no existe evaporación, con el tiempo, la infiltración se suma a la escorrentía.

PARAMETRO	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	32.0	125.6	128.4	188.7	98.3	110.2	263.7	115.7	13.6	56.3	15.6	80.7
Evapotranspiración (mm)	62.7	66.7	59.9	59.1	56.4	43.7	49.2	50.2	55.2	54.6	58.6	62.4
Diferencia (mm)	-30.7	58.9	68.5	129.6	41.9	66.5	214.5	65.5	-41.6	1.7	-43.0	18.3
Excedente (mm)	--	29.4	34.3	64.8	21.0	33.3	107.3	32.8	0.0	0.9	--	--
Infiltración (mm)	73.7	103.1	137.4	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	127.4	129.1	86.0	104.4
Escorrentia (mm)	1.5	16.2	33.1	74.8	70.0	54.2	140.5	140.0	32.8	16.4	8.2	4.1
Caudal (L/s)	1.9	20.1	42.3	92.4	86.5	74.2	173.7	178.8	40.5	20.9	10.1	5.1

Balance Hídrico en la Microcuenca Santa Ana

PARAMETRO	MES											
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Precipitación (mm)	32.0	125.6	128.4	188.7	98.3	110.2	263.7	115.7	13.6	56.3	15.6	80.7
Evapotranspiración (mm)	62.7	66.7	59.9	59.1	56.4	43.7	49.2	50.2	55.2	54.6	58.6	62.4
Diferencia (mm)	-30.7	58.9	68.5	129.6	41.9	66.5	214.5	65.5	-41.6	1.7	-43.0	18.3
Excedente (mm)	--	29.4	34.3	64.8	21.0	33.3	107.3	32.8	--	0.9	--	9.2
Infiltración (mm)	102.6	132.1	166.3	208.0	208.0	208.0	208.0	208.0	166.4	167.2	124.2	133.3
Escorrentía (mm)	1.0	15.7	31.8	61.1	64.9	54.2	140.5	140.0	32.8	16.4	8.2	4.1
Caudal (L/s)	0.4	5.9	12.3	22.8	24.2	22.4	52.5	54.0	12.2	6.3	3.1	1.5

Balance Hídrico Sobre el Área del Complejo Catuva

CUENCA DE DRENAJE	CAUDAL MEDIO (L/s)	INFILTRACION NETA (RECARGA)	
		(mm)	(L/s)
Santa Ana	62.2	73.7	7.7
Complejo Catuva	18.1	102.6	3.3

Caudales de Escorrentía e Infiltración Calculados

El caudal medio representa la producción media de agua de las áreas de drenaje de la microcuenca de la laguna Santa Ana y la que está sobre el Complejo Catuva. La infiltración neta viene a ser la recarga de agua que ocurriría al subsuelo, cada año promedio de lluvias. Este caudal varía según sea el año húmedo o seco.

Inventario De Fuentes De Agua

En el ámbito del proyecto, en superficie, se han inventariado fuentes de agua constituidas por manantiales ubicados en la carretera Tinquicocha-Raura y en la parte alta de la zona Santa Rosa, aguas abajo de la garita del mismo nombre. También se ha inventariado las principales lagunas que podrían influir en la recarga del sistema acuífero del área de estudio, estas son: Santa Ana Alta y Baja, Caballacocho, Tinquicocha, Niño Perdido Alta y Baja, Locacocho Norte y Sur, Putusay Alto y Bajo, Puhuycocha y Niñococho.

En interior mina se realizaron inventarios de los flujos de agua tanto de aportes nuevos provenientes de chorreras, goteos en fallas geológicas y descargas de perforaciones DDH, como los provenientes o evacuados desde los niveles superiores.

En todas las fuentes de agua se midieron las propiedades físico- químicas in situ (pH, CE, TDS, temperatura, además de turbidez, olor y color). Para las mediciones de caudal y de escorrentías, tanto en superficie como en interior mina, se hicieron con correntómetro, vertedero portátil y aforo volumétrico.

El referido inventario de fuentes de agua se encuentra graficado en las láminas 3 a 12.

Inventario De Fuentes De Agua En Superficie

Como parte del estudio hidrogeológico del Complejo Catuva fue necesario obtener información en superficie mediante reconocimiento directo de las fuentes de agua superficial en toda el área de influencia.

Las fuentes de agua reconocidas están constituidas por pequeños manantiales, arroyos o riachuelos, lagunas y bofedales, que permiten tener acceso directo o indirecto al acuífero de la zona del estudio. Por conveniencia, se ha realizado el inventario de todas las fuentes más representativas que tienen influencia sobre el proyecto.

Son pocos los manantiales encontrados alrededor del área de estudio, debido probablemente a que la napa freática ha sido deprimida por el laboreo minero subterráneo. En la tabla siguiente se muestra los caudales de descarga de una

laguna a otra, mientras que en la siguiente se muestra las estaciones de medición en superficie.

LAGUNA EFLUENTE	LAGUNA RECEPTORA	CAUDAL (L/s)
Locacocha	Santa Ana Baja	65.72
Caballococha	Tinquicocha	56.40
Niño Perdido	Santa Ana Baja	4.41
Santa Ana Alta	Santa Ana Baja	3.00

Resumen de Descargas de Agua Superficial Entre Lagunas

Inventario De Fuentes De Agua En Interior Mina

Teniendo como objetivo conocer el comportamiento y las características hidrogeológicas de las aguas en interior mina, se procedió a realizar un inventario de aguas subterráneas en todos los niveles de laboreo minero pertenecientes al Complejo Catuva, así como también el reconocimiento de las áreas por donde se producen las filtraciones para establecer su relación con las zonas de recarga.

Los trabajos se realizaron desde los niveles superiores hacia los inferiores (niveles 800, 740, 700, 675, 630, 590, 540, 490, 440, 380, 300 y 250).

Un resumen de los caudales de agua producidos por cada nivel de minado subterráneo, se muestra en la tabla siguiente.

NIVEL LABOR	APORTE DE AGUA POR SURGENCIA	CAUDAL PARCIAL (L/s)	APORTES DE AGUA DESDE NIVELES SUPERIORES	CAUDAL PARCIAL (L/s)	APORTE DE AGUA HACIA NIVELES INFERIORES	CAUDAL PARCIAL (L/s)	DESCARGA AL EXTERIOR	CAUDAL EFLUENTE NETO (L/s)
Nv. 800	Filtraciones y DDH	0.72	--	--	Por Chimeneas a Nvs. Inferiores	0.72	--	--
Nv. 740	Zona de Yanco	70.78	--	--	--	--	--	--
Nv. 700	--	--	--	--	--	--	--	--
Nv. 675	--	--	Zona de Esperanza	44.19	--	--	--	--
Nv. 630	Filtraciones zona de Catuva	1.29	--	--	Por Raise Boring a Nv. 610	1.02	Bocamina Gayco	29.00
	Filtraciones zona de Gayco	34.05			Por Chimenea a Nv. 590	0.28		
					Por Chimenea a Nv. 380	6.76		
Nv. 590	Filtraciones	2.52	--	--	Por Chimenea a Nv. 420	1.13	Bocamina Hidro	1.40
Nv. 540	Filtraciones	0.68	--	--	Por cuneta a sedimentador Nv. 477	0.68	--	--
Nv. 490	Filtraciones	17.34	Filtracion por tolva	0.32	Por cuneta a Nv. 440	18.04	--	--
			Filtracion por tolva	0.22				
Nv. 440	Filtraciones	2.28	Caudal proviene de Nv.490	3.89	Por cuneta a Nv. 425	14.97	--	--
			Por manguera de chimenea	11.90				
			Chorrera Raise Boring 52	0.22				
Nv. 380	Chorreras	48.83	De Chimeneas Nvs. Superiores	23.69	De Flor de Loto a Nv. 300	80.00	Bocamina Tinquicocha	87.65
	Flor de Loto	15.13						
	Filtraciones y otros	6.63						
Nv. 300	Taladros DDH	12.63	Raise Boring que viene Nv. 380	80.00	--	--	Bocamina Shuchshapa	479.00
	Chorrera hastial piso	4.00	Caudal proviene zona Yanco	70.78				
	Zona Farallón	32.61	Por cuneta de Nv. 380	49.08				
	Filtraciones en tunel Shuchshapa	8.54	--	--				
Nv. 250	Chorreras, filtraciones y otros	213.22	Bombeo del Nv. 250	80.89	Por bombeo a Nv. 300	80.89	--	--

Agua Subterránea Drenada por la Mina Raura

4.2.2. Situación actual del agua en el complejo Catuva

Estructuras que condiciona el flujo del agua

Las condiciones de infiltración del agua subterránea han permitido zonificar el área de estudio en dos zonas con características hidrogeológicas similares.

Falla-Veta Flor de Loto

La traza de esta falla está registrada en superficie al Norte del

Complejo Catuva y es cortada en subterráneo en los niveles 630, 380 y 300 con caudales de descarga de 15 y hasta 80 a 90 L/s respectivamente. Los flujos se presentan por la caja techo en forma de chorreras intensas y a través de sondajes DDH dirigidas hacia ella, sin embargo, de acuerdo a la revisión del logueo de estas perforaciones el flujo se presenta solo en los casos donde

la roca está fuertemente fracturada o fragmentada ($RQD < 25\%$). Tal es el caso de los sondajes DDH-300-09-35, DDH-300-09-45 con surgencia de agua y DDH-300-09-07 sin agua; asimismo, en labores cercanas a esta falla existen fuertes filtraciones por goteo persistente y pequeñas chorreras en bóveda y hastiales. El agua que discurre a través de cunetas, se acumula y luego es derivada hacia el túnel Shucshapa.

De acuerdo a su pH, las aguas alcalinas a neutras son predominantes. En cambio las aguas ácidas son puntuales y restringidas a las zonas de pirita friable, tal es el caso de las labores cercanas al tajo 831, Nivel 300.

EXOSKARN ZONA SUR-ESTE (CUERPO PRIMAVERA SUR)

Corresponde a la zona de Catuva con mayor extracción de mineral en todos los niveles, desde el Nivel 630 hasta el Nivel 250 a través de galerías, cruceros, By-Pass y tajeos, está ubicado al este del Complejo Catuva. Se sabe que existieron surgencias de agua en los niveles superiores a maneras de chorreras y filtraciones por goteras persistentes. Actualmente en estos niveles superiores solo se encuentran pequeñas filtraciones y goteo mientras que en el Nivel 250 el caudal encontrado en las perforaciones DDH es 40 L/s. Según el último reporte del sondaje DDH-250-09-18 se encontró fuerte caudal de agua del orden de los 20 L/s. Así mismo hay labores con fuerte filtración en la bóveda y hastiales con chorreras y goteos persistentes cercanos a los cuerpos de pirita friable muy deleznable.

Por la cercanía de cuerpos de pirita friable y diseminada en esta zona, el flujo de agua tiene un pH ligeramente ácido con valores entre 6.1 a 6.5, la

que finalmente se diluye al discurrir por las cunetas antes de ser derivada a superficie por el túnel Shucshapa.

4.2.3. Características del flujo del agua en interior mina

El Agua en el Nivel 800

Este nivel se encuentra hacia el Norte del Complejo Catuva y comprende labores de extracción de la veta Nimia. En casi todas las galerías no hay acceso pues casi todas están cerradas, bloqueadas o taponadas; en algunos casos, el agua está empozada dentro de ellas. Los flujos de agua corresponden a goteras en bóveda y/o se filtran por tolvas que conectan tajeos ya cerrados.

Toda esta filtración discurre por el piso y es evacuada hacia niveles inferiores por chimeneas, en un caudal de 0.34 L/s, pH= 7.37, CE= 345 μ S/cm y TDS= 172 ppm.

El Agua en el Nivel 740

Comprenden labores de extracción de las zonas Ofelia y Cobriza al noreste del Complejo Catuva, igual que el Nivel 800, las galerías, cruceros By-Pass, etc., están cerradas, bloqueadas o taponadas donde el agua esta empozada, las pequeñas filtraciones discurren y se pierden por chimeneas hacia niveles inferiores. Las características físico-químicas del agua medidas en un punto de la Galería 80W son: pH= 7.51, CE= 1,063 μ S/cm y TDS= 532 ppm. Este nivel se interrumpe al conectarse con el tajo Primavera en superficie.

El Agua en el Nivel 700

Corresponden labores antiguas con dirección noreste del Complejo Catuva, muchas galerías, cruceros, By-Pass etc., están cerradas, bloqueadas o taponadas. Las pocas filtraciones por goteras leves están acumuladas y empozadas, no discurren y/o se pierden por infiltración hacia niveles inferiores.

El Agua en el Nivel 630 (Túnel Gayco)

Existen 2 zonas en este nivel, una perteneciente al Complejo Catuva y la otra zona, perteneciente a Gayco y Flor de Loto.

En Catuva, las labores principales están ya abandonadas, cerradas y/o bloqueadas; existen filtraciones por goteo en muchas labores, cuya agua se empoza y luego discurre por los cruceros (Cx) y desciende por chimeneas hacia los niveles 610 y 590.

El flujo del Cx. 260SE tenía un caudal de 1.02 L/s, pH= 7.21, CE= 3.3 mS/cm y TDS= 1.68 ppt

En el Cx 85SE el caudal es de 0.28 L/s, pH= 7.47, CE= 356 μ S/cm y TDS= 180 ppm.

En Gayco Norte y Flor de Loto existen importantes surgencias de agua las que no se pudieron verificar porque los accesos estaban bloqueados (abandonados).

Una parte del caudal procedente de Gayco Sur se pierde a través de una chimenea hacia el nivel inferior 380 (Torre de Cristal), en un caudal de 6.76 L/s, pH= 8.66, CE= 197.4 μ S/cm y TDS= 98.6 ppm. • El caudal total que se

vierte a la laguna Santa Ana Baja proveniente de Gayco Sur y Flor de Loto es de 29.0 L/s, pH= 8.2, CE= 236 μ S/cm y TDS= 120 ppm.

El Agua en el Nivel 590 (Túnel Hidro)

Comprenden filtraciones por goteo leve a moderado en casi todas las galerías, cruceros ByPass y tajeos. También es abundante la cantidad de tolvas que filtran agua de tajeos cerrados. Estas filtraciones en su mayoría están empozadas en las diferentes labores, incluso las que están cerradas, bloqueadas o taponadas. Parte de estas aguas se infiltran a los niveles inferiores y el resto discurren lentamente con salida hacia la bocamina Hidro con las siguientes características: caudal= 1.40 L/s, pH= 9.54, CE= 914 μ S/cm y TDS= 458 ppm.

Luego de descargar por la bocamina, las aguas son tratadas con SNa₂ y floculantes, para ser vertidas a la laguna Caballacocha con la siguiente calidad: pH= 8.84, CE= 905 μ S/cm y TDS= 453 ppm. Una parte del caudal que sale por este nivel es derivado al Nivel 380 a través de un Raise Boring (RB). El caudal de salida de la Gal. 760W por la Chimenea al Nivel 420, es de 1.13 L/s.

El Agua en el Nivel 540

Al igual que en los niveles superiores, el agua subterránea aparece sólo por filtraciones en forma de goteo leve a moderado con algunas zonas pequeñas de goteo persistente. Muchas de las labores igualmente están cerradas, bloqueadas y taponadas, lo que ha impedido mediciones más exactas en

cuanto al origen de la fuente de agua. Sin embargo, se ha observado lo siguiente:

El agua empozada con salidas por cuneta en el Cx 085E hacia el Nv. 477, tiene un caudal de 0.68 L/s, pH= 7.96, CE= 2.68 mS/cm y TDS= 1.34 ppt. • Por otro RB también se pierde un caudal de agua hacia el Nivel 490, con las siguientes características: pH= 8.07, CE= 1,934 μ S/cm y TDS= 968 ppm.

El Agua en el Nivel 490

Abarca labores de diferentes vetas principales del Complejo Catuva como son Matapaloma, Gina, Giannina, Regaza, Lead Hill y Hada 4 (falla Puhuancocha). Las aguas subterráneas circulantes son conducidas y derivadas a niveles inferiores por la cuneta, con las siguientes características: caudal= 18.04 L/s, pH= 7.43, CE= 918 μ S/cm y TDS= 463 ppm.

Los accesos hacia algunas labores están cerrados y los aportes de agua subterránea son principalmente por filtraciones, por goteo persistente a leve y pequeñas chorreras, además de filtraciones de labores superiores por RB o chimeneas. Los aportes de estas zonas principales son:

- Las chorreras, que fluyen por la falla Puyhuancocha tienen las siguientes características: caudal= 6.82 L/s, pH= 7.07, CE= 396 μ S/cm y TDS= 198 ppm. • La zona Hada 4, que aporta agua con las siguientes características: caudal= 0.25 L/s, pH= 7.49, CE= 1,065 μ S/cm y TDS= 530 ppm.

- La veta Gina descarga el caudal de 0.26 L/s, pH= 7.49, CE= 1,318 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 659 ppm. • La veta Giannina descarga un caudal de 0.22 L/s, pH= 7.23, CE= 1,885 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 943 ppm. • Este caudal se incrementa con las filtraciones y aportes de la zona de Regaza a 0.6 L/s, pH= 7.55, CE= 1,467 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 734 ppm. • Finalmente la zona de Lead Hill, descarga un caudal de 0.7 L/s, pH= 7.82, CE= 1,113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 553 ppm.

El Agua en el Nivel 440

Muchas de las labores en este nivel se encuentran cerradas con desmonte, las filtraciones son por goteras persistentes en galerías, cruceros, By-Pass y tajeos que filtran por muchas tolvas a lo largo de dichas labores. Los aportes de estas filtraciones son derivadas por cuneta por los Cx 435SE, Cx 970SE para finalmente por el Cx 925SE ser derivadas al Nivel 425 con las siguientes características: caudal de salida= 14.97 L/s, pH= 7.21, CE= 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 414 ppm.

Así mismo, los caudales de agua provenientes del Nivel 590 a través del RB 52 y del Nivel 490 por cuneta, son derivadas hacia el nivel inferior Nivel 380 (sedimentador 1 y 2) por una chimenea en el Cx 810 N con las siguientes características:

- Aguas provenientes del nivel 590, caudal= 0.22 L/s, pH= 7.21, CE= 2.47 mS/cm y TDS= 1.24 ppt. • Aguas provenientes del Nivel 490, caudal 3.9 L/s, pH= 6.83, CE= 1,225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 614 ppm.

El Agua en el Nivel 380 (Túnel Tinquicocha)

Este nivel principalmente tiene descarga de aguas subterráneas por la falla Flor de Loto y también aportes provenientes de niveles superiores, las que son derivadas principalmente hacia superficie por la cuneta del túnel Tinquicocha, hasta descargar a la laguna del mismo nombre, después del tratamiento químico con SNa_2 y floculantes. Gran parte de este caudal cae hacia el Nivel 300 por un RB para finalmente ser derivado a superficie por el túnel Shucshapa.

Las filtraciones de agua subterránea son en su mayoría por goteos persistentes y pequeños chorros pero la principal fuente es la proveniente de la falla Flor de Loto con un caudal de 15.13 L/s, pH= 7.83, CE= 845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 423 ppm.

El caudal de agua de los niveles superiores que descargan a los sedimentadores de este nivel, Zona Torre de Cristal, son:

- Sedimentador 1, caudal= 12 L/s, pH= 7.93, CE= 1,199 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 599 ppm.
- Sedimentador 2, caudal= 44.58 L/s, pH= 7.48, CE= 826 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 414 ppm.

Por la zona de Catuva (Cx 840SE), el caudal de rebose de los sedimentadores 1 y 2, proveniente de los niveles superiores, desde la zona de Esperanza Alta es de 27.13 L/s, la que es derivada por un RB hacia el sedimentador del Nivel 365.

Las filtraciones por goteo, provenientes de vetas o zonas de producción como Matapaloma, Gina, Giannina y Regaza, tienen las siguientes características: caudal= 2.0 L/s, pH= 8.27, CE= 763 μ S/cm y TDS= 377 ppm, las que se suman a la cuneta de derivación al Nivel 365.

El agua que sale por el túnel Tinquicocha, descarga a la laguna del mismo nombre con las siguientes características: caudal= 87.65 L/s, pH= 9.18, CE= 899 μ S/cm y TDS= 450 ppm (agua con tratamiento de SNa₂ y sin floculantes).

El Agua en el Nivel 300 (Túnel Shucshapa)

Este nivel, al cortar la falla o veta Flor de Loto, recibe una descarga de 58.22 L/s con las siguientes características: pH= 8.37, CE=1,072 μ S/cm y TDS= 535 ppm. Las filtraciones de goteos persistentes, pequeñas chorreras en labores cercanas, así como perforaciones DDH dirigidas hacia esta falla y filtraciones de diversos RB, incrementan el caudal hasta llegar a 106 L/s en el Cx 035 cruzando el RB 100.

El agua proveniente del Nivel 380 a través del RB llega a este nivel con un caudal de 80.9 L/s, el cual se incrementa con el caudal bombeado del Nivel 250, con lo que a la salida del túnel Schucshapa llega a 390.74 L/s con las siguientes propiedades: pH= 7.86, CE= 1,215 μ S/cm y TDS= 613 ppm.

En su salida por el túnel Shucshapa recibe aportes del Nivel 365, por rebose del sedimentador, en aproximadamente 49.08 L/s. Luego recibe aportes de la zona Farallón que incrementa el caudal en 32.6 L/s más, pH= 7.52, CE=

1,505 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 752 ppm. El caudal de agua en la salida del Nivel 300 fue medido en 444 L/s con pH= 7.65, CE= 1,128 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 564 ppm.

El caudal de aguas subterráneas de este nivel, proveniente de aportes nuevos y de otros niveles se incrementan en su salida por el túnel Shucshapa con aportes de la zona de Jimena y Yanco en la siguiente forma:

- Zona Jimena: caudal= 70.78 L/s, pH= 8.13, CE= 416 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 208 ppm.
- Zona Yanco: caudal= 3.01 L/s, pH= 8.18, CE= 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 97 ppm.

En consecuencia, el total de agua que sale por la bocamina Shucshapa, tiene: caudal= 482.8 L/s, pH= 8.21, CE= 964 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 482 ppm. Posteriormente, después del tratamiento, al ser vertida a la cuenca del río Huaura, el agua tiene las siguientes características: pH= 7.96, CE= 959 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS= 481 ppm.

El Agua en el Nivel 250

Las labores en este nivel abarcan la zona Noreste del contacto intrusivo-caliza (zona Exoskarn-cuerpo Primavera) y las proyecciones de la veta Balilla, donde, en todas las galerías hay fuerte filtración en la bóveda y hastiales por goteos persistentes y pequeñas chorreras. Sin embargo hacia la zona del Exoscarn, las filtraciones y las descargas se incrementan a través de perforaciones DDH que atraviesan esta zona.

Las características del agua surgente por la perforación DDH- 250-09-80, son: caudal= 13.2 L/s, pH= 7.15, CE= 728 μ S/cm y TDS= 364 ppm. • Las características del agua en la zona de piritas friables son: pH ligeramente ácido= 5.80, CE= 1,289 μ S/cm y TDS= 647 ppm. • En general en las zonas alejadas a las de piritas masivas friables, el agua subterránea tiene pH neutro. • El resto del caudal de agua que descarga este nivel es básicamente por surgencia en las labores de minado y en las perforaciones DDH. • No existen descargas de agua proveniente de niveles superiores, el caudal de salida medido en la cuneta es de 78.6 L/s y antes de ser bombeado al Nv. 300 presenta las siguientes características: pH= 6.54, CE= 1,020 μ S/cm y TDS= 529 ppm.

EFLUENTE	FUENTE RECEPTORA	CAUDAL (L/s)
Bocamina Catuva (Nv. 630)	Laguna Santa Ana Baja	0.25
Bocamina Gayco (Nv. 630)	Laguna Santa Ana Baja	29.00
Bocamina Hidro (Nv. 590)	Laguna Caballococha	1.40
Bocamina Tinquicocha (Nv. 380)	Laguna Tinquicocha	87.65
Bocamina Shucshapa (Nv. 300)	Cuenca alta del río Huaura	479.00
Caudal Total Efluente		597.30

Resumen de Agua Descargada a Superficie

4.2.4. Sistema de minado y drenaje

Actualmente, en los diferentes niveles subterráneos existen actividades ligadas a la extracción de mineral de cuerpos y vetas mineralizadas sobre todo en los niveles inferiores Nivel 250, Nivel 300, Nivel 440 etc., además de labores de ventilación y accesos en el Nivel 630, Nivel 700 y Nivel 740.

La ocurrencia de agua subterránea en niveles superiores ha quedado restringida a filtraciones por goteo leve a persistente las cuales son

evacuadas a niveles inferiores a través de conductos verticales como Raise-Boring, Chimeneas, Alimak y diversas tolvas o echaderos.

Estos pequeños caudales son dirigidos y descargados en sedimentadores ubicados en los niveles inferiores Nivel 477, Nivel 425, Nivel 365 y Nivel 380, para finalmente ser evacuados hacia superficie por el túnel Shucshapa (Nivel 300) y vertidos hacia la cabecera del río Huaura. Igualmente hacia la vertiente del Atlántico, las aguas son vertidas a la laguna Tinquicocha por el Nivel 380.

En los niveles inferiores como 380, 300 y 250, existen descargas de agua subterránea de gran caudal (entre 10 a 20 L/s) que surgen de taladros exploratorios DDH y de galerías que cortan principalmente a las fallas Flor de Loto y Restauradora, aunque ésta última no esté completamente definida.

El drenaje de las aguas en el Nivel 250 es derivado por bombeo hacia el nivel 300 e inmediatamente es descargado a superficie por el túnel Shucshapa.

HIDROGEOLOGIA Tabla 6.

6.1. EL SISTEMA ACUIFERO

Las formaciones rocosas donde se desarrollan las actividades de extracción minera en interior mina, son básicamente tres: rocas con alteración metasomática (Exoscarn), calizas marmolizadas y rocas intrusivas diorítica y/o monzoníticas.

La hidrogeología de Raura, está ligada a las características cársticas de las calizas Jumasha que al aflorar en gran parte de la unidad minera, facilitan la

recarga del agua de lluvias hacia el acuífero. También está ligada a las condiciones estructurales locales de fallas y fracturas que facilitan la descarga hacia el interior de la mina.

La abundancia de fracturas facilita no sólo la recarga del acuífero sino también el almacenamiento y el drenaje natural a través de diversos manantiales. Las fracturas y fallas son además, las principales receptoras del agua superficial pluvial y de escorrentía del deshielo que facilitan la infiltración y percolación a profundidad.

El comportamiento del acuífero en Catuva está asociado principalmente al sistema de fallas geológicas mineralizadas de gran envergadura que han sido interceptadas en los niveles 380 y 300, una de las cuales es la falla Flor de Loto.

En el interior de la mina, las labores cercanas al contacto entre los cuerpos dacíticos y monzoníticos con las calizas (zona de mineralización, Exoscarn) que además coinciden con estas fallas mineralizadas Flor de Loto y Restauradora son las principales responsables de las descargas de agua subterránea ya sea por fuertes chorreras en bóvedas y hastiales o a través de las perforaciones DDH dirigidas hacia ellas. Sin embargo, un alto grado de fracturamiento (RQD) es importante pues demarca los límites del acuífero dentro de un nivel, en zonas de rocas intrusivas alejadas de dichos contactos (Skarn) presentan filtraciones por goteo leve a persistente con escasas chorreras puntuales dependiendo del grado de fracturamiento.

En el Nivel 250 en zonas de Exoskarn, actualmente se presentan cuerpos irregulares de gran tamaño de piritita friable que se caracterizan por ser deleznable, sueltos sin autoaporte en la excavación las que fácilmente drenan el agua que puedan contener.

4.2.5. Sistema de recarga del acuífero

En primer orden, el sistema de recarga del acuífero está dado por las infiltraciones provenientes de las precipitaciones pluviales y nivales estacionarias, las cuales son captadas por las fracturas y fallas abiertas, además de algunos karsts de las calizas Jumasha. Es probable que esta situación haya sido incrementada debido a la mayor exposición de estas rocas ocasionada por el retroceso glaciar.

En segundo orden, la recarga también se complementa por las escorrentías casi continuas asociadas al deshielo, las cuales discurren por superficie hacia las lagunas, donde finalmente, el agua se infiltra lateralmente por las orillas de estas lagunas (Niño Perdido, Santa Ana Baja y Santa Ana Alta) que circundan al Complejo Catuva.

4.2.6. Sistema de descarga del acuífero

Conforme el minado avanza con la apertura de los niveles inferiores conectadas a la rampa Catuva, el caudal inicial de agua subterránea encontrado en los niveles superiores (desde el Nivel 700), disminuye hasta quedar restringida a filtraciones de goteo leve a persistente. Actualmente, la napa freática ha sido deprimida hasta el actual nivel de minado (Nivel 250)

donde el caudal de surgencia es grande a través de fallas interceptadas por galerías o perforaciones DDH.

El volumen de agua (aprox. 80 L/s) encontrado en el nivel más profundo de la mina (Nivel 250) es evacuado a través de bombas sumergibles hacia el nivel inmediato superior (Nivel 300) donde conjuntamente con lo derivado de niveles superiores a través de Chimeneas o Raise Borings, es descargado a superficie (479 L/s) vía el túnel Shucshapa (cuenca del Pacífico).

Por otro lado la descarga del agua subterránea a la otra vertiente (Atlántico) se realiza a través del túnel Tinquicocha hacia la laguna del mismo nombre (87.6 L/s).

4.2.7. Geometría del acuífero

En Raura, la geometría del acuífero está definida por los estratos de caliza de la formación Jumasha, los cuales se encuentran bastante plegados y fisurados, conformando sinclinales y anticlinales aflorantes en el área del Complejo Catuva. Adicionalmente, las intrusiones dacíticas y monzoníticas se encuentran rodeando y alterando las calizas originando vetas y cuerpos mineralizados que modelan un acuífero de medios fisurados ya que la permanencia de sus caudales dependen del grado de interconexión entre sus fisuras.

4.2.8. Calidad química del agua

Los resultados de calidad del agua en las 11 fuentes propuestas por Hydro-Geo y detalladas en la tabla siguiente, con el fin de predecir la calidad

química de las aguas superficiales y subterráneas surgentes a través de fallas geológicas o perforaciones.

N° MUESTRA	NOMBRE / UBICACION		OBSERVACIONES
Agua Superficial			
M-6	Laguna Putusay Baja		--
M-7	Laguna Putusay Alta		--
M-8	Laguna Niño Perdido		Rebose laguna Niño Perdido a laguna Santa Ana Baja
Agua Subterránea			
Nivel 800			
M-12	Punto 3	Gal 380E	Boca DDH-800-06-82
Nivel 300			
M-1	Punto 8	Cx 745NE	Boca DDH-300-09-35
M-2	Punto 8A	Cx 745NE	Boca DDH-300-09-45
M-9	Punto 34	Túnel Shuchshapa	Progresiva 823.25, chorrera de karst
M-10	Punto 33	Túnel Shuchshapa	Progresiva 1217, pequeña chorrera
Nivel 250			
M-3	Punto 9	Cx 880 Ventana 5	En DDH (1)
M-4	Punto 10	Cx 880 Ventana 6	En DDH (2)
M-5	Punto 20	Gal 972N	Chorrera hacia la izquierda

Puntos de Muestreo de Agua Superficial y Subterránea

Los resultados emitidos por el laboratorio son evaluados tomado como referencia los estándares de calidad de agua (ECA), categoría 3 (agua para bebida de animales), establecidos en el Decreto Supremo N°002-2008

MINAM

El muestreo se desarrolló en época de avenida de la zona. Se solicitó al laboratorio que analice los siguientes parámetros:

- Parámetros físico-químicos: Bicarbonatos, carbonatos, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos.
- Parámetros inorgánicos: Cloruros, fluoruros, sulfatos, sulfuros, cianuro, fosfato y nitrógeno.
- Parámetros inorgánicos: Grupo de metales disueltos y totales.

En el Anexo B.2 se adjunta copia de los reportes de análisis del laboratorio. En los gráficos 3 a 12, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo, indicando los resultados de las mediciones in-situ y los diagramas Stiff (gráficos de la composición de iones principales, que dan lugar a la clasificación por tipos de agua).

4.2.9. Aseguramiento y control de calidad (QA/QC)

El muestreo fue realizado por personal de la compañía minera Raura, y analizado por el laboratorio Inspectorate.

Con el objeto de evaluar la calidad y confiabilidad de los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio, se calculó el balance iónico en todas las muestras. La metodología y los resultados del control de calidad se hicieron mediante un balance iónico.

Los cálculos para el balance iónico fueron realizados con los parámetros indicados en la tabla siguiente. Los resultados de los cálculos proporcionan un rápido mecanismo para confirmar la confiabilidad de los resultados analíticos para aniones y cationes en cada muestra.

DESCRIPCION	CATIONES				ANIONES				
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻
Peso Equivalente (gramos)	20	12	23	39	62	31	35.5	48	62

Principales Cationes y Aniones Disueltos en el Agua

Se asume que la suma de los aniones debe ser igual, aproximadamente, a la suma de los cationes, en meq/L.

Se aplicó el siguiente algoritmo convencional al cálculo de errores de balance de carga, donde se espera que el resultado EBI (%) sea menor a 10%, para tener una mayor confiabilidad de la calidad analítica de los resultados del laboratorio:

$$EBI (\%) = 100 \times (\sum \text{cationes meq} - \sum \text{aniones meq}) / (\sum \text{cationes meq} + \sum \text{aniones meq})$$

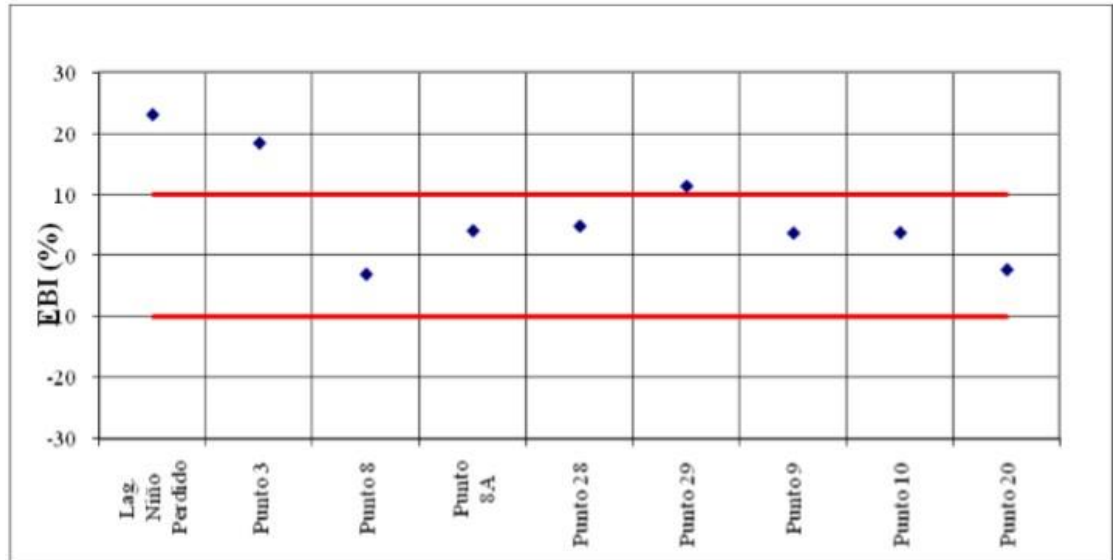
Los cationes y aniones incluidos en el algoritmo mostrado arriba se restringieron a los iones mayoritarios, como son el Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺, para el caso de cationes y CO₃⁻⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻⁻ y NO₃⁻ para el caso de aniones.

En la tabla siguiente se puede observar que el EBI calculado para los resultados analíticos de las muestras de agua colectadas en la laguna Niño Perdido, el punto 3 del nivel 800 y el punto 29 del nivel 300 (túnel Shucshapa), se encuentra fuera del rango normal de tolerancia.

ESTACION	CATIONES					ANIONES					EBI (%)	
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻		Suma
Laguna Niño Perdido	3.99	0.00	0.02	0.02	4.04	0.86	0.03	0.03	1.60	0.00	2.52	23.04
Punto 3	0.32	0.01	0.01	0.01	0.34	0.05	0.03	0.03	0.13	0.00	0.24	18.40
Punto 8	17.55	0.04	0.08	0.01	17.68	1.42	0.03	0.08	17.25	0.00	18.79	-3.04
Punto 8A	13.72	0.00	0.08	0.01	13.81	0.25	0.03	0.03	12.42	0.00	12.73	4.08
Punto 28	2.26	0.00	0.02	0.01	2.30	1.52	0.06	0.03	0.48	0.01	2.08	4.82
Punto 29	2.57	0.01	0.02	0.01	2.60	1.21	0.04	0.03	0.78	0.01	2.07	11.36
Punto 9	7.98	0.08	0.18	0.02	8.26	1.15	0.03	0.03	6.46	0.00	7.67	3.69
Punto 10	7.14	0.05	0.21	0.01	7.41	1.17	0.03	0.03	5.64	0.00	6.87	3.74
Punto 20	9.44	0.03	0.19	0.01	9.65	0.73	0.03	0.03	9.32	0.00	10.11	-2.31

Los valores sombreados indican aquellos resultados del balance iónico que no se encuentran entre el ±10% de error

Resultados del Cálculo del Balance Iónico



Error del Balance Iónico

4.2.10. Evaluación química del agua

En el Anexo B-1 se muestra el cuadro de los resultados cuantitativos de los parámetros físico-químicos obtenidos en el campo y los resultados analíticos reportados por el laboratorio.

Los comentarios respecto a los resultados analíticos, comparados con el estándar de calidad del agua de las muestras reportadas por el laboratorio, son los siguientes:

Calidad del Agua Superficial

- **Parámetros in-Situ**

Las aguas de la laguna Niño Perdido son ligeramente alcalinas (pH= 8.5), presenta baja conductividad (CE= 449 μ S/cm) y baja concentración de sales.

- **Sólidos**

La mayor concentración de sólidos totales disueltos la presenta la laguna Niño Perdido (304.6 mg/L) y la menor concentración, la laguna Putusay Alta (77.8 mg/L).

En todos los puntos de muestreo, la calidad de agua presenta bajo contenido de sólidos totales suspendidos, menor a 21.4 mg/L.

- **Carbonatos y Bicarbonatos**

Son aguas con bajo contenido de bicarbonatos (menor a 52.6 mg CaCO₃/L) y con casi ausencia de carbonatos. Son aguas blandas.

- **Cationes y Aniones Principales**

El laboratorio no reportó concentraciones de sulfato en las muestras de las lagunas Putusay Baja y Putusay Alta.

La concentración de sulfatos en la laguna Niño Perdido es 76.6 mg/L, no supera a su estándar. El tipo de agua es cálcica sulfatada bicarbonatada.

La concentración de calcio es 79.79 mg/L.

- o **Metales**

Las aguas superficiales no contienen concentraciones de metales que excedan los estándares establecidos.

Calidad del Agua Subterránea en el Nivel 800

- **Parámetros in-Situ**

Las aguas en este nivel son neutras (pH= 6.8). Presentan baja conductividad (CE= 206 µS/cm) y baja concentración de sales.

- **Sólidos**

En este nivel las aguas presentan baja concentración de sólidos totales disueltos (STD= 47.0 mg/L), y bajo contenido de sólidos totales suspendidos (menor a 5.0 mg/L).

- **Carbonatos y Bicarbonatos**

Son aguas con muy bajo contenido de bicarbonatos (2.8 mg CaCO₃/L) y con casi ausencia de carbonatos. También son aguas blandas.

- **Cationes y Aniones Principales**

La concentración de sulfato en este nivel es baja (6.0 mg/L). El tipo de agua es cálcica sulfatada.

- **Metales**

Las aguas superficiales no contienen concentraciones de metales que excedan los estándares establecidos.

Calidad del Agua Subterránea en el Nivel 300

- **Parámetros in-Situ**

Las aguas provenientes de los puntos ubicados en este nivel son entre neutras a ligeramente alcalinas ($7.4 < \text{pH} < 8.5$).

En el punto de muestreo Cx 745NE, tanto la conductividad ($\text{CE} > 1,160 \mu\text{S}/\text{cm}$) como la concentración de sales, son altas. En los puntos del túnel Shucshapa la conductividad es baja ($\text{CE} < 260$), acompañada de baja concentración de sales.

- **Sólidos** La concentración de sólidos totales disueltos es alta en el Cx 745NE (STD > 1,099.4 mg/L) y en los puntos del túnel Shucshapa presenta baja concentración (STD < 146.6 mg/L).

En todos los puntos de muestreo, la calidad de agua presenta bajo contenido de sólidos totales suspendidos, menor a 5.0 mg/L.

- **Carbonatos y Bicarbonatos**

Son aguas con bajo contenido de bicarbonatos (entre 15.1 y 92.6 mg CaCO₃/L) y con casi ausencia de carbonatos. También se trata de aguas blandas.

- **Cationes y Aniones Principales**

La concentración de sulfatos en el Cx 745NE (828.1 y 596.1 mg/L), supera a su estándar, reportando un tipo de agua cálcica sulfatada. Con alta concentración de calcio (274.47 mg/L).

Las aguas del túnel Shucshapa, son de tipo cálcica-bicarbonatada-sulfatada, reportando baja concentración tanto de calcio (51.38 mg/L) como sulfato (37.4 mg/L).

- **Metales**

Las aguas de este nivel no contienen, en su mayoría, concentraciones de metales que excedan los estándares establecidos, excepto la concentración de manganeso (0.4398 mg/L) en el punto 8.

Calidad del Agua Subterránea en el Nivel 250

- **Parámetros in-Situ**

Las aguas provenientes de los puntos ubicados en este nivel son entre ligeramente ácidas y neutras (5.8 < pH < 7.7).

La conductividad es baja en el Cx 880 Ventana 5 ($CE < 728 \mu S/cm$), con baja concentración de sales. En el punto Gal 972N la conductividad es alta ($1,289 \mu S/cm$), con alta concentración de sales.

- **Sólidos**

La concentración de sólidos totales disueltos en este nivel varía entre 572.2 y 779.6 mg/L. En todos los puntos de muestreo, la calidad de agua presenta bajo contenido de sólidos totales suspendidos, menores a 5.0 mg/L.

- **Carbonatos y Bicarbonatos**

Son aguas con bajo contenido de bicarbonatos (71.2 mg $CaCO_3/L$) y con casi ausencia de carbonatos. Son aguas blandas.

- **Cationes y Aniones Principales**

Las aguas de este nivel son de tipo cálcica-sulfatada y cálcica-bicarbonatada-sulfatada, con concentraciones de calcio entre 158.9 y 178.4 mg/L y de sulfato entre 270.8 y 447.3 mg/L, que no superan el estándar establecido.

- **Metales**

Las aguas de este nivel no contienen concentraciones de metales que exceden los estándares establecidos, excepto la concentración de manganeso.

La concentración de hierro excede el estándar establecido solo en el punto 9.

FUENTE DE AGUA		UBICACION	TIPO DE AGUA
Agua Superficial			
Laguna Niño Perdido			Cálcica sulfatada bicarbonatada
Agua Subterránea			
Nivel 800	Punto 3	Gal 380E	Cálcica sulfatada
Nivel 300	Punto 8	Cx 745NE	Cálcica sulfatada
	Punto 8A	Cx 745NE	Cálcica sulfatada
	Punto 28	Tunel Shucshapa	Cálcica bicarbonatada sulfatada
	Punto 29	Tunel Shucshapa	Cálcica bicarbonatada sulfatada
Nivel 250	Punto 9	Cx 880 Ventana 5	Cálcica sulfatada
	Punto 10	Cx 880 Ventana 6	Cálcica bicarbonatada sulfatada
	Punto 20	Gal 972N	Cálcica sulfatada

4.3. Prueba de hipótesis

Dentro de la hipótesis general se planteó lo siguiente: La evaluación hidrogeológica determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.

Hipótesis Especifico 1: Las características geológicas e hidrogeológicas determinan el comportamiento del agua en las labores.

Una vez realizado el análisis respectivo de la hipótesis específica 1 se dio por validado y se demostró durante la investigación.

Hipótesis Especifico 2: Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos determinan el comportamiento hidrogeológico en las labores.

De igual manera luego del análisis de la hipótesis 2 se dio por validado la investigación realizada.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados de calidad del agua en las 11 fuentes propuestas por Hydro- Geo y detalladas en la tabla siguiente, con el fin de predecir la calidad química de las aguas superficiales y subterráneas surgentes a través de fallas geológicas o perforaciones.

Nº MUESTRA	NOMBRE / UBICACION		OBSERVACIONES
Agua Superficial			
M-6	Laguna Putusay Baja		--
M-7	Laguna Putusay Alta		--
M-8	Laguna Niño Perdido		Rebose laguna Niño Perdido a laguna Santa Ana Baja
Agua Subterránea			
Nivel 800			
M-12	Punto 3	Gal 380E	Boca DDH-800-06-82
Nivel 300			
M-1	Punto 8	Cx 745NE	Boca DDH-300-09-35
M-2	Punto 8A	Cx 745NE	Boca DDH-300-09-45
M-9	Punto 34	Túnel Shucshapa	Progresiva 823.25, chorrera de karst
M-10	Punto 33	Túnel Shucshapa	Progresiva 1217, pequeña chorrera
Nivel 250			
M-3	Punto 9	Cx 880 Ventana 5	En DDH (1)
M-4	Punto 10	Cx 880 Ventana 6	En DDH (2)
M-5	Punto 20	Gal 972N	Chorrera hacia la izquierda

Puntos de Muestreo de Agua Superficial y Subterránea

Los resultados emitidos por el laboratorio son evaluados tomado como referencia los estándares de calidad de agua (ECA), categoría 3 (agua para bebida de animales), establecidos en el Decreto Supremo N°002-2008

MINAM

El muestreo se desarrolló en época de avenida de la zona. Se solicitó al laboratorio que analice los siguientes parámetros:

- Parámetros físico-químicos: Bicarbonatos, carbonatos, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos.

- Parámetros inorgánicos: Cloruros, fluoruros, sulfatos, sulfuros, cianuro, fosfato y nitrógeno.
- Parámetros inorgánicos: Grupo de metales disueltos y totales.

En el Anexo B.2 se adjunta copia de los reportes de análisis del laboratorio. En los gráficos 3 a 12, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo, indicando los resultados de las mediciones in-situ y los diagramas Stiff (gráficos de la composición de iones principales, que dan lugar a la clasificación por tipos de agua). La metodología y los resultados del control de calidad se hicieron mediante un balance iónico.

*Los cálculos para el balance iónico fueron realizados con los parámetros indicados en la tabla siguiente. Los resultados de los cálculos proporcionan un rápido mecanismo para confirmar la confiabilidad de los resultados analíticos para aniones y cationes en cada muestra.

DESCRIPCION	CATIONES				ANIONES				
Parámetro	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻
Peso Equivalente (gramos)	20	12	23	39	62	31	35.5	48	62

Principales Cationes y Aniones Disueltos en el Agua

Se asume que la suma de los aniones debe ser igual, aproximadamente, a la suma de los cationes, en meq/L.

Se aplicó el siguiente algoritmo convencional al cálculo de errores de balance de carga, donde se espera que el resultado EBI (%) sea menor a

10%, para tener una mayor confiabilidad de la calidad analítica de los resultados del laboratorio:

$$EBI (\%) = 100 \times \left(\frac{\sum \text{cationes meq} - \sum \text{aniones meq}}{\sum \text{cationes meq} + \sum \text{aniones meq}} \right)$$

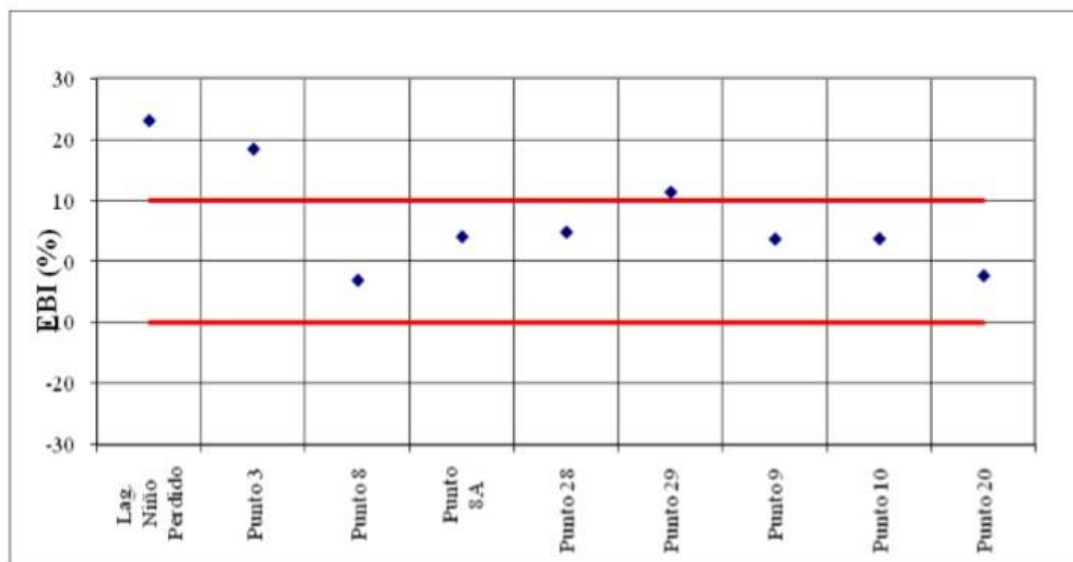
Los cationes y aniones incluidos en el algoritmo mostrado arriba se restringieron a los iones mayoritarios, como son el Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺, para el caso de cationes y CO₃⁻⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻⁻ y NO₃⁻ para el caso de aniones.

- En la tabla siguiente se puede observar que el EBI calculado para los resultados analíticos de las muestras de agua colectadas en la laguna Niño Perdido, el punto 3 del nivel 800 y el punto 29 del nivel 300 (túnel Shucshapa), se encuentra fuera del rango normal de tolerancia.

ESTACION	CATIONES					ANIONES					EBI (%)	
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻		Suma
Laguna Niño Perdido	3.99	0.00	0.02	0.02	4.04	0.86	0.03	0.03	1.60	0.00	2.52	23.04
Punto 3	0.32	0.01	0.01	0.01	0.34	0.05	0.03	0.03	0.13	0.00	0.24	18.40
Punto 8	17.55	0.04	0.08	0.01	17.68	1.42	0.03	0.08	17.25	0.00	18.79	-3.04
Punto 8A	13.72	0.00	0.08	0.01	13.81	0.25	0.03	0.03	12.42	0.00	12.73	4.08
Punto 28	2.26	0.00	0.02	0.01	2.30	1.52	0.06	0.03	0.48	0.01	2.08	4.82
Punto 29	2.57	0.01	0.02	0.01	2.60	1.21	0.04	0.03	0.78	0.01	2.07	11.36
Punto 9	7.98	0.08	0.18	0.02	8.26	1.15	0.03	0.03	6.46	0.00	7.67	3.69
Punto 10	7.14	0.05	0.21	0.01	7.41	1.17	0.03	0.03	5.64	0.00	6.87	3.74
Punto 20	9.44	0.03	0.19	0.01	9.65	0.73	0.03	0.03	9.32	0.00	10.11	-2.31

Los valores sombreados indican aquellos resultados del balance iónico que no se encuentran entre el ±10% de error

Resultados del Cálculo del Balance Iónico



Error del Balance Iónico

La concentración de hierro excede el estándar establecido solo en el punto 9.

FUENTE DE AGUA	UBICACION	TIPO DE AGUA
Agua Superficial		
Laguna Niño Perdido		Cálcica sulfatada bicarbonatada
Agua Subterránea		
Nivel 800	Punto 3	Gal 380E
Nivel 300	Punto 8	Cx 745NE
	Punto 8A	Cx 745NE
	Punto 28	Tunel Shucshapa
	Punto 29	Tunel Shucshapa
Nivel 250	Punto 9	Cx 880 Ventana 5
	Punto 10	Cx 880 Ventana 6
	Punto 20	Gal 972N

Puntos de Muestreo de Agua Superficial y Subterránea

- Los resultados emitidos por el laboratorio son evaluados tomando como referencia los estándares de calidad de agua (ECA), categoría 3 (agua para bebida de animales), establecidos en el Decreto Supremo N°002-2008

MINAM

- El muestreo se desarrolló en época de avenida de la zona. Se solicitó al laboratorio que analice los siguientes parámetros:

- Parámetros físico-químicos: Bicarbonatos, carbonatos, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos.
- Parámetros inorgánicos: Cloruros, fluoruros, sulfatos, sulfuros, cianuro, fosfato y nitrógeno.

CONCLUSIONES

- La presencia del agua subterránea en la mina, está asociada al grado de permeabilidad primaria de la roca (medio fisurado, acuífero cárstico/acuitardo) debido a que su pH es neutro, en relación directa al grado de fracturamiento y fallamiento principalmente en las calizas Jumasha, la alimentación o recarga se produce exclusivamente por la infiltración de la precipitación pluvial y nival estacional a través de los sistemas de fracturas existentes en las zonas altas de los cerros.
- Debido al gran caudal encontrado en el Nivel 250, las labores mineras están actualmente bajo el nivel freático, la cual irá deprimiéndose conforme se incrementa el laboreo a mayor profundidad con la probabilidad de incrementarse el caudal.
- El agua subterránea en el Complejo Catuva tiene un pH de carácter neutro, excepto en la zona de los cuerpos de pirita friable donde tienen un pH ligeramente ácido. Sin embargo, estas aguas ácidas en el discurrir por las cunetas en interior mina se diluyen para tener finalmente un pH neutro a alcalino las que son descargadas a superficie donde son tratadas químicamente antes de ser vertidas a la cuenca hidrográfica respectiva.
- Los cuerpos de pirita friable o sacaroideo ubicados en la zona del Exoskarn, representan serios peligros de colapso violento en caso estén saturados con agua, ya drenados esta probabilidad disminuye y mejoran las condiciones para atravesar con la excavación aunque con condiciones críticas de autosoporte.
- Las aguas empozadas y en escorrentía en los diferentes niveles y labores de la mina Catuva tienen un pH neutro a ligeramente alcalino producto de la dilución con las rocas calcáreas de las labores.

- La ocurrencia de agua en el Nivel 250 y niveles inferiores a profundizar se darán en contacto y cercanas a la falla Flor de Loto y zonas de Exoskarn con alto grado de fracturamiento ($RQD < 25\%$).
- La medición de caudales de agua en los niveles de la mina pueden variar, significativamente de un día a otro, por factores operativos ajenos al sistema acuífero como los rellenos hidráulicos que se ejecutan casi a diario en diferentes niveles de la mina y que el rebose del agua discurre hacia niveles inferiores, tuberías de agua rotas etc.
- Las descargas de agua subterránea de la mina Raura-Complejo Catuva a superficie, de acuerdo a las mediciones realizadas, son de buena calidad por el tratamiento físico y químico (posas de sedimentación con floculantes y sulfuro de sodio, SNa_2) que reciben antes de ser vertidas hacia las lagunas y cursos de río.
- Según el análisis realizado, se observa que las aguas en los diferentes niveles son en su mayoría de tipo cálcica sulfatada, por que se hallan influenciados del tipo de roca de la zona (rocas cálcicas), en las lagunas reportan bajas concentraciones de cationes (calcio y magnesio) en comparación de los niveles 300 y 250. Las concentraciones del nivel 800 son bajas en comparación con los demás niveles.

RECOMENDACIONES

- Los cuerpos o bolsonadas de pirita friable deben ser drenadas en base a perforaciones DDH antes de ingresar a estas zonas con el laboreo minero.
- Es importante obtener el modelo conceptual hidrogeológico de la mina Catuva lo cual redundará para un mejor manejo y control del agua subterránea conforme se profundice el minado, dicha información detallada se obtendrá mediante perforaciones diamantinas, pruebas de permeabilidad, bombeo, carga y descarga de flujos artesianos, instalación de piezómetros y monitoreo.
- El método de medición de caudal en las bocaminas Tinquicocha, Shucshapa e Hidro que descargan el agua subterránea a superficie será más exacta si se emplean vertederos Parshall cuya construcción es simple.
- En interior mina es necesario encausar correctamente el drenaje del agua a través de cunetas a fin de evitar se empocen o discurran irregularmente. En los Niveles 300 y 380 en zonas de fuerte filtración las cunetas deben ser revestidas a fin de evitar se infiltren al nivel inferior, de esta manera se reducirán volúmenes importantes de bombeo.

BIBLIOGRAFIA

- BIENIAWSKI**, Z. T. Geomechanic classification of rock masses and its application to tunneling. Proc. III. Tnt. Congress for Rock Mechanic. ISMR. Vol IIA. 1974.
- BLANCO**, T. R y M. P. CARTAYA. Estimación de la resistencia de las rocas. Minería y Geología (Moa).No.1. 2000.
- Córdoba Rojas**, David “MANUAL MECÁNICA DE ROCAS”, Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, Lima, Perú – 2004.
- D .F.** Coates, Fundamentos de Mecánica de Rocas. Dpto. de Minas de Canadá, Toronto, 1974.
- E. Hoek**, Rock Engineering Course Notes, Rocscience Edt. 2000
- FHILLIPS**. F. C. la aplicación de las proyecciones estereográficas en geología estructural. Madrid: BLUME. 1975.125p.
- Hoek E.** And Brown, ET. “EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN ROCA” México, 1980.
- JOHNSON**, E. 1975. El agua subterránea y los pozos. Primera Edición, Saint Paul, Minnesota.
- KIRSCH**, R. 2009. Groundwater geophysics – A toll for hydrogeology. Second Edition, Springer. Berlín – Germany.
- TODD**, D. K. 1959. Hidrogeología del agua subterránea. Editora Organismos La Habana, Cuba.
- AUGE**, M. 2008. Métodos geoeléctricos para la prospección del agua subterránea. Buenos Aires, Argentina.

ANEXO



Ubicación de la Mina Raura



MINA RAURA: UBICACION

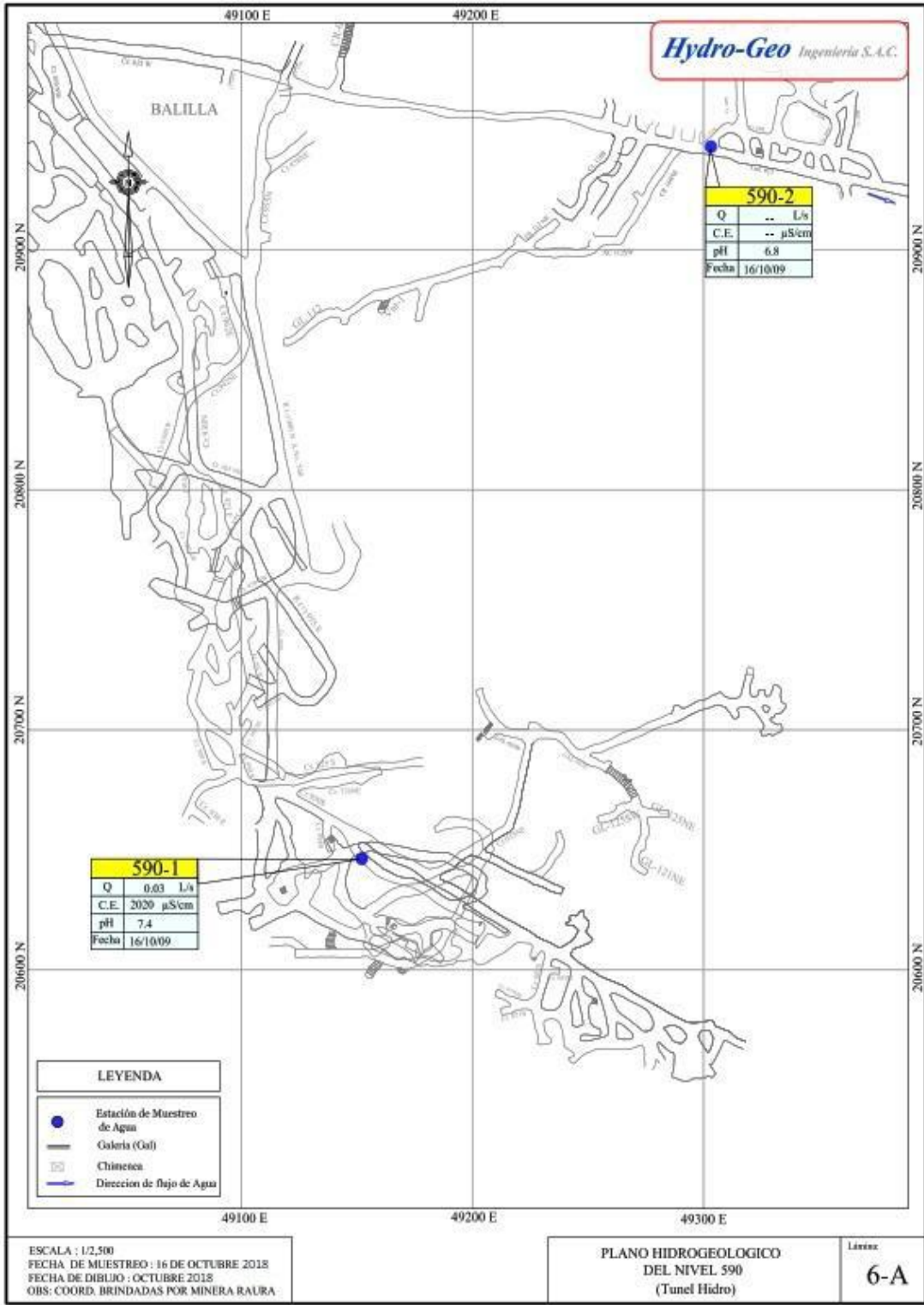
FOTOGRAFIAS DEL LUGAR DE LA INVES

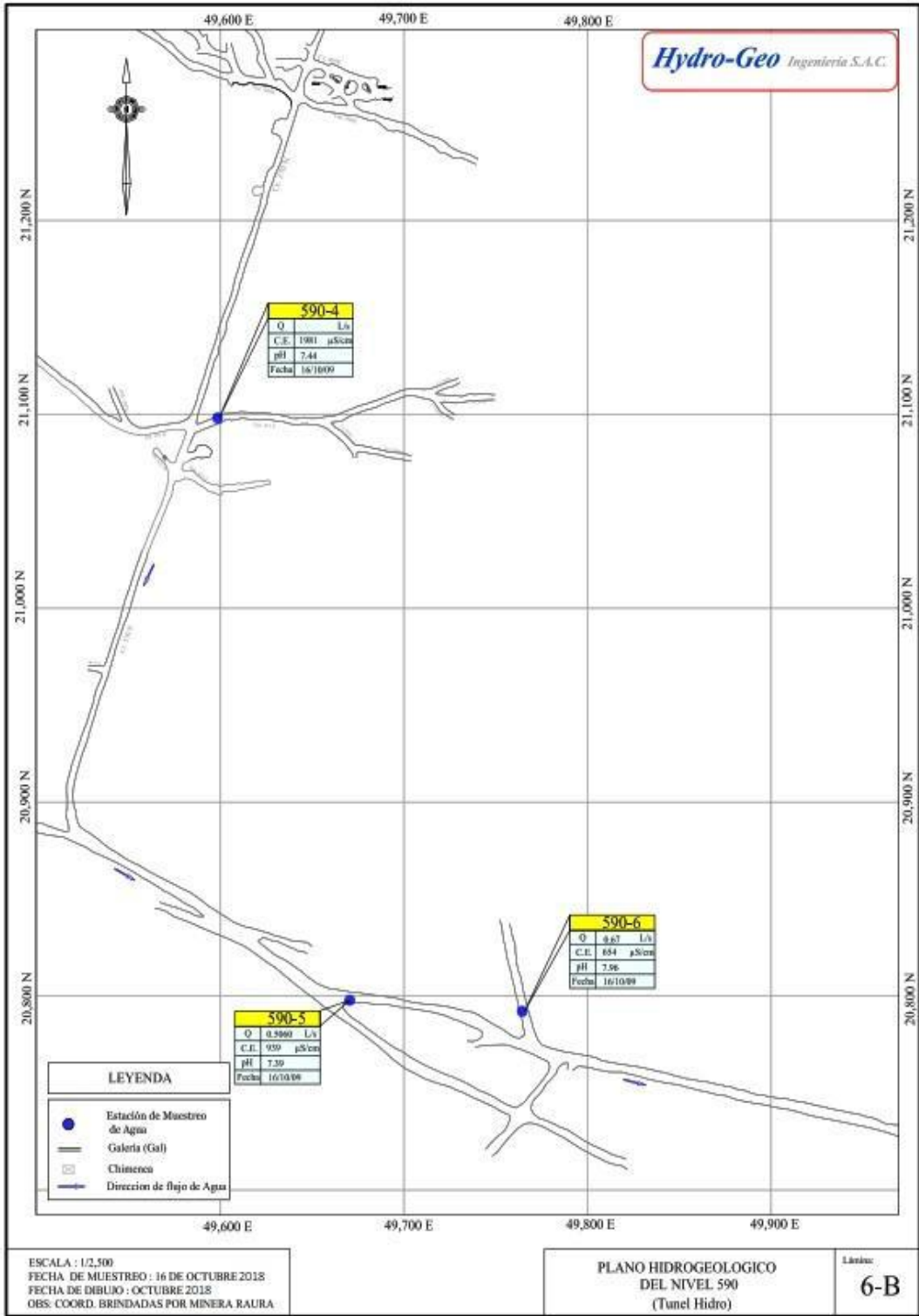


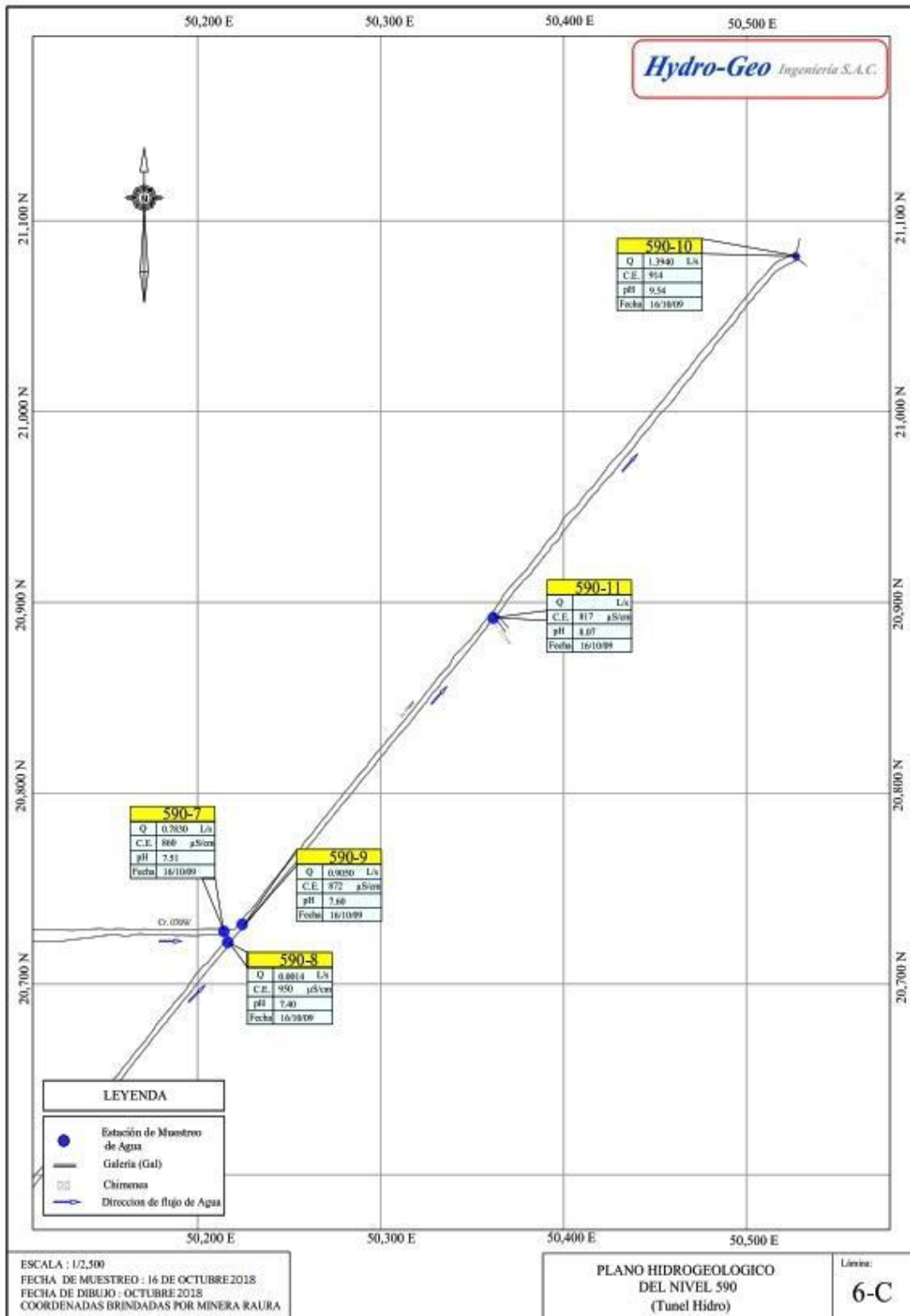


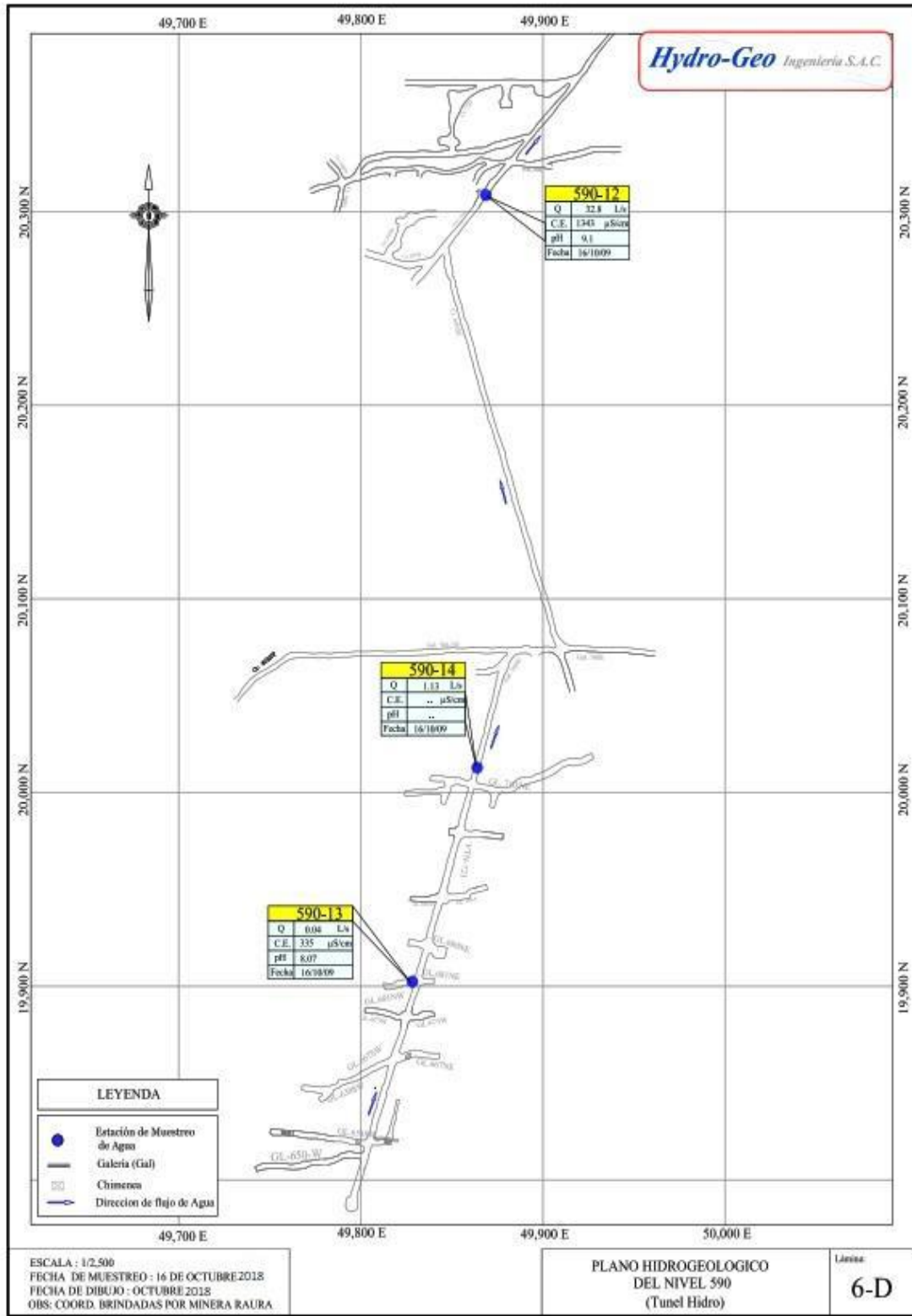
FOTOGRAFIAS DEL INTERIOR DE LA MINA ZONA CATUVA- MINA RAURA

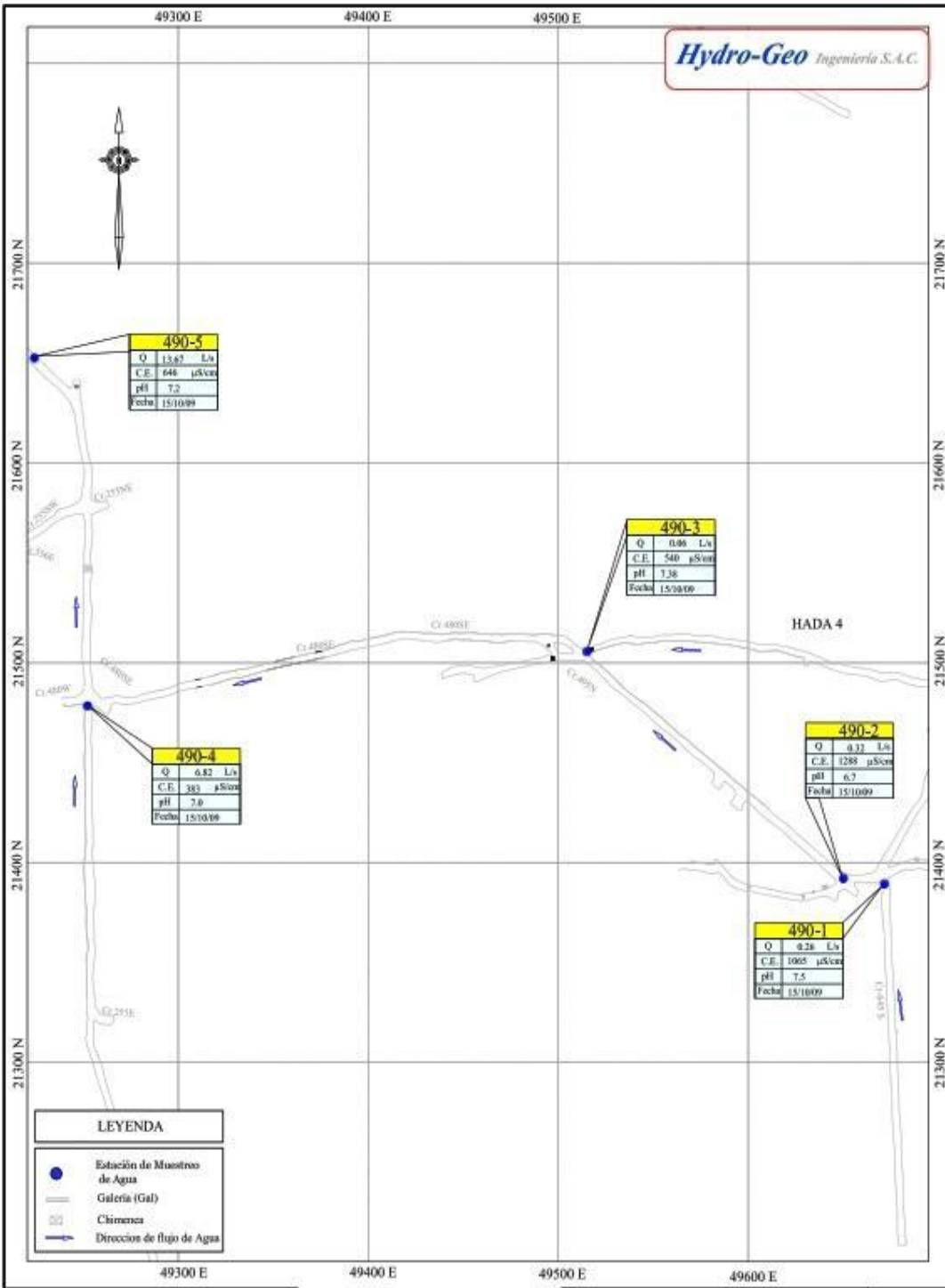








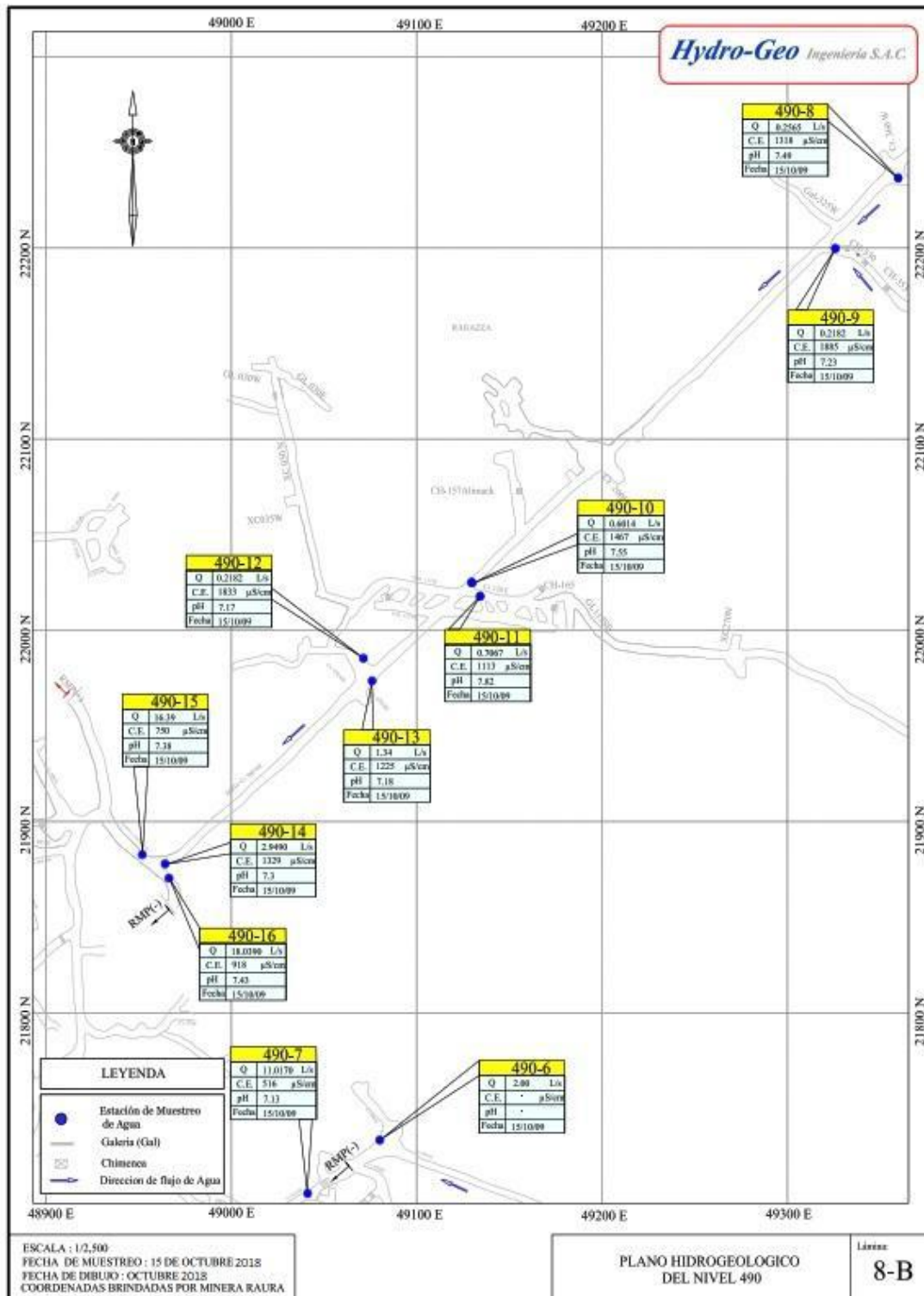




ESCALA : 1/2.500
 FECHA DE MUESTREO : 15 DE OCTUBRE 2018
 FECHA DE DIBUJO : OCTUBRE 2018
 COORDENADAS BRINDADAS POR MINERA RAURA

PLANO HIDROGEOLOGICO
 DEL NIVEL 490

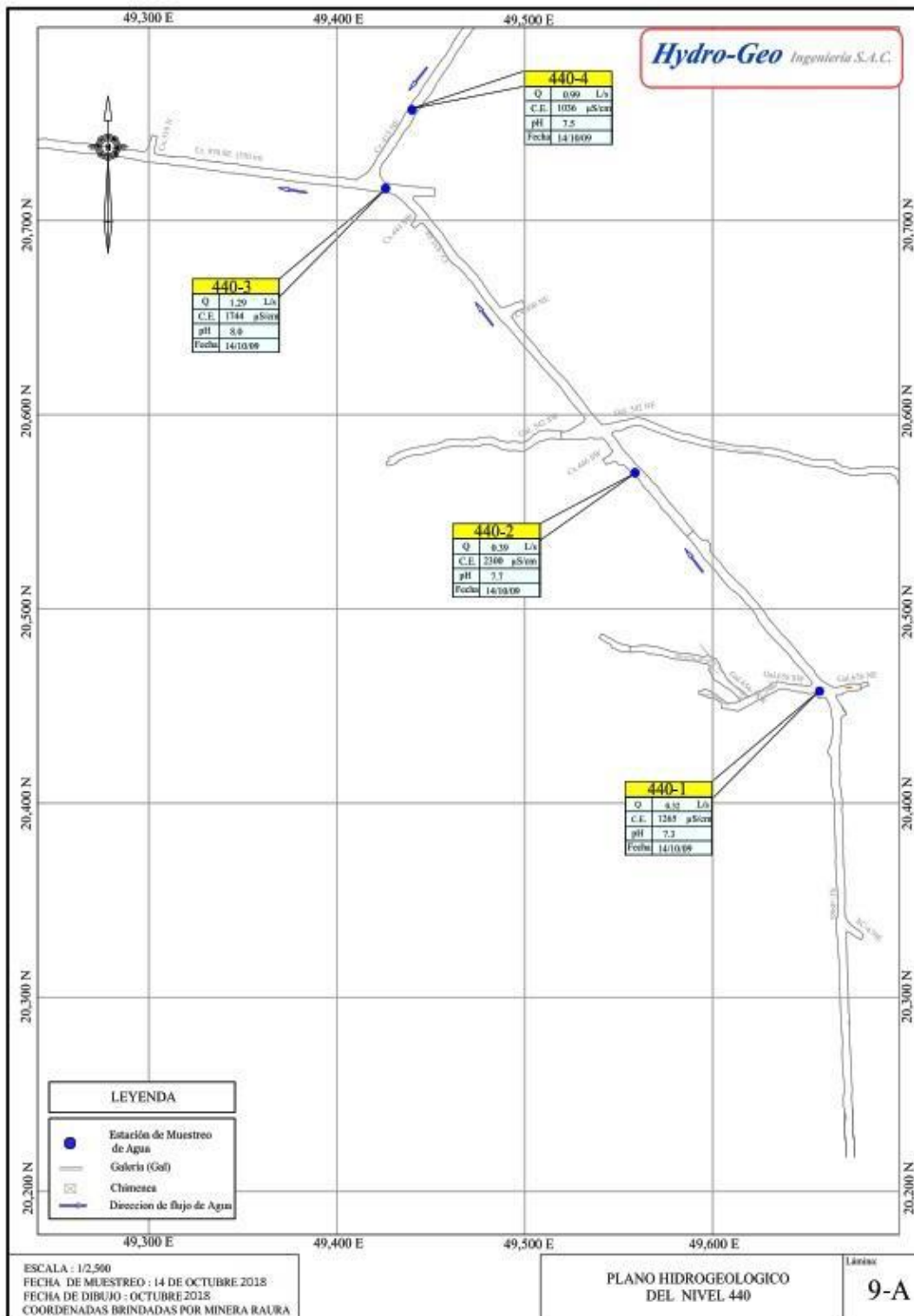
Lamina
8-A

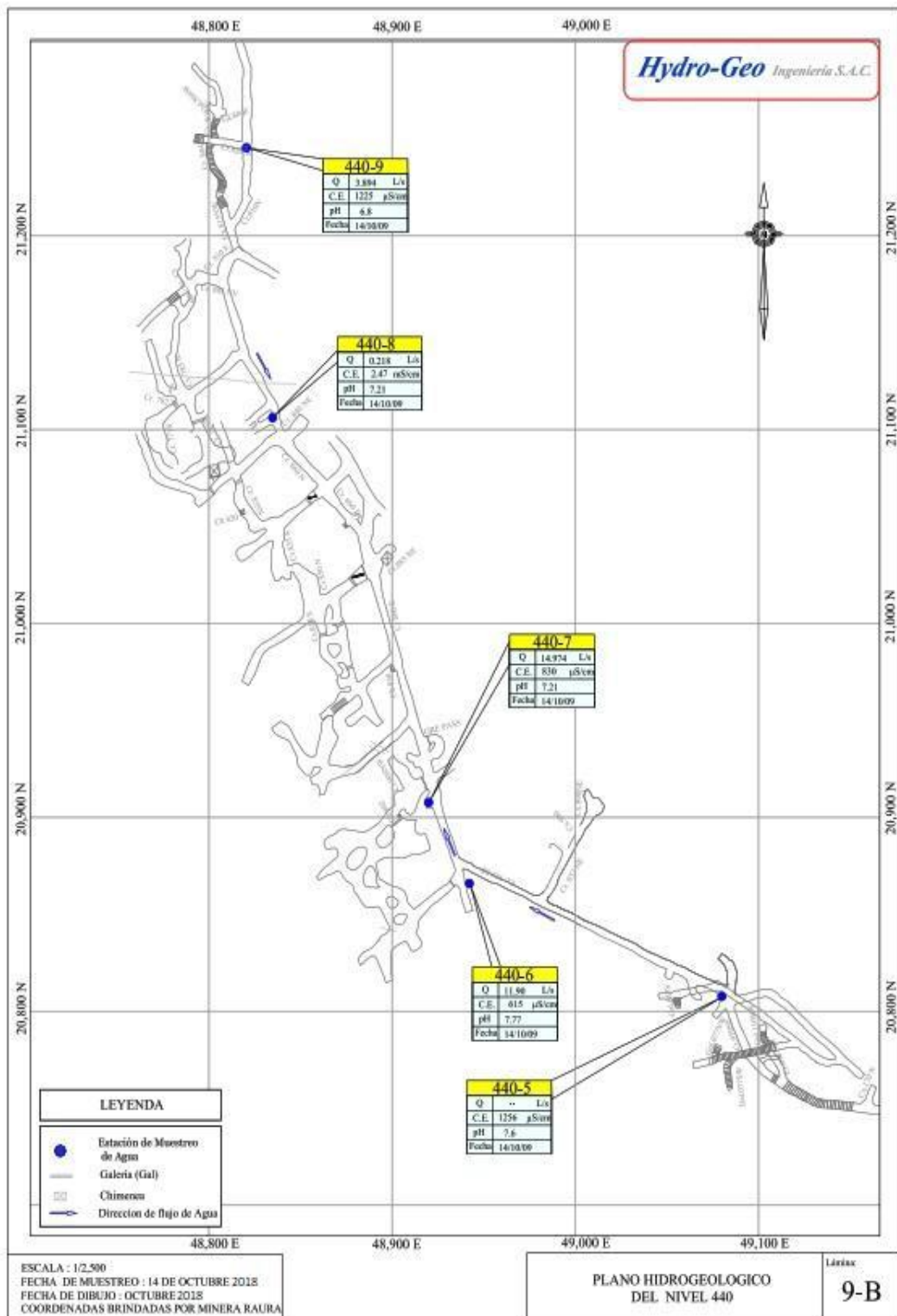


ESCALA : 1/2.500
 FECHA DE MUESTREO : 15 DE OCTUBRE 2018
 FECHA DE DIBUJO : OCTUBRE 2018
 COORDENADAS BRINDADAS POR MINERA RAURA

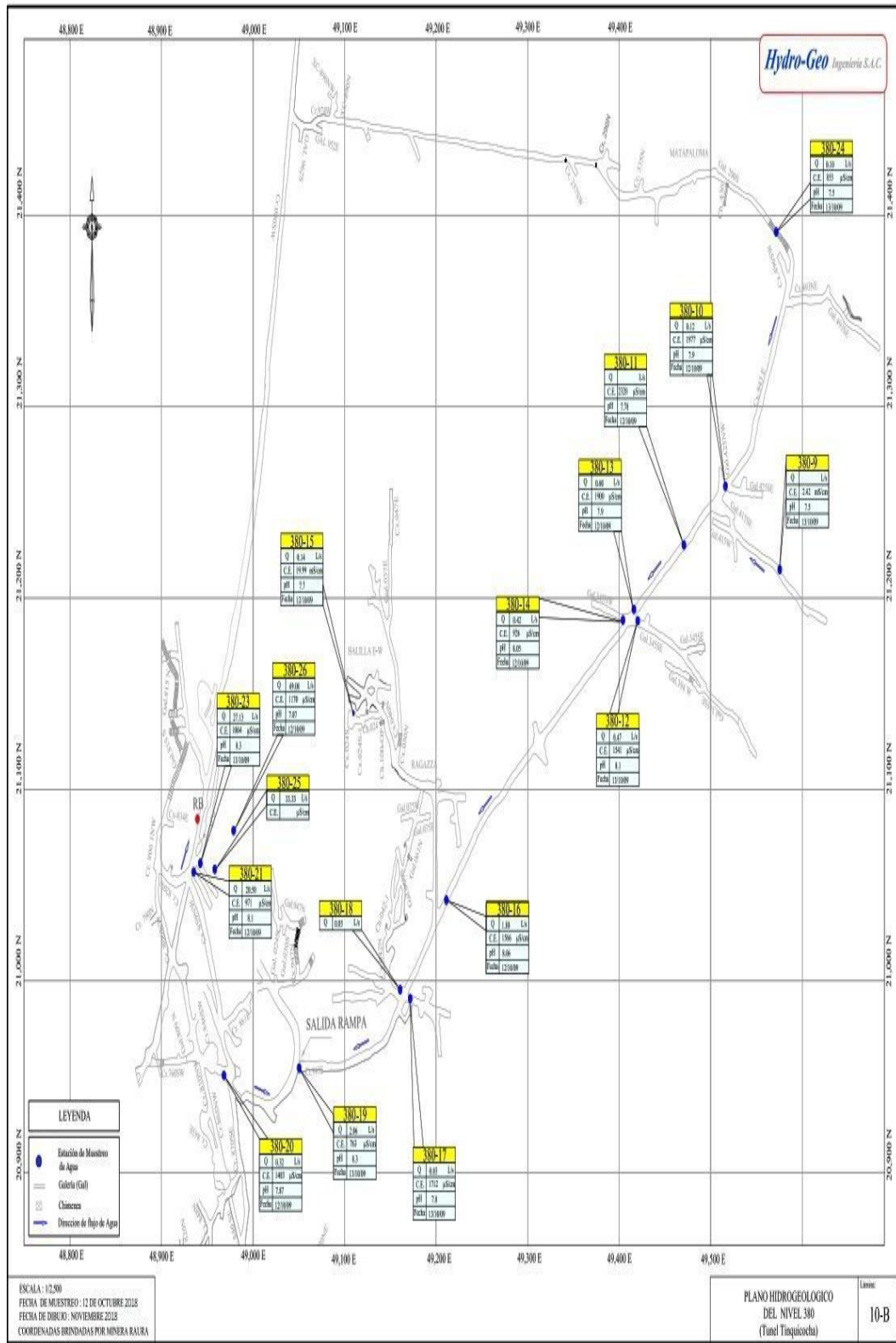
PLANO HIDROGEOLOGICO
 DEL NIVEL 490

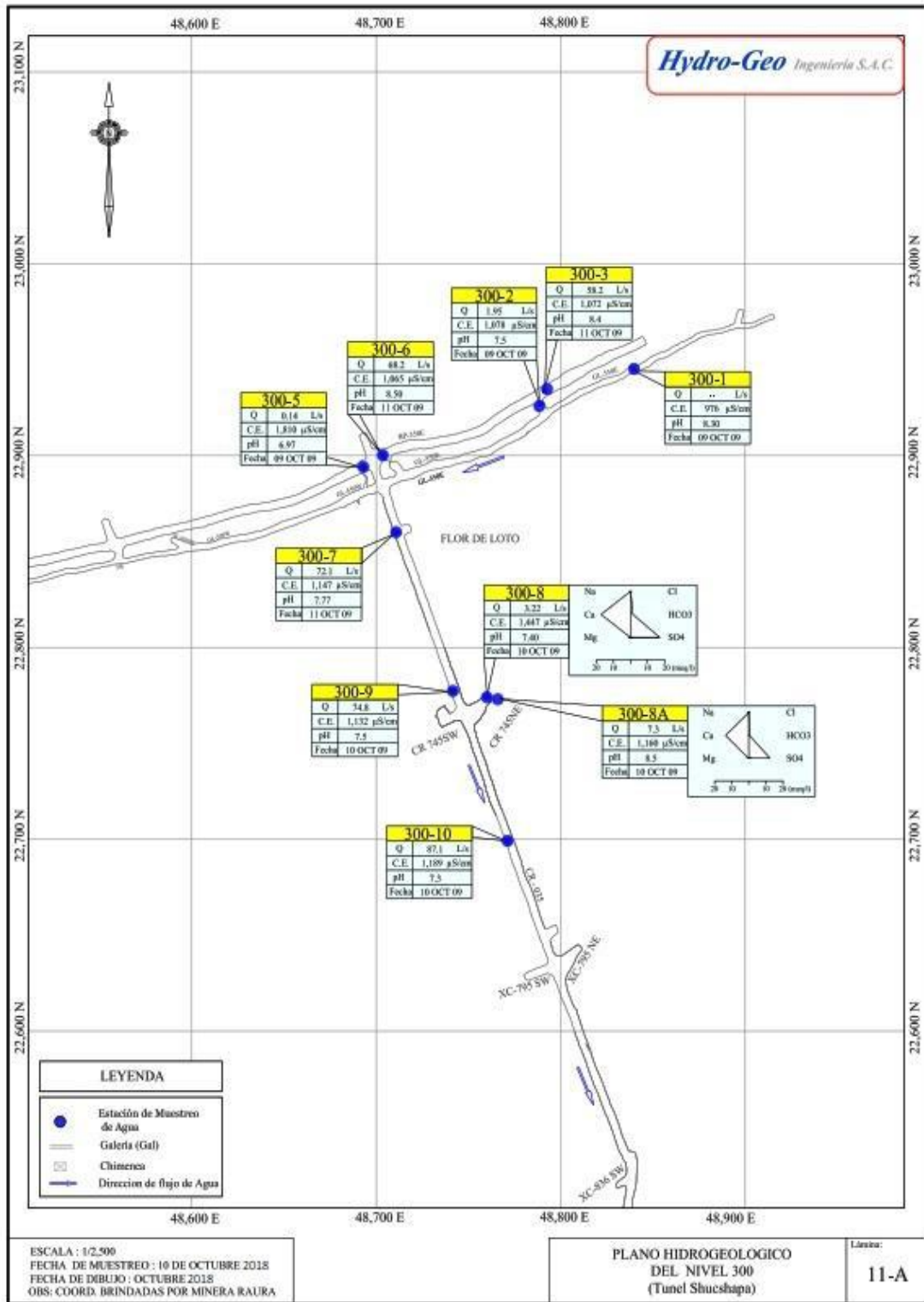
Línea
8-B

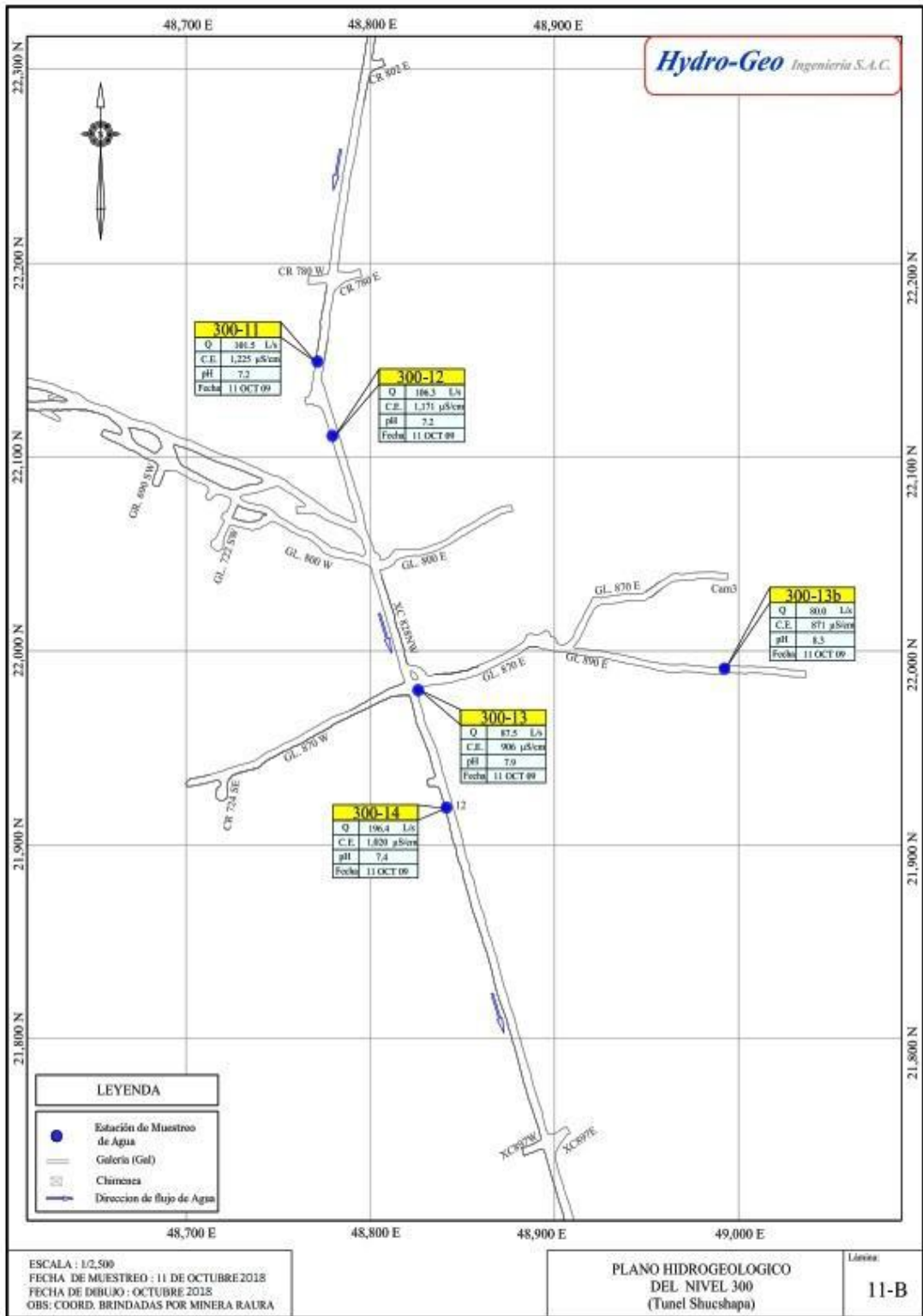


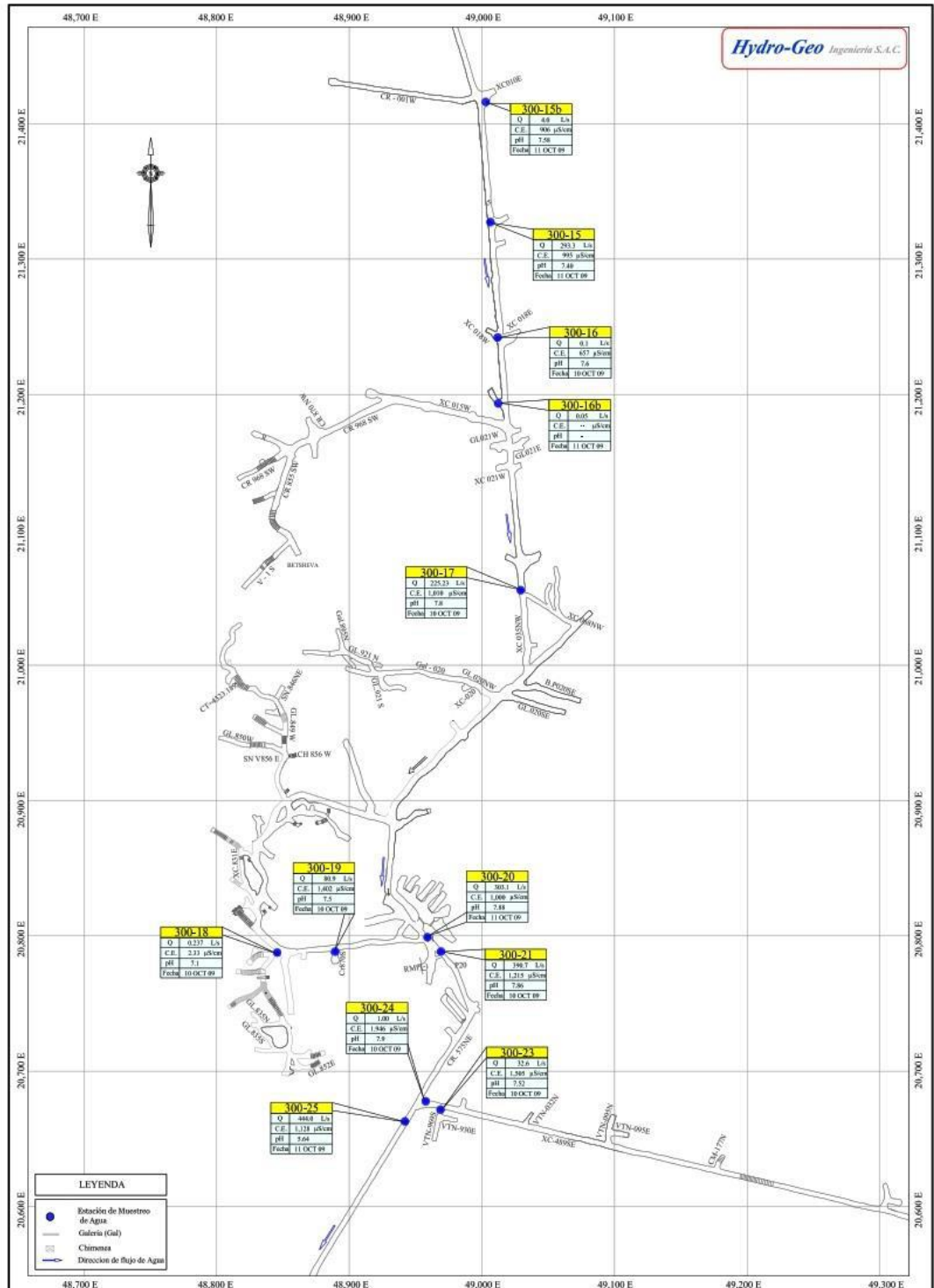






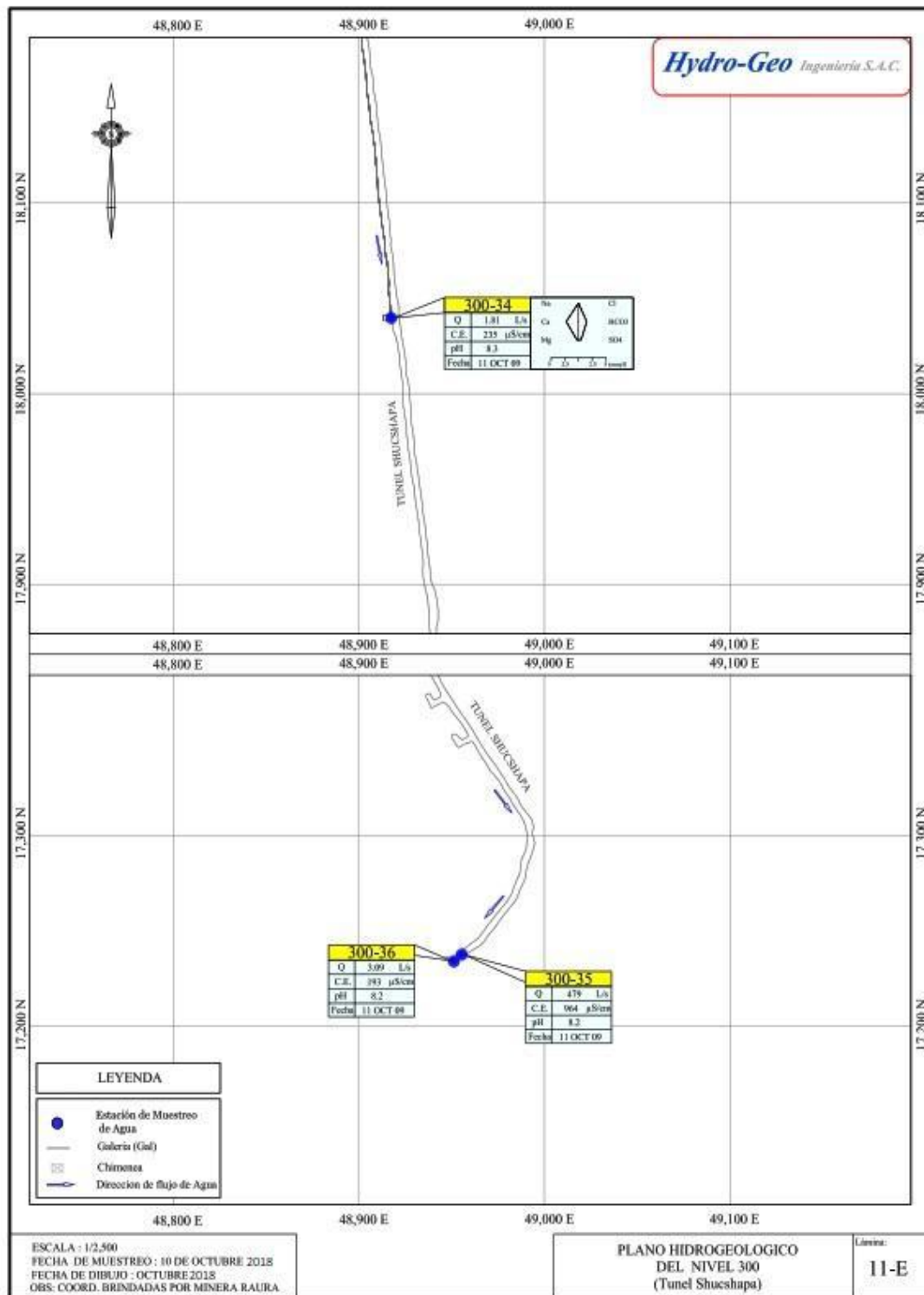


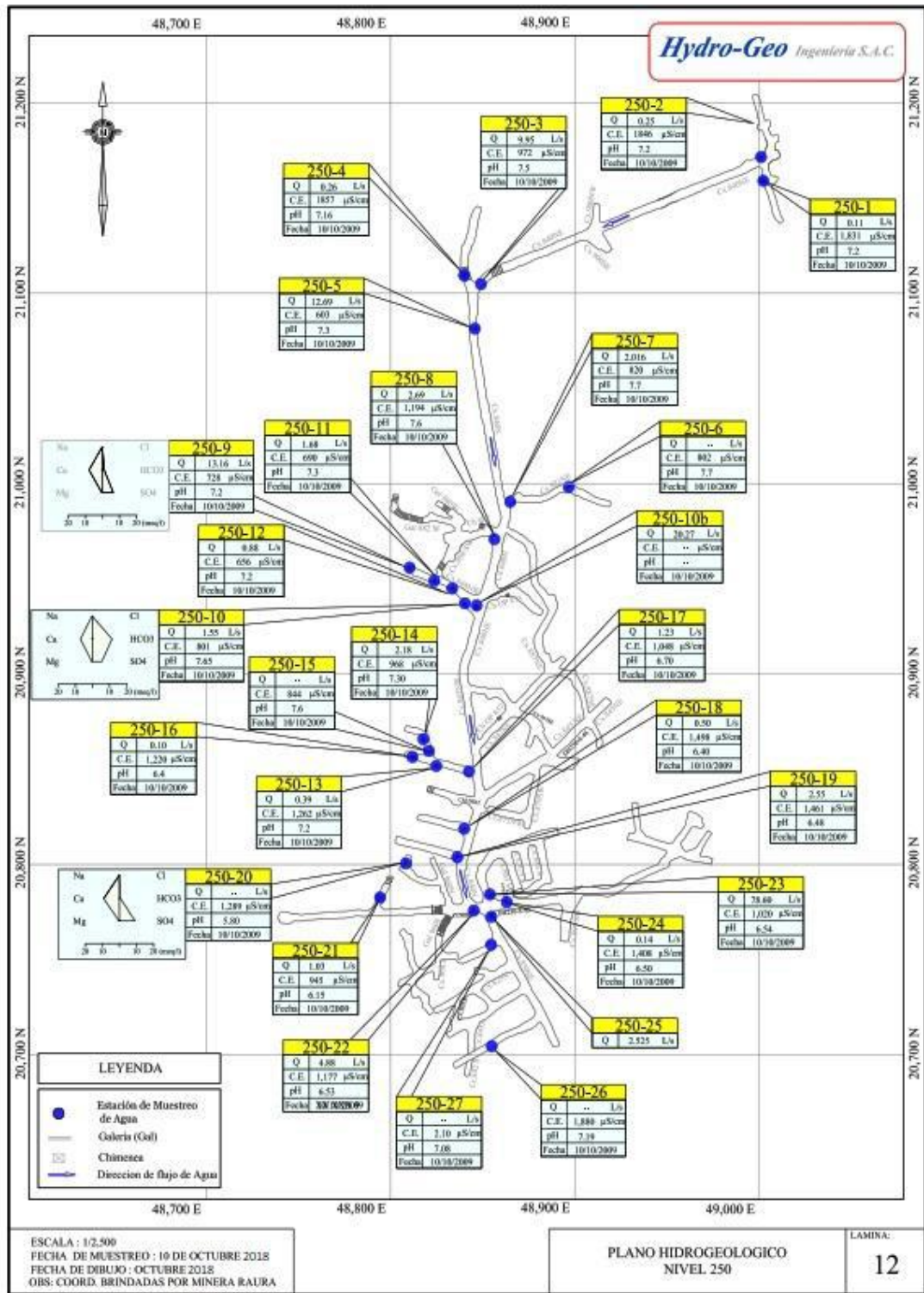




ESCALA : 1:2,500
 FECHA DE MUESTREO : 10 DE OCTUBRE 2015
 FECHA DE DIBUJO : OCTUBRE 2015
 OBS: COORD. BRINDADAS POR MINERA RAURA

PLANO HIDROGEOLOGICO DEL NIVEL 300 (Tunel Shuchshapa) Línea: 11-C





MATRIZ DE CONSISTENCIA							
TITU	Evaluación hidrogeológica en las labores subterráneas, zona Catuva - Mina Raura						
AUT	Bachiller en Ciencias Ingeniería Geológica – Harly Ederson TUCTO HUERTA						
IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACION DEL PROBLEMA	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN	CONCLUSIONES
<p>La presente tesis se realiza porque la Compañía Minera Raura, tiene el proyecto de profundizar sus labores y con ello se incrementará el caudal de las aguas subterráneas que definitivamente hace difícil realizar la explotación de las labores. La evaluación hidrogeológica que se realiza es para conocer cómo se puede optimizar el manejo de aguas en interior mina. Asimismo, el propósito de realizar este trabajo es determinar el comportamiento hidrogeológico de la zona Catuva y las estructuras geológicas con las aguas subterráneas. El incremento del caudal se produce por: Infiltración por precipitación, "flujo en conducto" (en cársticos interconectados) e Infiltración a través de fracturas y permeabilidad del macizo rocoso.</p>	<p>Al recurrir a fuentes escritas encontramos un mapa de la ubicación de la Mina Raura, y obtuvimos la siguiente información: El yacimiento minero de Raura, se ubica en la cima de la Cordillera Occidental, políticamente entre los Departamentos de Huánuco (Provincia de Lauricocha) y Lima (Provincia de Oyón) a una altitud de 4 500 a 4 800 m. s. n. m Coordenadas U.T.M. son: <input type="checkbox"/> 8 845 500 Norte. <input type="checkbox"/> 309 700 Este</p>	<p>El presente estudio se justifica porque es necesario determinar la influencia de las aguas subterráneas en las labores profundas de la mina Raura, de acuerdo a la planificación minera, permitiendo la toma de decisiones en la gestión de producción del yacimiento.</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Determinar las características hidrogeológicas que influyen en la zona Catuva de la Mina Raura.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL La evaluación hidrogeológica determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: La evaluación hidrogeológica.</p>	<p>El proyecto a desarrollar estará basado en tres tipos: exploratorio, descriptivo y explicativo</p>	<p>La presencia del agua subterránea en la mina, está asociada al grado de permeabilidad primaria de la roca (medio fisurado, acuífero cárstico/acuitardo) debido a que su pH es neutro, en relación directa al grado de fracturamiento y fallamiento principalmente en las calizas Jumasha, la alimentación o recarga se produce exclusivamente por la infiltración de la precipitación pluvial y nival estacional a través de los sistemas de fracturas existentes en las zonas altas de los cerros. Debido al gran caudal encontrado en el Nivel 250, las labores mineras están actualmente bajo el nivel freático, lo cual irá depimiéndose conforme se incrementa el laboreo a mayor profundidad con la probabilidad de incrementarse el caudal. El agua subterránea en el Complejo Catuva tiene un pH de carácter neutro, excepto en la zona de los cuerpos de piritas friables donde tienen un pH ligeramente ácido. Sin embargo, estas aguas ácidas en el discurrir por las cunetas en interior mina se diluyen para tener finalmente un pH neutro a alcalino las que son descargadas a superficie donde son tratadas químicamente antes de ser vertidas a la cuenca hidrográfica respectiva. Los cuerpos de piritas friables o sacaroideo ubicados en la zona del Exoskarn, representan serios peligros de colapso violento en caso estén saturados con agua, ya drenados esta probabilidad disminuye y mejoran las condiciones para atravesar con la excavación aunque con condiciones críticas de auto soporte.</p>
FORMULACION DEL PROBLEMA		LIMITACIONES DE LA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	METODO DE LA INVESTIGACION	
PROBLEMA							
¿La evaluación hidrogeológica determinará el comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura?		<p>Los datos utilizados en el proyecto se tomaron solo en la zona mencionada y por lo tanto los resultados son aplicables solo en la zona estudiada, los datos para otros estudios se tomarán solo como referencia.</p>	<p>Caracterizar la geología e hidrogeología del yacimiento.</p>	<p>Las características geológicas e hidrogeológicas determinan el comportamiento del agua en las labores.</p>	<p>Comportamiento del agua en las labores subterráneas zona Catuva - Mina Raura.</p>	<p>Para cumplir con los objetivos del estudio, se ha seguido siguiente método: • Recopilación, análisis y evaluación de la información obtenida. • Inventario hidrogeológico por niveles, galerías, crueros, By-Pass y tajos correspondientes. Este inventario ha permitido reconocer las fuentes principales de surgencia de agua dentro del nivel o laboreo minero subterráneo y su derivación final. • Aforo de los caudales mediante correntómetro digital y con método volumétrico. • Revisión de la información colectada, interpretación de los datos de campo, elaboración de planos y finalmente elaboración del presente informe.</p>	<p>Las aguas empozadas y en escorrentía en los diferentes niveles y labores de la mina Catuva tienen un pH neutro a ligeramente alcalino producto de la dilución con las rocas calcáreas de las labores. La ocurrencia de agua en el Nivel 250 y niveles inferiores a profundizar se darán en contacto y cercanas a la falla Flor de Loto y zonas de Exoskarn con alto grado de fracturamiento (RQD < 25%). La medición de caudales de agua en los niveles de la mina puede variar, significativamente de un día a otro, por factores operativos ajenos al sistema acuífero como los rellenos hidráulicos que se ejecutan casi a diario en diferentes niveles de la mina y que el rebose del agua discurre hacia niveles inferiores, tuberías de agua rotas etc. Las descargas de agua subterránea de la mina Raura-Complejo Catuva a superficie, de acuerdo a las mediciones realizadas, son de buena calidad por el tratamiento físico y químico (posas de sedimentación con floculantes y sulfuro de sodio, SNa2) que reciben antes de ser vertidas hacia las lagunas y cursos de río. Según el análisis realizado, se observa que las aguas en los diferentes niveles son en su mayoría de tipo cálcica sulfatada, por que se hallan influenciados del tipo de roca de la zona (rocas cálcicas), en las lagunas reportan bajas concentraciones de cationes (calcio y magnesio) en comparación de los niveles 300 y 250. Las concentraciones del nivel 800 son bajas en comparación con los demás niveles.</p>
¿Cuáles son las características hidrogeológicas de la Zona Catuva?			<p>Conocer los controles estructurales de la permeabilidad de la zona Catuva.</p>	<p>Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos determinan el comportamiento hidrogeológico en las labores.</p>		DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	
¿Cuáles son los controles estructurales en la determinación de la permeabilidad del macizo rocoso?						<p>El diseño de investigación es descriptivo y correlacional. Se describirá las características hidrogeológicas de la zona Catuva</p>	