



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y
NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
GRUPO DE SERVICIOS - SEGEMI**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO. PROYECTO MINERO
SAN JORGE
PROVINCIA DE MENDOZA.**

Minera San Jorge

Enero 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Ubicación y vías de acceso	8
1.2. Objetivos	9
2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	10
3. MARCO HIDROGEOLÓGICO	12
3.1. Hidrología Superficial	12
3.1.1. Cuenca Ciénaga de Yalguaraz y Barreal de la Pampa Seca	12
3.1.2. Cuenca de Uspallata	13
3.2. Hidrogeología	14
3.2.1. Acuífero de Yalguaraz	14
3.2.2. Acuífero de Uspallata	15
4. DESARROLLO	16
4.1. Análisis de los distintos antecedentes de la región	16
4.2. Modelado Hidrológico de San Jorge y alrededores	20
4.2.1. Modelado Hidrológico en Los Alrededores del rajo (Pit)	33
4.2.1.1 Análisis de los Parámetros Hidráulicos (permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática)	37
4.2.1.2 Balance Hídrico y Vulnerabilidad del acuífero	39
4.2.2. Balance Hídrico (Artois, (2022))	39
4.2.2.1. Clima y topografía	39
4.2.2.2. Cuencas hidrológicas y coeficientes de escorrentía	41
4.2.2.3. Balance hídrico	42
4.2.2.3.1. Condiciones naturales de línea base	43
4.2.2.3.2. Condiciones durante la operación minera	46
4.2.2.3.3. Efecto del cambio climático	47
5. DISCUSIONES	47
6. CONCLUSIONES	53
7. BIBLIOGRAFÍA	59



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Nombre y Apellido	N° de Revisión	Fecha	Aprobación Nombre y Apellido	Fecha Aprobación
Alejandro Palma				
Humberto Ulacco				



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se desarrollan los estudios realizados en los alrededores del proyecto San Jorge para profundizar el conocimiento de la situación del agua subterránea y la potencial afectación de obras civiles en el sector.

Para ello se reunió toda la información disponible a lo largo de distintas campañas y estudios de investigación, desde el año 1996 hasta el año 2023, tanto en la parte estructural como en geofísica y evaluaciones de los recursos y los balances hídricos de la cuenca superior de las cabeceras del Río Uspallata.

Los elementos considerados como de peso para este informe, abarcan la agrupación de una serie de perfiles geofísicos TEM (Transiente Electromagnético), sondeos eléctricos verticales (SEV) y perforaciones de monitoreo de napas freáticas.

Además, se investigó la geología estructural de la región y se vinculó su relación con la estructuración e influencia en la disposición de los diversos acuíferos.

La idea fundamental ha sido determinar la posición espacial de toda la información obtenida con el fin de graficar y obtener un criterio válido que permitiera evaluar la potencial afectación del recurso hídrico superficial, y/o la consecuente afectación de las aguas subterráneas.

Se pudo conformar así, un conjunto de datos que lograra diseñar un basamento hidrogeológico para el área, que permitiera ver su comportamiento en detalle.

El proyecto consta de dos partes fundamentales representadas por el rajo a cielo abierto que ocupa una dimensión de 1.400 m por 1.000 m (115 ha aprox.) y los productos de la operación que se manifiestan en la escombrera de lastre, de baja ley, de óxidos y las colas de relaves; todo esto ocupa un área general de 1.400 hectáreas aproximadamente.

En cuanto al sector del rajo se valoraron todos los sondeos que habían sido medidos para investigar la cota de las napas freáticas locales y se incorporaron los datos geofísicos más cercanos al sector, para aumentar el grado de confianza.

Como resultado de esto, en cuanto al sector del rajo se puede determinar que las operaciones de ingeniería no dejan expuesto algún acuífero en los sedimentos afectados por el minado. Lo cual excluye el ingreso de flujo de soluciones y afectación de acuíferos locales, quedando el ingreso de agua al rajo, restringido al fallamiento local que ataviése la excavación.

En cuanto al resto del área, se ha podido construir un modelo de las napas detectables a través de los distintos sondeos en profundidad, tanto TEM, SEV y pozos de monitoreo, los que posicionan la superficie hidrogeológica a más de 146 m de profundidad, por debajo de la topografía donde se localizarán las futuras escombreras.

Los datos de permeabilidad de la zona del rajo, arrojan valores de permeabilidad baja ($4.9E-06$ a $8.3E-06$ m/s), indicando asimismo una baja infiltración. Esto indica que la situación del rajo es muy favorable a la no afectación del acuífero, como así también sobre la posibilidad de control sobre el mismo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En el contexto general, los datos pluviométricos disponibles, así como parámetros de permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática, indican que la vulnerabilidad de los acuíferos es baja.

En cuanto al seguimiento hidráulico subterráneo se pudo establecer una superficie acuífera discreta para distintos sectores del valle del Río Uspallata y sus subcuencas.

De esta manera se pudo correlacionar la estructuración regional que se dispone en varias familias de fracturas Este-Oeste ($\pm 20^\circ$) atravesando al valle que ocupa la cuenca y afectando transversalmente a los acuíferos, desmembrándolos y fragmentándolos, produciendo discontinuidades que se pueden ver a lo largo de varias secciones de los perfiles TEM.

Así también, se pudo determinar que la cuenca del Río Uspallata, si bien muestra una aparente continuidad superficial, hasta el límite entre las provincias de Mendoza y San Juan, los dislocamientos de bloques estructurales, alcanzan a definir por lo menos tres tramos con cierta identidad propia, en cuanto a depocentros locales.

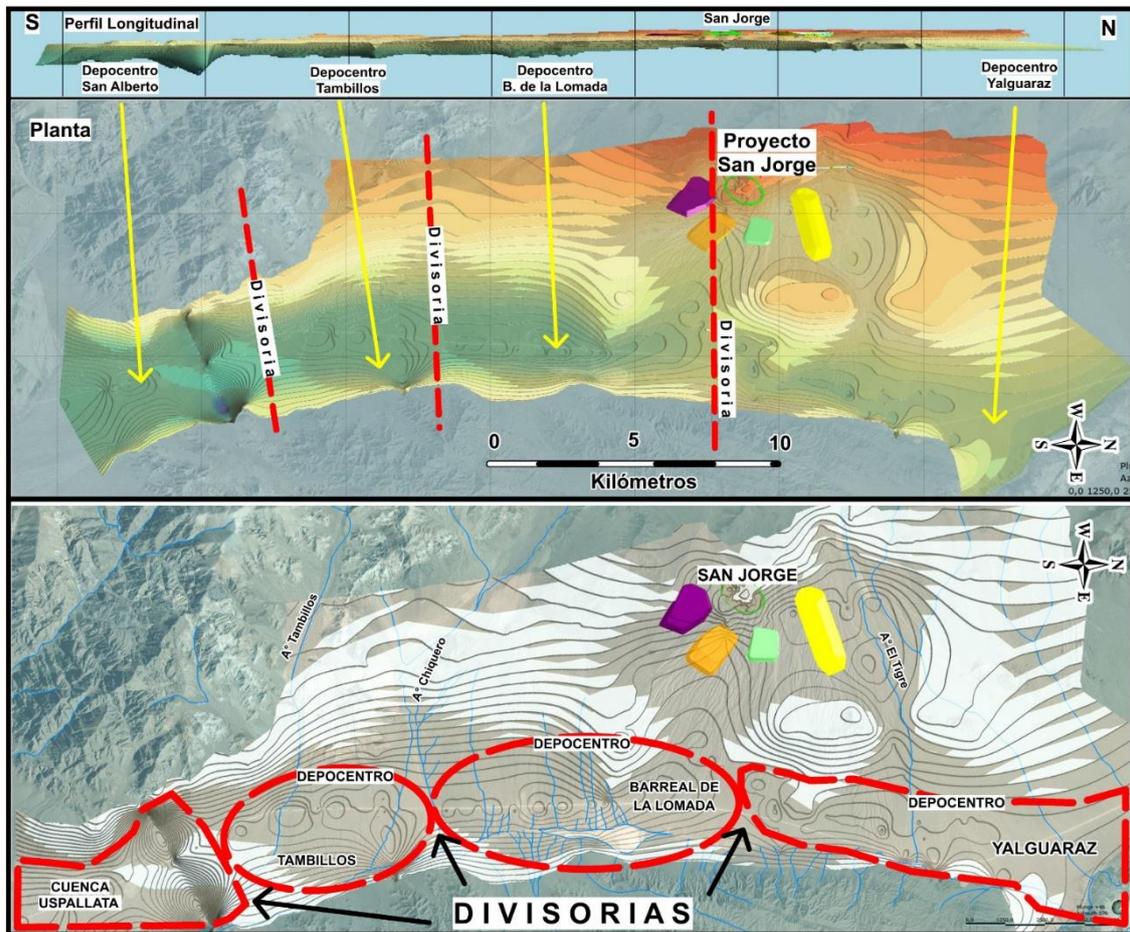
Se reconocen así, dos cuencas de altura representadas por el Barrial de la Lomada y la Ciénaga de Yalguaraz. Estas cuencas estructurales del norte conforman un grupo que pueden diferenciarse de las cuencas de Tambillos y Uspallata, las cuales se desarrollan plenamente al sur en la divisoria hidrogeológica definida por Lucero (2018) e Ibañez et al. (2021).

El caso específico del Barrial de la Lomada, corresponde a un depocentro que se encuentra en situación de equilibrio y que compartiría aguas subterráneas solo en el caso hipotético de que la evapotranspiración sea superada por fuertes lluvias estacionales, caso que no tiene registro histórico conocido.

Lo antecedente puede dimensionarse en la figura siguiente:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI



De dicha información se puede interpretar que el agua subterránea se encuentra contenida en subcuencas que, si bien están conectadas morfológicamente por su basamento, están a su vez separadas hidrogeológicamente por la dinámica de su flujo, generando un sistema endorreico hacia el norte, en el límite con la provincia de San Juan.

En este balance hídrico se consideró además, la Vulnerabilidad del acuífero, donde se actualizaron los datos en función de la nueva estructura, diseño y operación del depósito de relaves (altura de capas vs tiempo de exposición), la nueva ubicación y diseño de las escombreras y el análisis de riesgo de generación de Drenaje Ácido (DAR) del yacimiento minero. Según los estudios indica que la infiltración no superaría los 6 m bajo superficie, estando el nivel freático a más de 146 m de profundidad por lo que se considera que no hay afectación sobre el acuífero subyacente.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio comprende el análisis de los distintos trabajos desarrollados sobre el recurso hídrico local, donde se han considerado datos pluviométricos de la Estación Meteorológica del Proyecto San Jorge y de otras fuentes disponibles (SRK, 2018 y Artois, 2022, Andess, 2023), así como parámetros de permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática, en función de los datos de perforaciones en aluvión para monitoreo de acuíferos y sondeos Eléctricos Verticales (SEV), además, de estudios TEM, resumidos y reportados por SRK (2018).

Con esta información antecedente se ha evaluado el potencial flujo de agua ingresante al rajo (pit) con el fin de calcular su impacto durante la operación de minado y del eventual desarrollo de una laguna interior (Pit Lake) en etapa de cierre.

Se ha realizado el Balance Hídrico y se consideró, además, la Vulnerabilidad del acuífero, teniendo como base el informe de cuencas realizado por SRK en el año 2018 (SRK, 2018), el que se ha actualizado en función de la nueva estructura, diseño y operación del depósito de colas (altura de capas vs tiempo de exposición), la nueva ubicación y diseño de las escombreras y el análisis de riesgo de generación de drenaje ácido del yacimiento minero.

En este contexto se han considerado los distintos estudios realizados en la región:

1. Anddes Argentina SA. 2023. Estudio hidrológico superficial. Proyecto San Jorge. Informe 2201.20.01-12-210-09-ITE-001.
2. Artois Consulting Llc, 2022. Proyecto San Jorge: Balance hídrico preliminar. Hooydonck, J. V. El informe Memo-SJ_balance-10142022 (1).pdf.
3. SRK Consulting SA. 2008. Resumen Trabajos Hidrogeológicos de Terreno - Proyecto San Jorge.
4. SRK Consulting (Argentina) SA.2018. Actualización del Estudio de Cuencas. Proyecto San Jorge.



1.1. Ubicación y vías de acceso

El proyecto minero San Jorge, se ubica en el distrito Uspallata, departamento Las Heras, de la provincia de Mendoza, República Argentina. Se encuentra entre los 32° 10' de Latitud sur y los 69°27' Longitud oeste, en la Precordillera mendocina a una altura aproximada de 2.400 -2.900 msnm. Dista 97 km en dirección noroeste de la ciudad de Mendoza, capital provincial y a 37 km de la localidad de Uspallata, en el sector precordillerano cercano al área conocida como Ciénaga de Yalguaraz (Figura N° 1A y 1B).

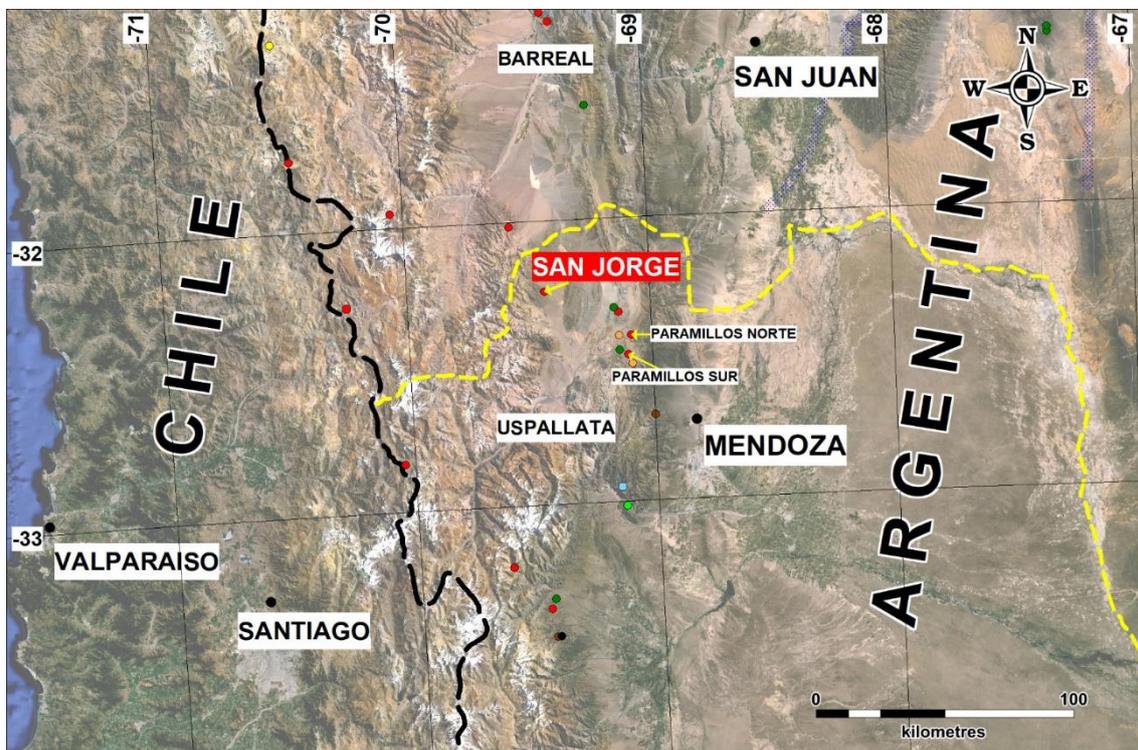


Figura N° 1A - Ubicación Regional del Proyecto en el Valle de Uspallata.

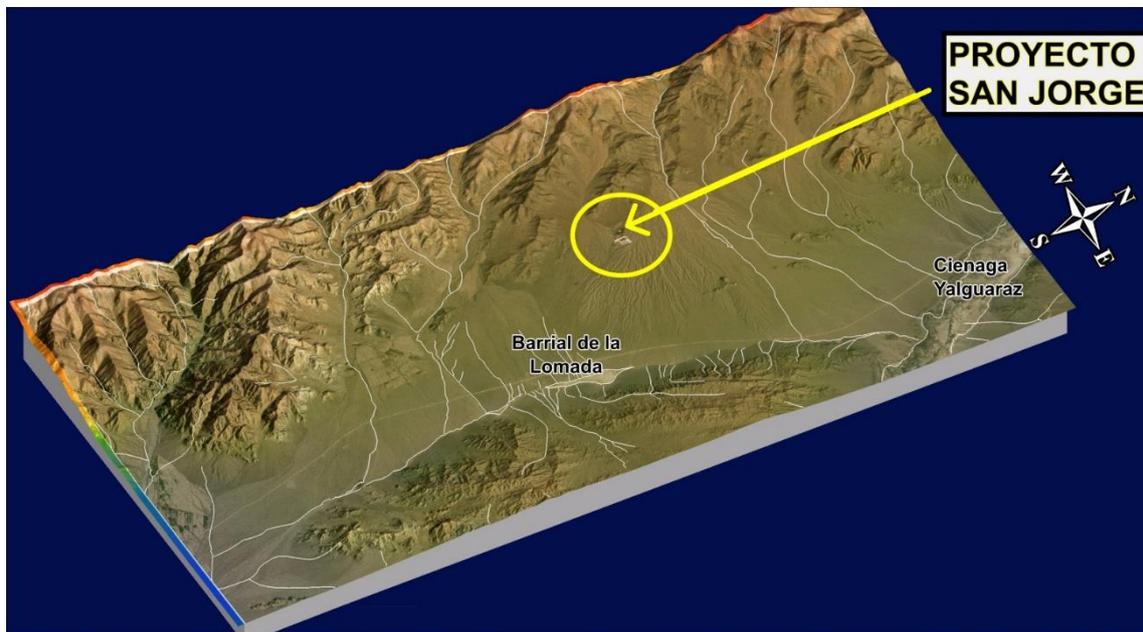


Figura N° 1B - Ubicación del Proyecto y su relación con la escorrentía local.

1.2. Objetivos

Analizar los distintos estudios referidos al recurso hídrico local en base a datos pluviométricos y otras fuentes disponibles, citadas precedentemente.

Analizar los Parámetros de permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática en función de los datos de los sondeos y estudios TEM disponibles a la fecha (SRK, 2018), con el fin de estimar el flujo de agua ingresante al rajo y así cuantificar su evacuación durante la operación, y de la posible futura laguna del rajo, en etapa de cierre.

Realizar el Balance Hídrico y Vulnerabilidad del acuífero considerando como base el informe de cuencas realizado por SRK en el año 2018, actualizándose en función del nuevo diseño y operación del depósito de colas (altura de capas vs tiempo de exposición), la nueva ubicación y diseño de las escombreras de Óxidos, Baja Ley y Lastre (estéril), como así mismo el análisis de riesgo de generación de drenaje ácido del yacimiento minero.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El yacimiento San Jorge se ubica sobre el borde occidental del Valle Uspallata-Calingasta-Iglesia que consiste en una fosa tectónica de rumbo norte-sur que sirve de límite a dos provincias geológicas: la Precordillera al este y la Cordillera Frontal al oeste. De esta forma el depósito se ubica sobre el pie oriental de la Cordillera Frontal (Figura N° 2) (Cortés, et al., 1997, Anselmi, et al. 2021).

Las rocas aflorantes más antiguas, consisten en grauvacas de grano fino, limolitas y lutitas pizarreñas, de color gris verdoso, agrupadas en el Fm Ciénaga del Medio (Amos y Marchese, 1965), de edad Devónica. La secuencia, de origen marino, muestra un metamorfismo regional de bajo grado caracterizado por la neoformación de sericita (muy abundante) y clorita. La isoalineación de las laminillas de mica da origen a la fisilidad de las pelitas, la cual es paralela a la estratificación de la secuencia. Otra característica distintiva es la presencia de pirita singenética y de venulación de cuarzo lechoso.

Estas metasedimentitas se encuentran fuertemente plegadas en complejas series de anticlinales y sinclinales de rumbo general norte-sur, con intenso fallamiento de rumbo.

Sobre la secuencia devónica, en discordancia angular, se depositan sedimentitas marinas de edad Carbónica que alcanzan buen desarrollo en la zona y están agrupadas en la Fm. Yalguaraz (Amos y Rolleri, 1965). Está constituida por areniscas de grano mediano a fino, lutitas, limolitas y en la base alternan conglomerados y areniscas gruesas. En algunos sectores estas litologías se distribuyen en secuencias granodecrecientes sucesivas, de pocos metros de espesor, iniciándose con conglomerados o areniscas gruesas para culminar en lutitas o arcilitas. La depositación de las pelitas es interrumpida en forma brusca por sedimentos gruesos correspondientes a la siguiente secuencia. El color general de estas rocas es gris verdoso oscuro.

Estas sedimentitas muestran pliegues amplios, formando frecuentemente estructuras homoclinales.

Hacia el oeste, estas sedimentitas carbónicas están cubiertas en discordancia angular por la potente secuencia volcánica permo-triásica conocida como Fm. Choiyoi (Groeber,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

1946), principal constituyente de la Cordillera Frontal. Estas vulcanitas son de composición andesítica a riolítica, y están intruídas por filones capa, diques y stocks que constituyen la fase hipabisal de la misma Formación.

A lo largo del borde del Valle se produce la intrusión de stocks y diques en las secuencias devónica y carbónica. Estos intrusivos son porfíricos a afaníticos y su composición varía de dacítica (granodiorítica) a andesítica (cuarzo-diorítica). Según las dataciones realizadas en el proyecto San Jorge, 270 ± 4 m.a. (Sillitoe, 1977), 257 ± 5 m.a. y 263 ± 6 m.a., indicando edad Pérmica para el magmatismo dacítico, con el cual se vincula la mineralización.

Durante el Terciario medio a alto se levanta la Cordillera de los Andes y con ella se produce la exposición de pequeños afloramientos. Durante este período los sedimentos aluviales colmatan el valle, formando depósitos inconsolidados de más de 200 metros de espesor. En algunas áreas estos depósitos están disecados por drenajes jóvenes.

Estructuralmente los principales lineamientos son N-S, paralelos al graben. Asimismo, los lineamientos NNE, NNW, y E-W son importantes. Se postulan movimientos transcurrentes a lo largo de estos lineamientos durante la fase intrusiva, una tectónica compresional posterior relacionada al levantamiento andino y finalmente un régimen tensional que controla la formación del Valle Uspallata-Calingasta-Iglesia (Williams y Madrid, 1996).

En la figura N° 2 puede observarse la ubicación del proyecto San Jorge dentro de lo que es el Valle Uspallata - Calingasta. La región se expresa en un contacto entre rocas Carbónico Pérmicas y Permo-Triásicas con el Silúrico de la Precordillera representado en el sector por metasedimentitas en la Cuchilla del Tigre que aflora como un monoclinal de unos 28 Km de longitud y dirección sub meridiana.

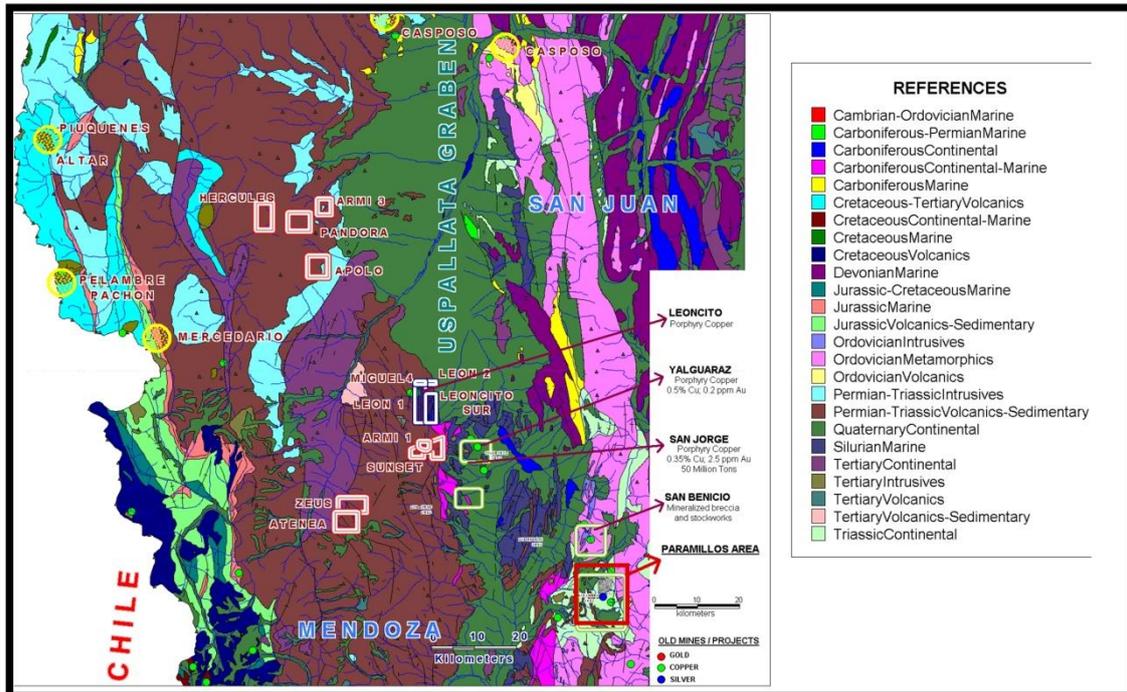


Figura 2: Geología de la región (compilación digital de Hojas geológicas SEGEMAR, modificado para este informe).

3. MARCO HIDROGEOLOGÍCO

3.1. Hidrología Superficial

El área de estudio involucra parte de dos cuencas hidrográficas de la provincia de Mendoza, la cuenca Ciénaga de Yalguaraz y Barreal de la Pampa Seca, situadas al Norte del proyecto y la cuenca de Uspallata, al Sur del mismo, (Lucero, 2018 y Anddes Argentina SA. 2023) (Figura N° 3).

3.1.1. Cuenca Ciénaga de Yalguaraz y Barreal de la Pampa Seca

Corresponde a una pequeña cuenca endorreica de drenaje centrípeto, ubicada en el extremo Noroeste de la Provincia de Mendoza, limitada al Oeste por la Cordillera del Tigre, al Este por la Precordillera, al Norte por el Valle de Calingasta y al Sur por el Valle de Uspallata.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Esta cuenca presenta un sólo curso de agua permanente, el Arroyo del Tigre, cuyas nacientes se encuentran en los faldeos orientales de la Cordillera del Tigre, a través de una serie de arroyos temporarios de escaso caudal, cuyas aguas se insumen en los depósitos aluviales de las bajadas de los frentes montañosos.

El aporte de agua proveniente de la Precordillera es insignificante y el nivel de base local está dado principalmente por el bajo de la Ciénaga de Yalguaraz.

3.1.2. Cuenca de Uspallata

Corresponde a un amplio valle intermontano de orientación Norte-Sur, emplazado entre la Cordillera Frontal y la Precordillera. El colector principal es el arroyo Uspallata, que tiene sus nacientes en proximidades del área de estudio.

Los aportes recibidos desde el Oeste son, al menos en parte de su recorrido, cursos permanentes. Entre éstos se destacan el Arroyo San Alberto, el Arroyo Tambillos y el Arroyo del Chiquero. Desde el área precordillerana (Sierra de Uspallata), sólo bajan arroyos temporarios.

La bibliografía consultada (Zambrano et al. (1996); Hernández et al. (1994), considera que el inicio de la cuenca está dado por el alto topográfico de dirección Este-Oeste, que pasa por el paraje denominado Barrial de la Aguada, y que actúa como divisoria de aguas separando el drenaje superficial de la Cuenca de Yalguaraz, del drenaje que comenzaría a formar parte de las nacientes del arroyo Uspallata.

Las observaciones de campo han permitido comprobar que inmediatamente al Sur de esta divisoria, el flujo superficial de las aguas provenientes del área cordillerana es preferentemente hacia el Este, hasta llegar al pie de las Lomadas de la Maniera (figura N° 7), donde es captado por el Barreal de las Lomadas. Este último actuaría como nivel de base local de las aguas temporarias que bajan por la Quebrada Seca (Cordillera del Tigre) y otros cauces de menor jerarquía provenientes de Precordillera. Al Sur de este barreal, el drenaje es claramente con tendencia hacia el Sur y se iniciaría el Arroyo Uspallata (figura N° 3) (Lucero, 2018).



3.2. Hidrogeología

Los arroyos que drenan desde la Cordillera del Tigre, se insumen en los depósitos aluviales de la bajada pedemontana antes de alcanzar el sector más bajo de la cuenca, constituyendo parte de la recarga de las aguas subterráneas.

La zona de infiltración no está determinada precisamente ya que avanza y retrocede de acuerdo al caudal de aporte del curso del arroyo (Zambrano et al., 1996).

Esto es importante, ya que, como se muestra y se describe en la figura N° 25, el drenaje relacionado con el rajo está desconectado de la escorrentía del Arroyo de El Tigre.

La escasa información existente sobre los recursos hídricos de la zona, menciona la posible presencia de una subcuenca subterránea situada al Noreste del área del proyecto, a la que se denomina Acuífero de Yalguaraz, separada del acuífero de Uspallata que se desarrollaría al Sur (Zambrano et al. (1996); Hernández et al. (1994), por un alto topográfico que a su vez podría constituir una barrera al escurrimiento subterráneo hacia la zona sur del proyecto (Lucero. 2018).

3.2.1. Acuífero de Yalguaraz

Zambrano et al. (1996) menciona que este acuífero estaría alojado en una depresión de una extensión aproximada de 150 km², rellena por sedimentos cuaternarios. Refiriéndose este autor al área total de la cuenca hídrica, restringiéndose la capacidad efectiva alrededor de 50 km².

El acuífero estaría separado al Norte de la cuenca de Calingasta por un alto estructural conformado por rocas de precordillera. Sus límites quedarían condicionados de la siguiente forma: al Oeste Cordillera Frontal, al Este Precordillera y al Norte por los límites entre Mendoza y San Juan.

En el mismo trabajo, Zambrano et al. (1996), propone que, el límite Sur del Acuífero de Yalguaraz está definido por un alto estructural en aproximada coincidencia con la divisoria de agua superficial, a partir de la cual comenzaría el acuífero de Uspallata...

Sin embargo, se destaca como importante en este estudio que, se ha diferenciado una subcuenca intermedia entre las cuencas de Uspallata y Yalguaraz, la cual actúa como



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

amortiguador en respuesta los aportes pluviométricos estacionales, y que aquí queda definida como Barrial de la Lomada (Figura N° 15, 16, 17).

Estos aspectos se discuten más abajo, en el presente informe (4.2.1. Modelado Hidrológico en Los Alrededores del rajo (Pit)).

3.2.2. Acuífero de Uspallata

El área superficial del acuífero de Uspallata es de 195 km² aproximadamente y su profundidad media estimada varía entre 80 y 120 m. La principal fuente de recarga son los arroyos que bajan del flanco oriental de la Cordillera del Tigre, siendo el piedemonte occidental de escasa importancia en este sentido. La dirección del flujo de agua subterránea presenta una fuerte componente Norte-Sur, siguiendo el eje de la cuenca, siendo la descarga natural en el río Mendoza (Lucero, 2018).

Respecto a la importancia de la referida cuenca, existe una referencia general en los trabajos de Auge (2004), donde clasifica la Cuenca de Uspallata como Tipo II, la cual no tendría capacidad de reservorio importante.

En Lucero (2018), se menciona que, específicamente en el sector de San Jorge y sus alrededores, no hay datos preexistentes sobre el espesor de los sedimentos acuíferos, razón por la cual sólo puede hacerse una estimación en base a los resultados de la exploración realizada mediante Sondeos Eléctricos Verticales y descripción de pozos de monitoreo perforados, de los cuales se deduce que el relleno cuaternario superaría los 250 metros en las partes más profundas.

En el presente informe, se ha modelado una base hidrogeológica tomando todos los datos existentes, tales como Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Sondeos Hídricos y Sondeos Trasciente Electromagnético (TEM). La figura N° 19 es una representación de esta superficie. Aquí se establece como la “base de referencia” para la clasificación de acuíferos y cuencas en el sector de estudio.

En cuanto a los datos pluviométricos, Anddes (2023) realizó el estudio hidrológico superficial del Proyecto San Jorge y en el mismo, se indica que, en el área, no se dispone de registros de precipitaciones con una extensión temporal, que resulte suficiente para la aplicación de un análisis estadístico.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Por este motivo se recurrió al análisis de datos de estaciones pluviométricas cercanas y se utilizaron en este caso, los datos de la estación meteorológica Uspallata. La estación mencionada se ubica a 40 km de distancia del área de proyecto.

Mediante el procesamiento de los datos de precipitación diaria de la referida estación, se obtuvieron los valores de precipitación máxima mensual en 24 hs para el periodo de registro disponible.

Los caudales máximos determinados mediante dichos cálculos, para las áreas de aporte de la zona, oscilan entre 1 m³/s a un máximo de 108 m³/s (Anddes Argentina SA. 2023).

4. DESARROLLO

4.1. Análisis de los distintos antecedentes de la región

En el informe SRK (2018), se sintetiza la caracterización geológica local y los aspectos tectónicos y estructurales relevantes, lo cual permite una mejor comprensión de la hidrogeología de la zona de estudio. Además, en dicho informe se analiza un perfil TEM de 25 kilómetros a lo largo de la ruta 149, realizado en el año 2010 y cuatro perfiles transversales desarrollados en agosto de 2018, desarrollados por Quantec Geoscience Argentina S.A. Es así que, basado en lo anterior se infiere que el límite sur de la cuenca hidrogeológica asociada a los arroyos El Tigre y Quebrada Seca, coincide con la divisora entre las Quebrada Seca y El Chiquero.

De la interpretación de los perfiles TEM's, SEV's, perforaciones de monitoreo en combinación con lineamientos estructurales, se construyó un plano representativo de la base hidrogeológica (Ver Fig N° 17), que permite profundizar el conocimiento de la cuenca general. Se puede destacar, que los lineamientos transversales al valle fragmentan la continuidad de los acuíferos tanto por aparentes sumideros locales o por entrapamiento generado por elevación del basamento cristalino.

Considerando los aspectos de afectación de los acuíferos, existen estudios que demuestran la no alteración del aspecto cantidad del recurso hídrico, se destaca el



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

estudio de Balance Hídrico realizado por Water Management Consultant, sobre la cuenca de Yalguaraz donde se localiza el proyecto.

En el informe SRK (2018) donde se analiza el mencionado Balance Hídrico, se concluye lo siguiente:

Respecto a la Cantidad

1. El Arroyo El Tigre tiene los recursos capaces de abastecer las necesidades del proyecto, que se ha estimado en 141 L/s, más aún si está proyectada la construcción de una obra de acumulación y regulación.
2. La extracción de agua desde el Arroyo El Tigre se traduce en una menor recarga a la ciénaga de Yalguaraz, sin embargo, esta disminución representa solamente un 8% de reducción respecto al flujo aportante a la ciénaga de Yalguaraz.
3. La menor recarga representa solamente una disminución del volumen almacenado de agua en el acuífero inferior a un 1%.
4. Los efectos antes señalados no dañan la capacidad del acuífero, por lo cual se considera que no hay afectación respecto de la cantidad del recurso hídrico.

Respecto de la Calidad

Se destaca de SRK, (2018 - Apéndice E, Modelo Numérico de Infiltraciones – Vector) lo siguiente:

5. La extracción de agua desde el arroyo no afecta su calidad y la disminución de la recarga no afecta la calidad del agua subterránea.
6. Se determinó que la vulnerabilidad del acuífero es baja por lo cual el manejo de las colas espesadas conforme a diseño, puede resultar en un riesgo nulo de contaminación.
7. El manejo conforme a diseño de las colas espesadas por depositación de capas delgadas (20 cm) producen una penetración muy baja de fluidos,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

- como la ha demostrado el Modelo Matemático VS2DTI (SRK, 2018), debido a las condiciones de evaporación.
8. La corta distancia de penetración de los fluidos en el subsuelo demuestra la eficiencia al manejar colas espesadas y avala la práctica de no uso de carpeta impermeabilizante bajo las colas espesadas.
 9. Dada que las colas espesadas liberan pocos fluidos, que la percolación de fluidos bajo las colas no supera los 6 metros en las condiciones más desfavorables, y que el nivel del agua subterránea se encuentra a más de 50 metros de profundidad; se puede concluir que el proyecto no produce afectación a la calidad del recurso hídrico.
 10. El análisis químico de las aguas segregadas de las colas, satisfacen los requerimientos establecidos por la Resolución N° 778/96 del Departamento General de Irrigación, que regula el vertido de líquidos a cuerpos receptores. En el caso del Proyecto San Jorge ello no ocurrirá puesto que como ya se ha demostrado, no habrá descargas superficiales ni subterráneas a cuerpo receptor alguno.

SRK (2018), calculó la Vulnerabilidad del Agua Subterránea utilizando la metodología denominada GOD¹, considerando para ello el tipo de suelo, la profundidad a que se encuentra el agua subterránea y el tipo de acuífero. El referido cálculo fue realizado para el acuífero desarrollado en los conos aluviales, donde se emplazará el depósito de relaves (colas) y las escombreras, indicando en el mismo que la vulnerabilidad es baja, concluyendo que, un manejo adecuado de los relaves o colas espesadas, puede conducir a un riesgo de contaminación despreciable.

En cuanto a los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y sondeos hídricos, en el informe de Lucero (2018), se han analizado los acuíferos del sector, estableciendo las profundidades de los mismos.

¹ El método GOD (Foster, 1987), estima la vulnerabilidad de un acuífero multiplicando tres parámetros que representan tres tipos de información espacial: el tipo de acuífero o modo de ocurrencia del agua subterránea (G), la litología de la zona no saturada (O) y la profundidad del agua subterránea (D).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Se ha podido estimar con relativa precisión las profundidades de los acuíferos, además de establecer las relaciones del sustrato rocoso con los mismos.

Se puede estimar, en el caso de los acuíferos, en base a la estructura y los datos de los sondeos (granito alterado en profundidad) como se comportaría eventualmente el drenaje ácido, mostrando que, de acuerdo a la porosidad (ver página 40), baja permeabilidad y los cálculos de infiltración, el mismo no afectaría los acuíferos.

En las conclusiones de la modelación de SRK (2018), tomando en cuenta los resultados arrojados por el modelo, tanto para la Corrida I –realizada con datos ajustados a las características del área del proyecto-, como para la Corrida II –con datos más desfavorables de terreno, precipitación y evaporación potencial-, se puede concluir que, en las consideraciones más desfavorables (Corrida II), señala una transferencia de humedad al suelo hasta una profundidad que no supera los 6 metros. Los mismos consideran que, el nivel freático se encuentra a más de 50 metros bajo el terreno. Con lo que se puede concluir que la operación del proyecto, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los acuíferos, se puede considerar que el DAR, no afectará la calidad del agua subterránea, dadas las dimensiones consideradas en este estudio.

Para la Corrida II, el espesor de contenidos transferidos desde las colas al terreno alcanza los 2,50 m. Este valor debe compararse con la ubicación de la napa de agua subterránea que los estudios de hidrogeología (SRK, 2018 y Lucero, 2018) sitúan por debajo de los 50 metros desde el nivel del suelo.

Si bien SRK (2018) reporta que la napa freática se encuentra a más de 50 m de profundidad, es importante destacar que, en el análisis de este estudio, en relación a los SEV más cercanos al rajo, (SEV_09/10) se obtienen datos de sedimentos saturados como acuífero a una profundidad de 146 m (figura N° 22).

En el informe SRK (2008), se sintetizan las actividades realizadas en el proyecto minero San Jorge, referentes al tema Hidrogeología. Se realizaron pruebas de packer en sondajes geotécnicos en perforación en el sector del rajo, además de la medición de niveles en los sondajes existentes en toda la zona de estudio que involucra los sitios de disposición del tranque de relaves, el botadero y la planta de proceso.

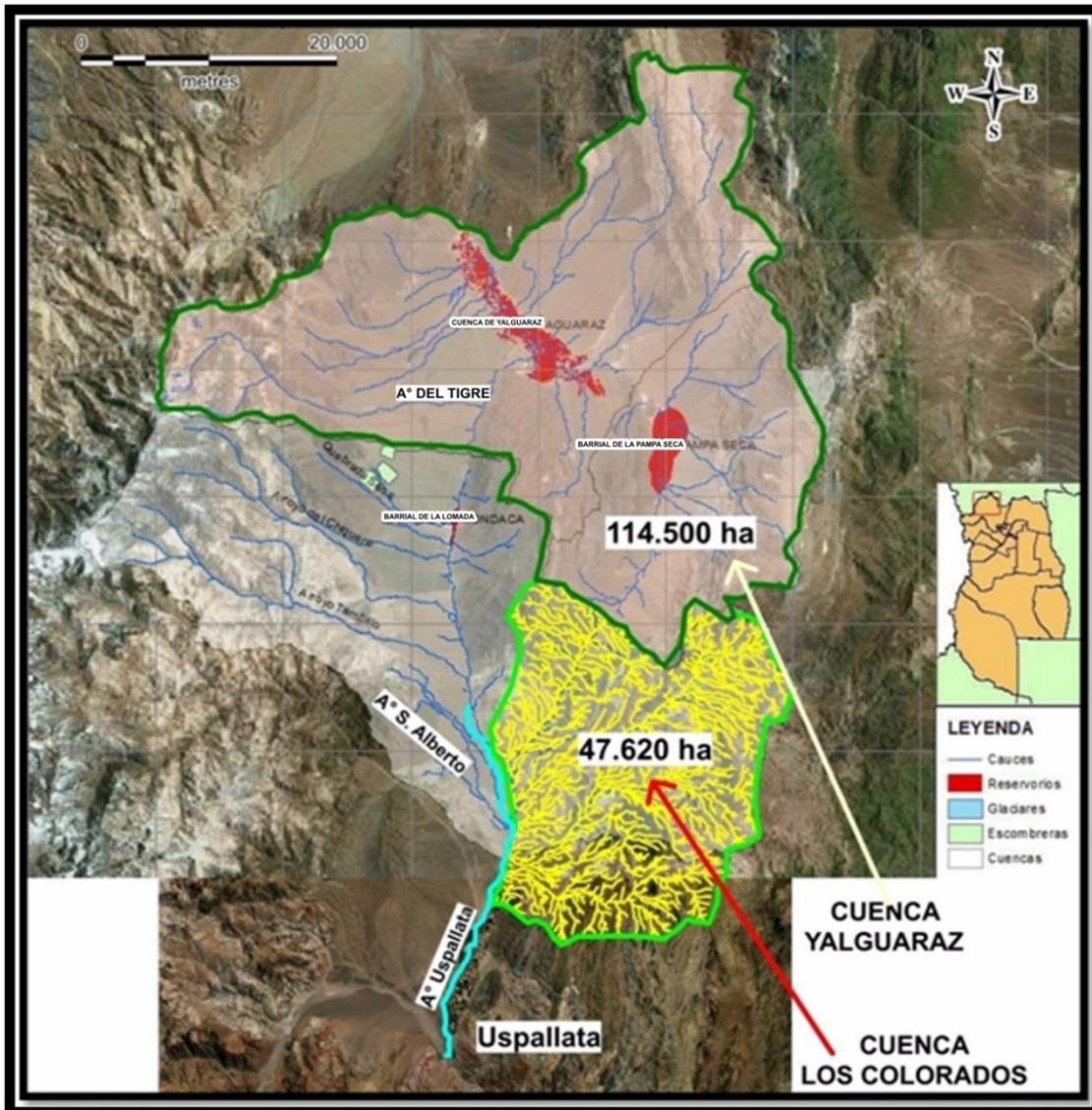


Figura 3: Red de drenaje y escurrimientos principales de la zona (Anddes Argentina SA, 2023)

4.2. Modelado Hidrológico de San Jorge y alrededores

En la figura N° 3 se encuentran representados los reservorios del norte de la provincia, con depocentros que no pertenecen a la cuenca de Uspallata en sí, sino a acuíferos de altura como el representado por la Ciénaga de Yalguaraz.

La tendencia a conformar cuencas endorreicas, puede observarse en el Barrial de la Loma Seca (Figura N° 3), en su sector Noreste.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En la figura N° 4 se presenta un panorama general de todo el Valle de Uspallata hacia el límite con la provincia de San Juan. Esta geomorfología continúa hacia el norte en el valle de Barreal - Calingasta. Nótese que el domo estructural de rocas silúricas que participa de la cuenca hídrica de la región, posee, en su sector oriental, un aporte hídrico de peso desde una cuenca independiente (aquí definida como Cuenca Los Colorados, en referencia a los cerros del mismo nombre) de unas 47.620 Ha de superficie (como puede verse en la Figura N° 3 en amarillo). **Esto se considera importante**, ya que el drenaje total que recibe el Río Uspallata no es un aporte exclusivo del sector occidental de Cordillera Frontal, que normalmente se asocia como única cuenca aportante y en la cual se localiza el Proyecto San Jorge en su porción Norte.

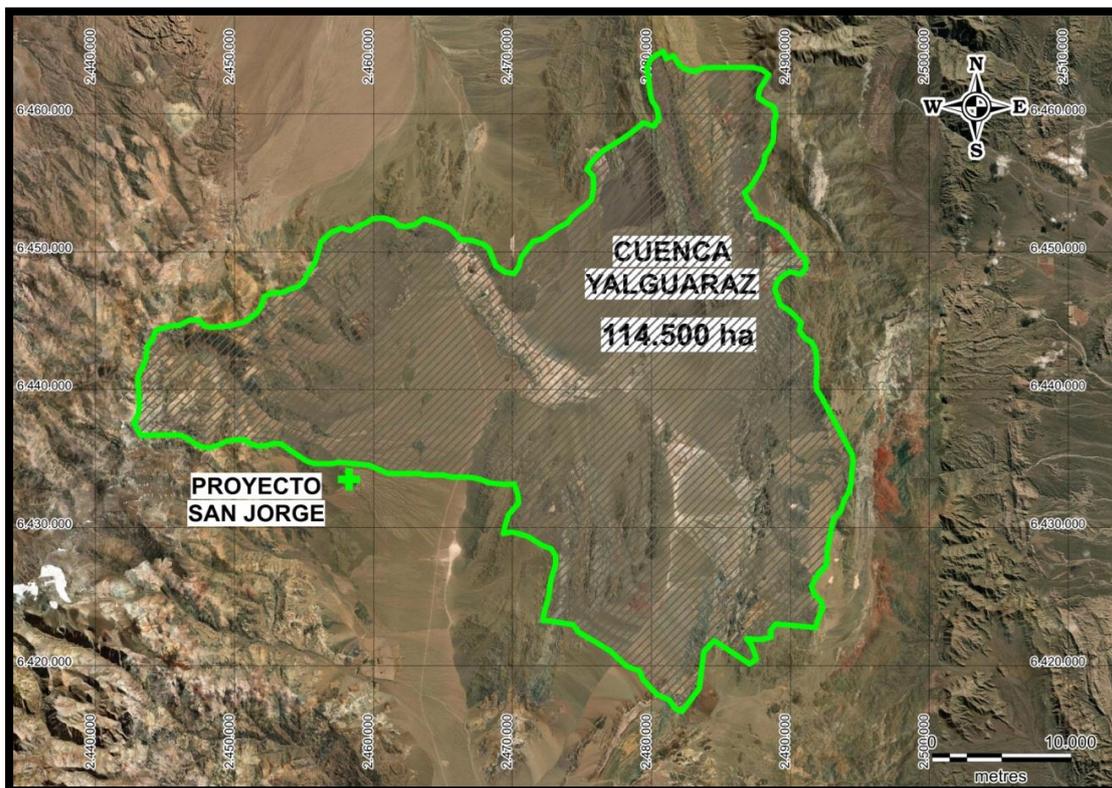


Figura 4: Cuenca de Yalguaraz



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

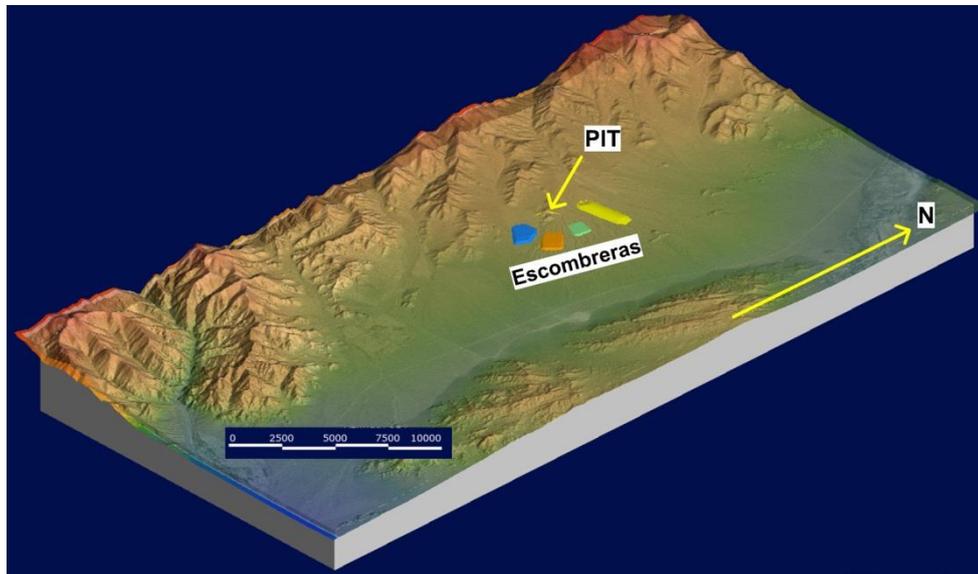


Figura 5: Disposición de las Obras a desarrollar.

La figura N° 5 muestra una perspectiva hacia el Noroeste con la posición de las obras a desarrollar: Amarillo (Dique de Colas; Verde (Escombrera de Óxidos); Naranja oscuro (Escombrera de Baja Ley) y Naranja claro (escombrera de Lastre).



Figura N° 6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En la figura N° 6 y 7 se observa el mapa del instituto geográfico militar (1:100.000) sobrepuesto a la topografía de la zona del proyecto donde se puede consultar la toponimia y detalles de nombres locales.

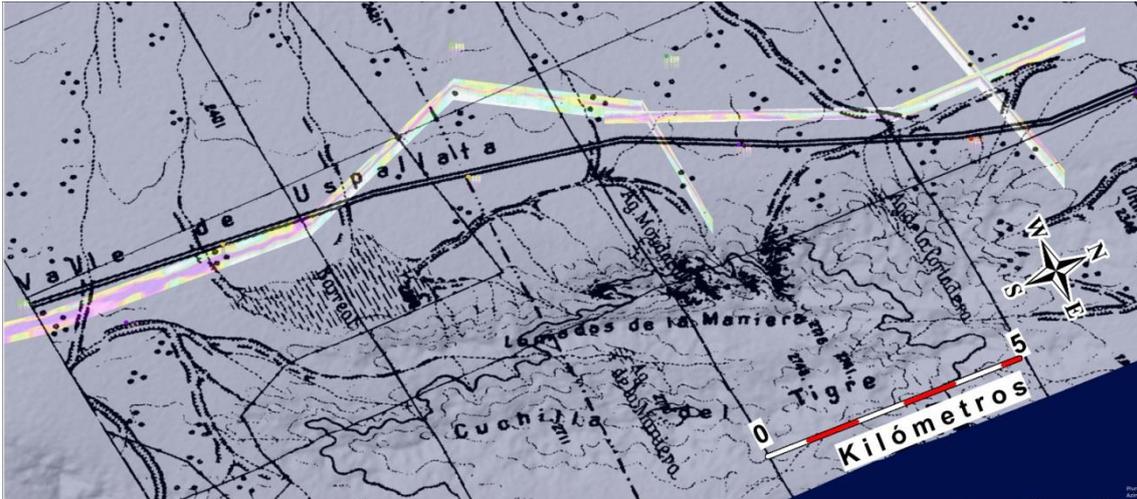


Figura N° 7

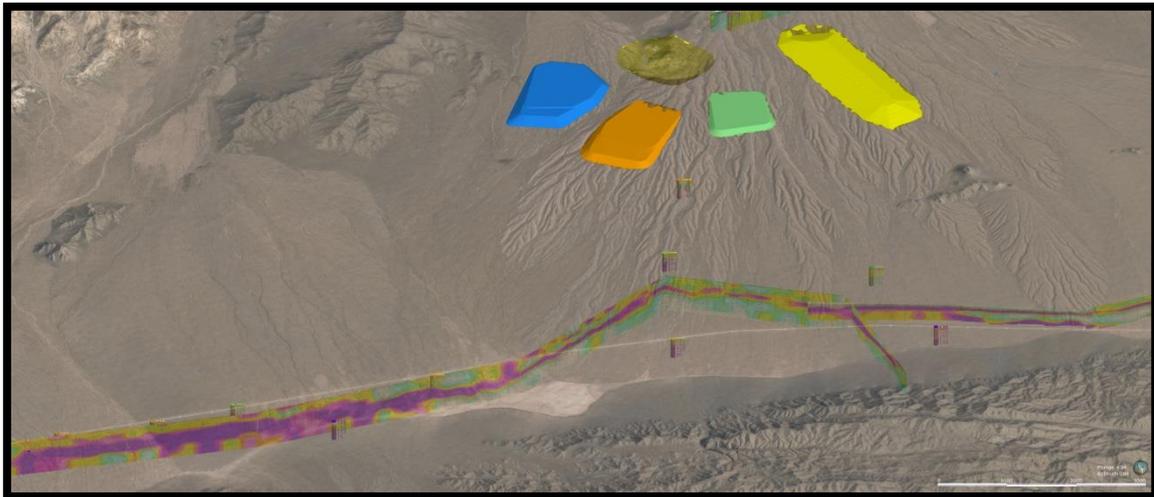


Figura N° 8

La figura N° 8 muestra el estudio integral de la conformación de niveles saturados de acuíferos dentro del valle cercano al Proyecto.

Quantec Geoscience Argentina S.A. realizó sucesivas campañas de geofísica con perfiles Transiente Electromagnético (TEM), superando los 35 km de estudios



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

siguiendo los accesos disponibles. Se pueden observar proyectados verticalmente, un Perfil Longitudinal con acoplamiento lateral de los distintos perfiles (Figura N° 8 y 9).

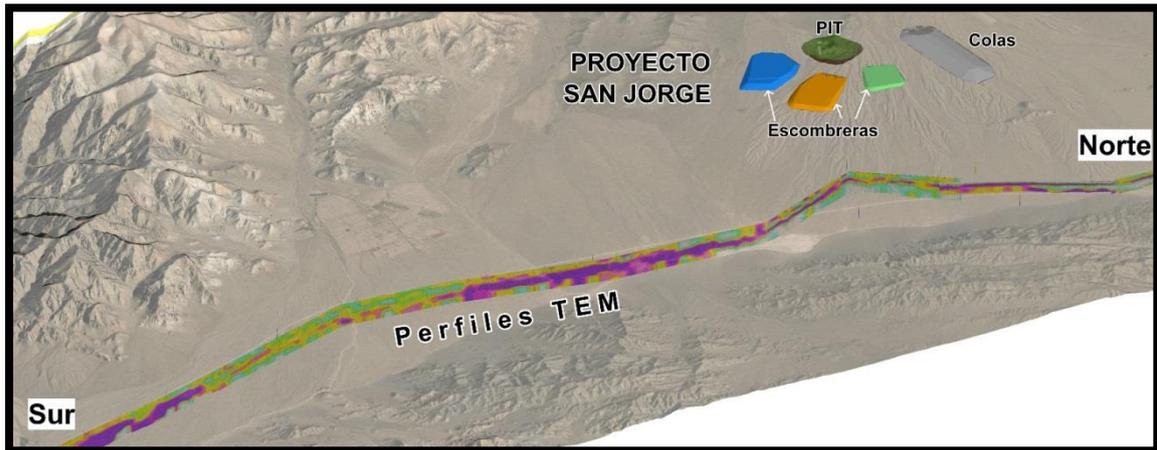


Figura N° 9

En la Figura N° 9 se presenta un corte en perspectiva longitudinal con la posición de los perfiles TEM debajo de la superficie topográfica. Nótese la alta segmentación que muestran los acuíferos afectados por estructuras locales a (Color azul oscuro a morado).

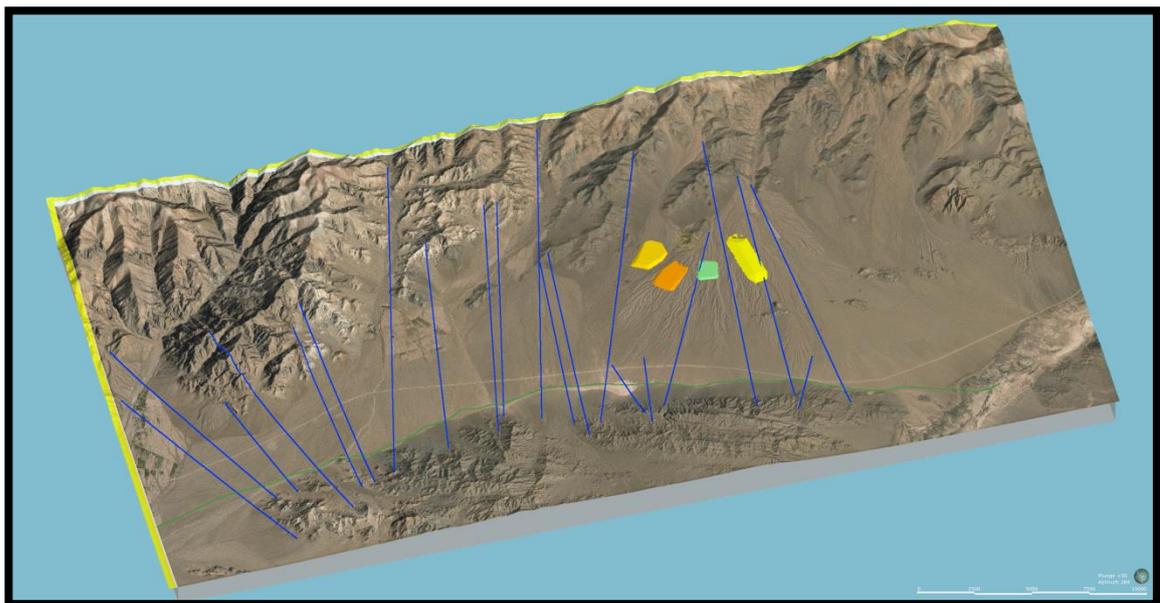


Figura N° 10



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Tanto Cordillera frontal como Precordillera han sido finalmente afectadas por los movimientos Ándicos, durante el ascenso de la cordillera durante el Terciario. Son elementos Orográficos que están aflorando con delimitaciones fundamentalmente Sub-meridiana, en coexistencia con otro importante Dominio estructural de rumbo Este-Oeste (Figura N° 10).

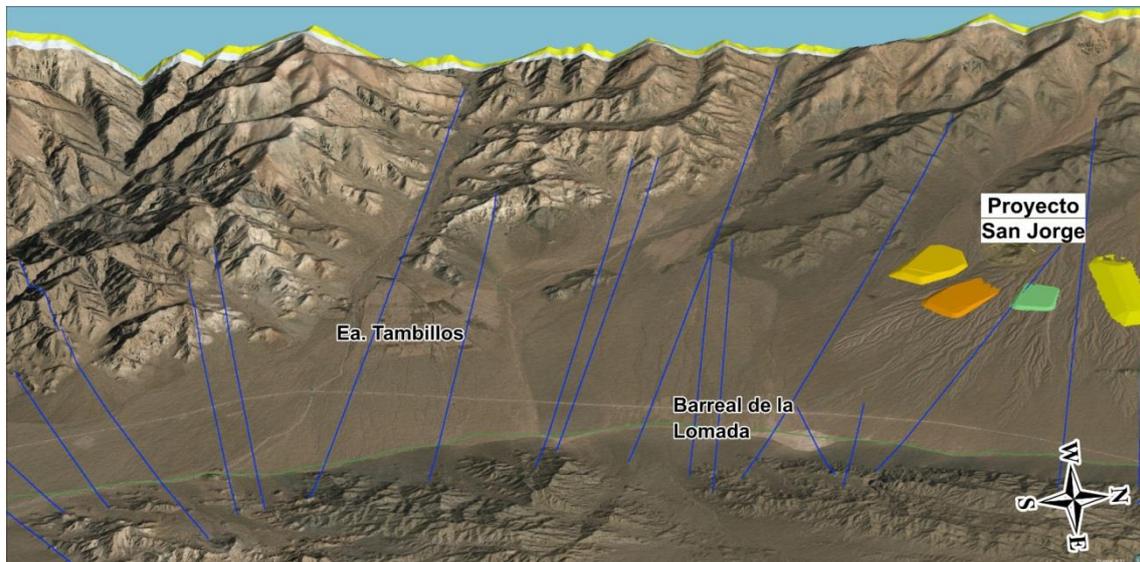


Figura N° 11

La estructuración este-oeste está relacionada con el levantamiento del Monte Aconcagua (65 Km al Sur-Oeste) que segmenta en forma transversal toda la región siendo de índole mayormente gravitacionales. Esto puede verse representado por los valles que son perpendiculares al Valle de Uspallata y coincidentes con dicho dominio estructural.

En la figura N° 11 se han trazado lineamientos y fracturas claramente visible tanto de un lado como del otro del valle, si bien no es determinante la exacta posición de inicio y fin de las trazas de fallas y lineamientos, están apoyadas en elementos lineales y dislocamientos alineados en imágenes que permiten trazar con relativa certeza dichas traza. No obstante, en cualquier caso, las estructuras transversales afectan al Valle como a los acuíferos subyacentes.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

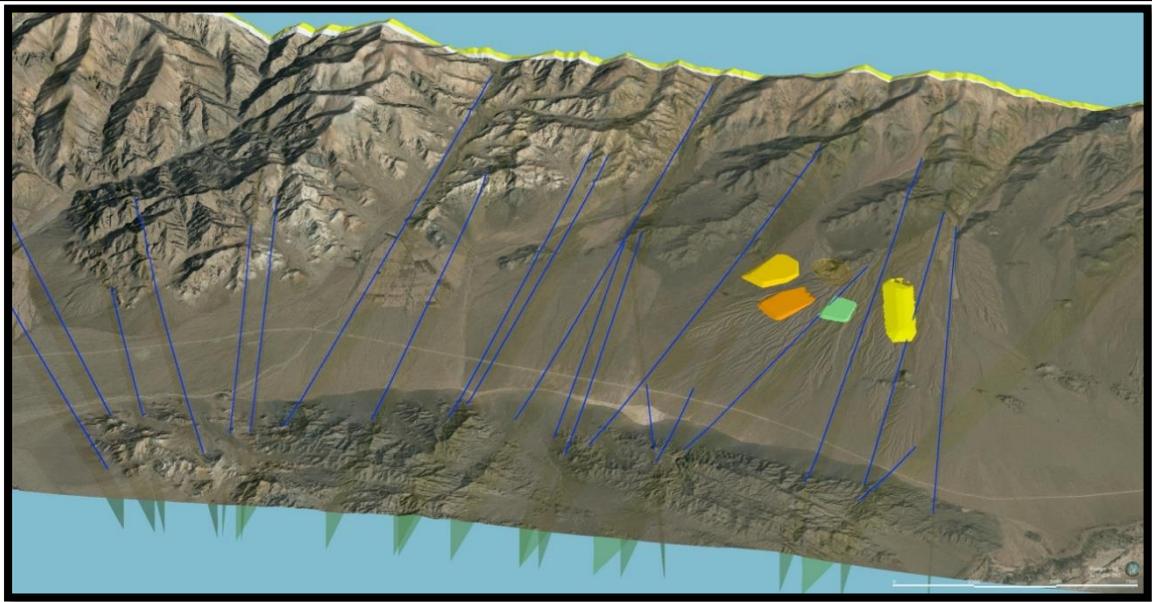


Figura N° 12

El mencionado fracturamiento es bien claro en la figura N° 12 donde puede observarse que, hacia el sur del proyecto, se define un bloque deprimido en el perfil de la figura, con fallas transversales que lo dejan por debajo de la topografía general y apunta a lo que sería la divisoria de aguas a través de una Sub-cuenca de equilibrio, situada a unos 350 metros al Sur del Barrial de la Lomada (parte central de la Figura N° 13). Se han trazado los planos correspondientes a las fallas identificadas.

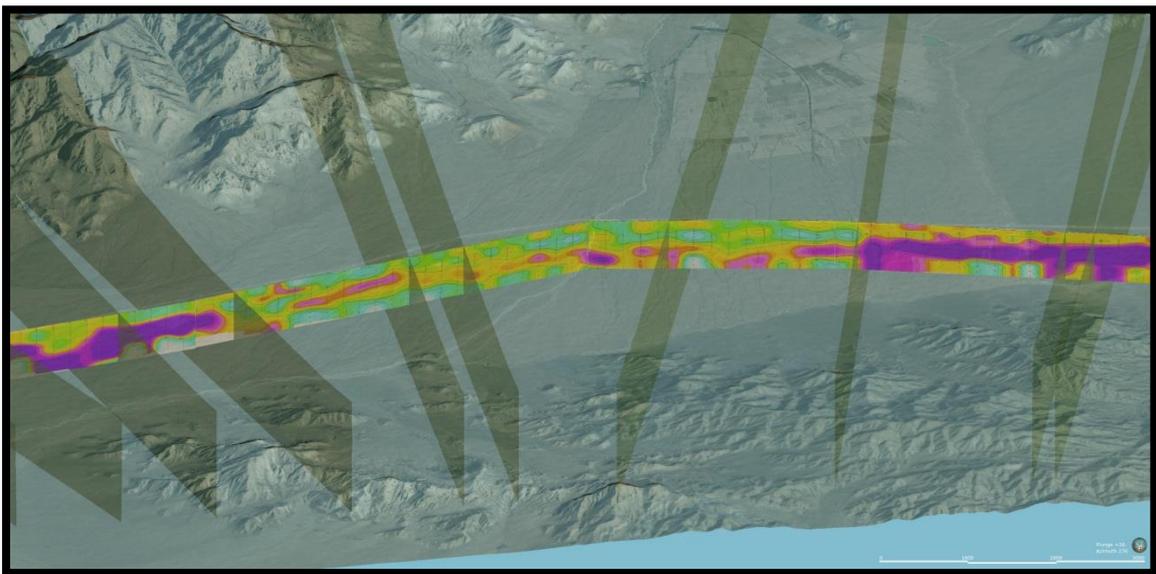


Figura N° 13



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En la figura N° 13 se puede ver perfectamente como los lineamientos apoyados en expresiones naturales de superficie, segmentan de forma inequívoca a los acuíferos presentes en el área (color azul).

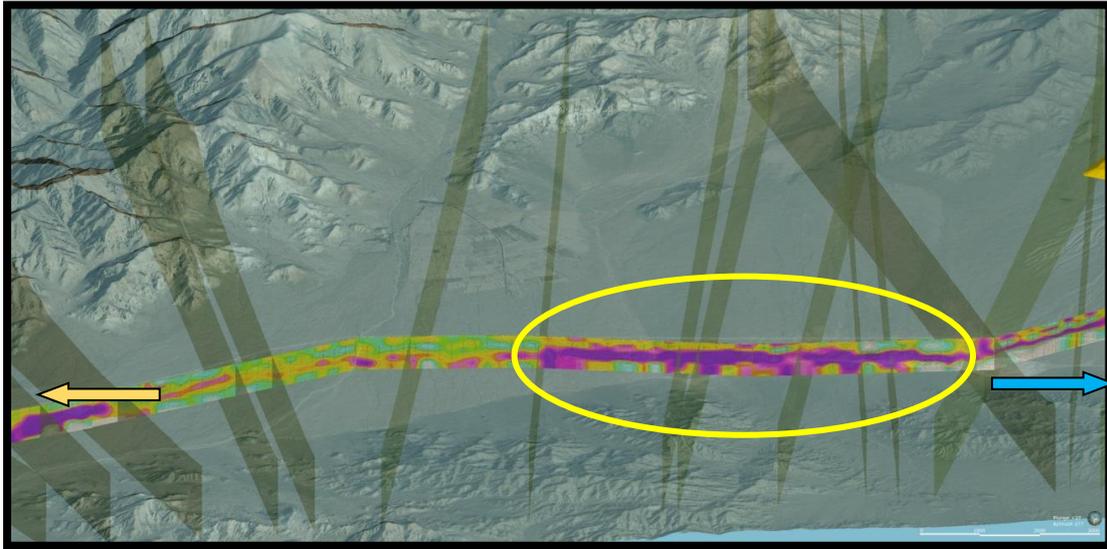


Figura N° 14

En la Figura N° 14 puede apreciarse el depocentro de Barreal de Lomada (en amarillo) que se presenta como sumidero de infiltración (por grandes fallas regionales) y de evapotranspiración (Barreal de la Lomada). Hacia el Sur (flecha naranja, luego del depocentro de Tambillos), se conforma el acuífero de cabecera que drena hacia Uspallata y hacia el Norte (flecha azul), para la Ciénaga de Yalguaraz.

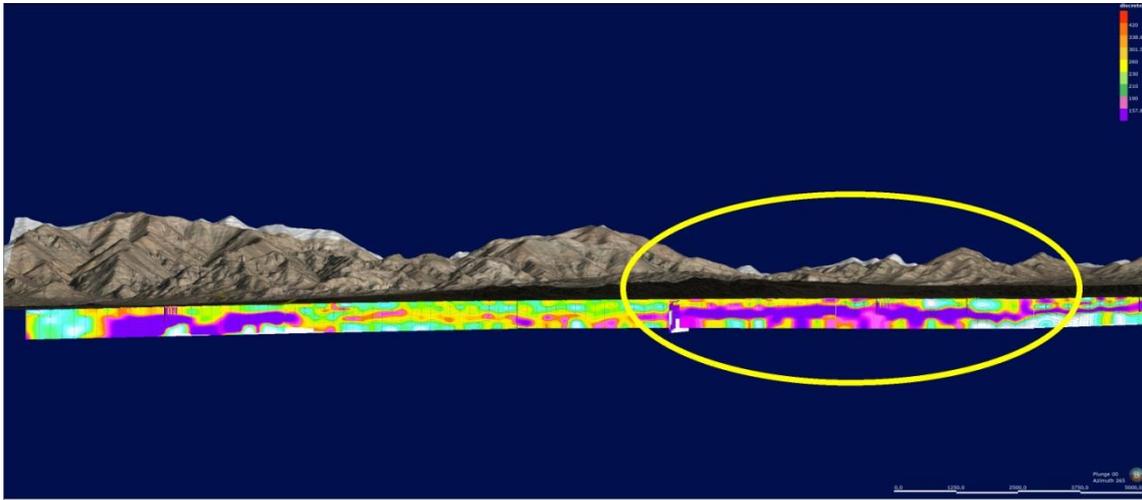


Figura N° 15

En la figura N° 15 se presenta la Proyección horizontal, perpendicular a los perfiles TEM. Nótese la fragmentación de los acuíferos, la escasez de acuíferos hacia el Sur y el depocentro de Barreal de la Lomada (en amarillo) definido por fracturamiento transversal al Valle Central.

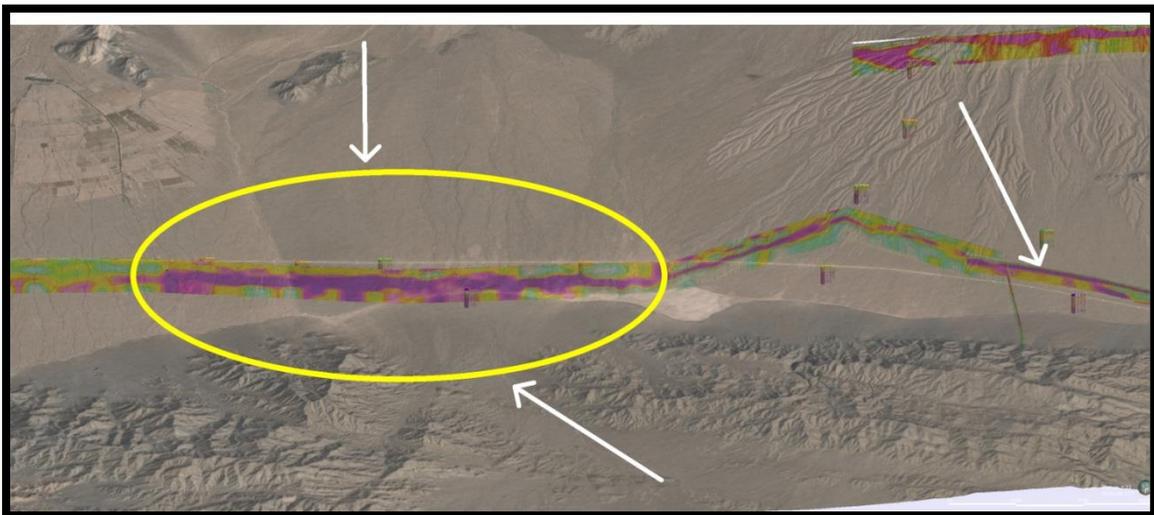


Figura N° 16

En la figura N° 16 se observa el bloque central, deprimido estructuralmente, conteniendo el depocentro Barreal de la Lomada (en amarillo). Los aportes al sector están definidos por las flechas blancas, siendo el mayor aportante el Arroyo El

Chiquero. El domo monoclinal del Este (parte inferior de la imagen), aporta con una cuenca de 19 ha, la cual desemboca en el sector. Por otro lado, el Arroyo el Tigre, configura una recarga hacia el bajo de la Ciénaga de Yalguaraz que se presenta como Nivel de Base dominante para el mismo.

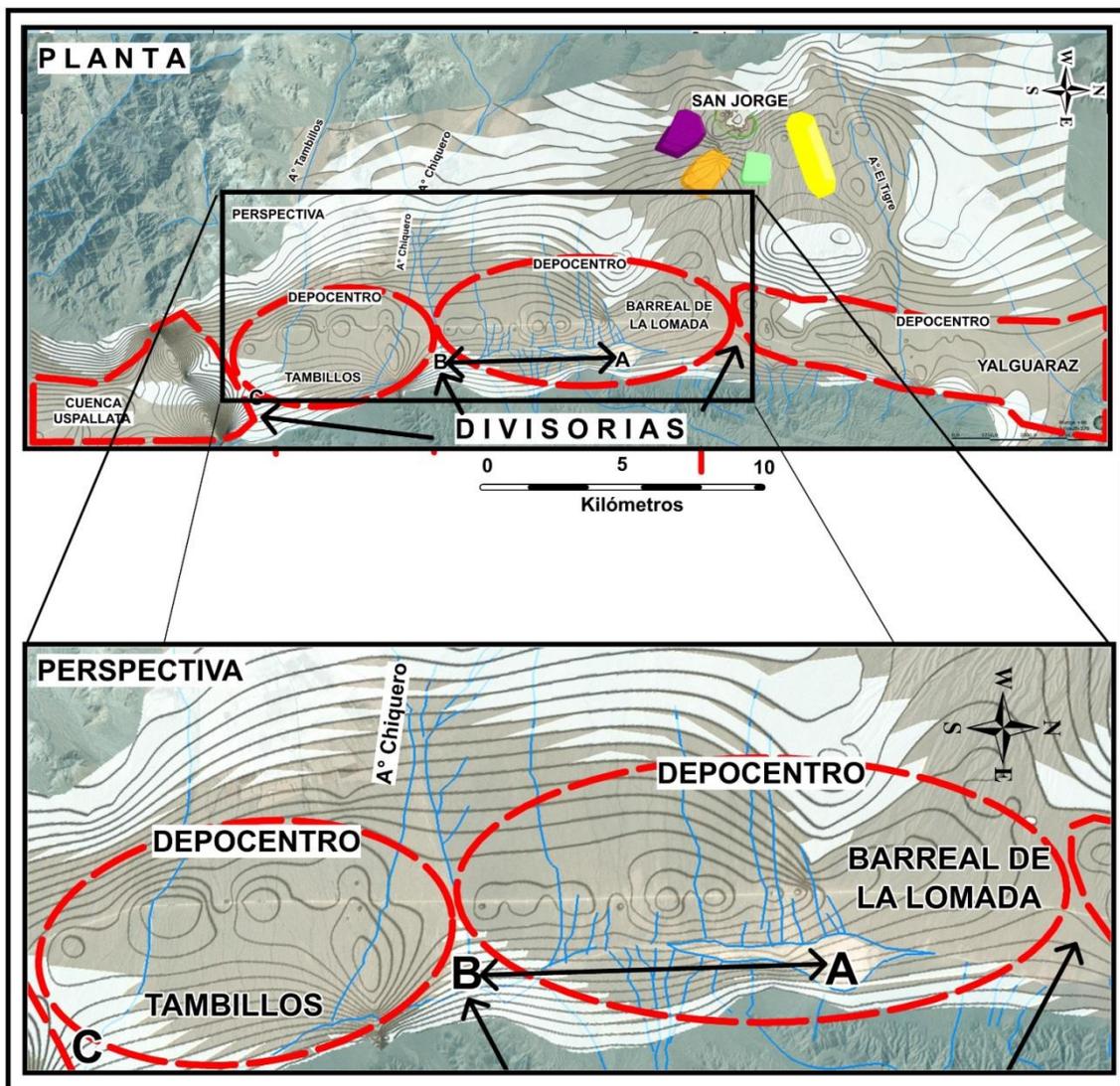


Figura N° 17: Imagen con la indicación de los depocentros (líneas rojas entrecortadas)

En la figura 17 se puede observar una vista en planta y otra en perspectiva de la porción Norte de la escorrentía del valle. Se puede ver cómo la superficie hidrogeológica obtenida a través de la integración de los datos disponibles de perfiles TEM, Sondeos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

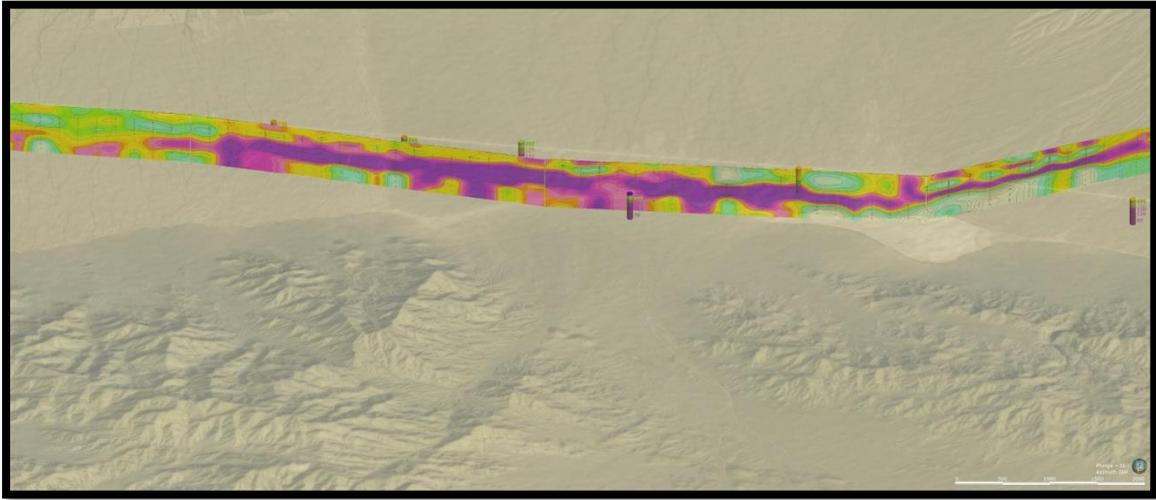
SEV y perforaciones de monitoreo, hacen evidentes al menos tres depocentros (Tambillos, Barreal de la Lomada y Yalguaraz). En la parte central, pueden verse altos estructurales que fragmentan y dislocan el basamento, configurando cuencas intermedias que se comportan como sumideros localizados. Merece mención la resolución del A° El Chiquero una vez que deja el sustrato rocoso y queda supeditado a un dominio sedimentario. Si bien es evidente una influencia antrópica por la explotación del recurso hídrico en Ea. Tambillos, se distinguen dos cursos principales. La bifurcación Norte toma una dirección contraintuitiva con tendencia a discurrir aguas arriba hacia el depocentro de Yalguaraz. En detalle y pudiendo contrastar esta actitud superficial con el basamento hidrogeológico, se hace evidente que este curso se resuelve hacia un nivel de base local y que aquí está representado por el Barreal de la Lomada. Esto último sugiere una notable divisoria de agua ubicada 6 km al sur de la pantalla de evaporación de la misma subcuenca (puntos A y B, figura N° 17).

También puede verse un segundo alto con características de divisoria, situado 12 km al sur, coincidiendo con la desembocadura del Arroyo Tambillo (punto C, figura N° 17).

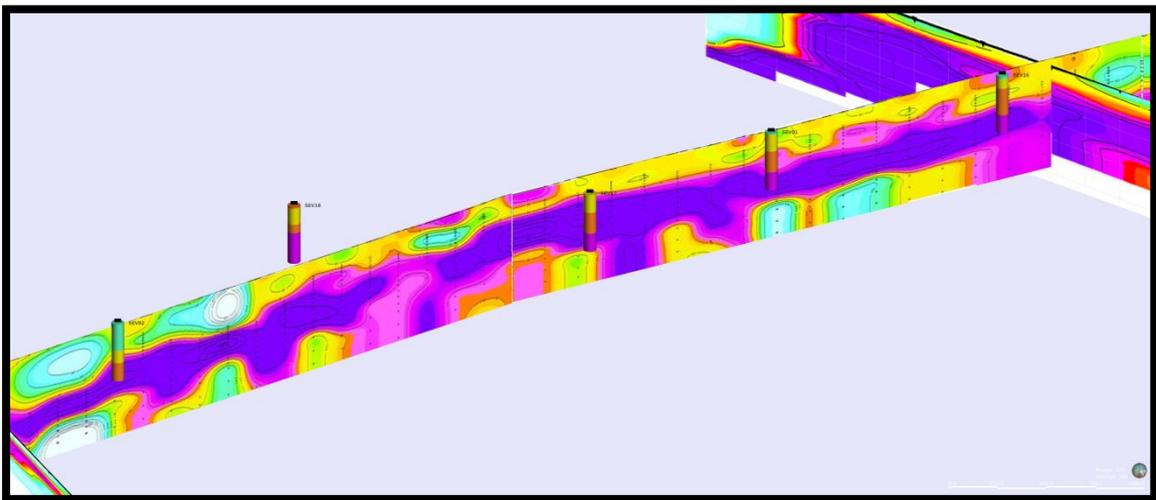
Dada esta situación, estos depocentros no solo funcionan como sumideros locales sino que también se muestran como áreas de alta evaporación por estancamiento de las aguas subterráneas. Cualquier desbalance hídrico que se produjera en los depocentros centrales (Tambillos y Barreal de La Lomada), evidenciaría un flujo de escorrentía subterránea hacia la cuenca de Uspallata al sur y la cuenca de Yalguaraz al norte, el sistema de depocentros asociados, construyen un conjunto que hacen de este aporte un componente prácticamente despreciable dadas las dimensiones de la cuenca estudiada.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI



Figuras N° 18a



Figuras N° 18b

En las Figuras N° 18a, 18b y 19, se observan los Perfiles TEM contrastados con Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's). Nótese la correspondencia de detecciones a cotas equivalentes.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

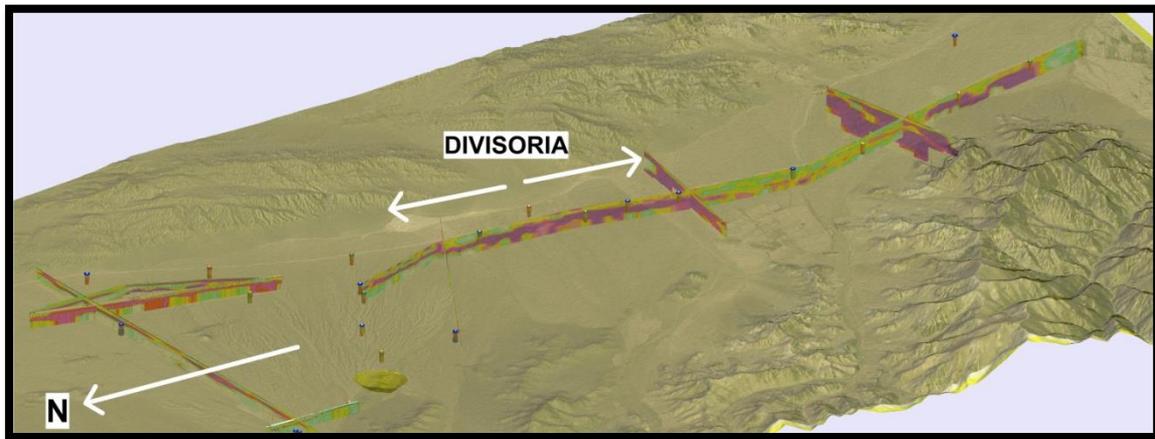


Figura N° 19

En la figura N° 19, se presenta una vista general del área hacia el sureste, con la localización de todos los perfiles TEM.

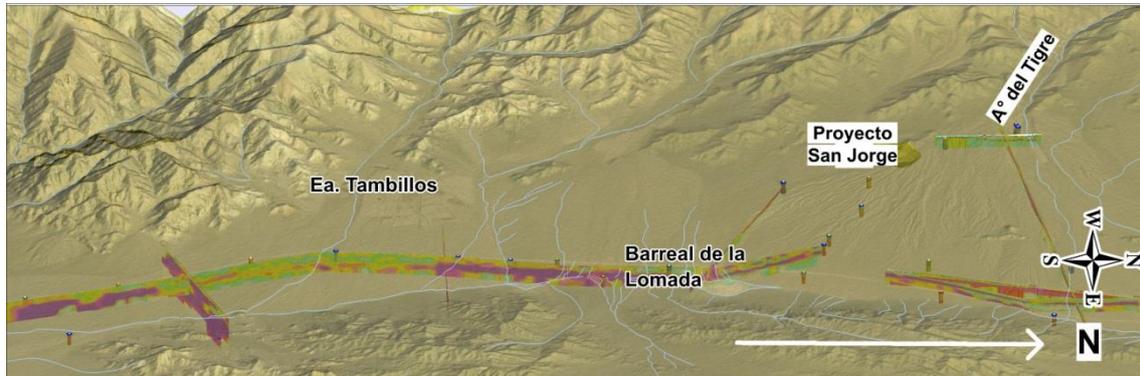


Figura N° 20a

La figura N° 20a y 20b, es la misma imagen anterior, con orientación opuesta mirando al Oeste, hacia la Cordillera del Tigre en Cordillera Frontal.

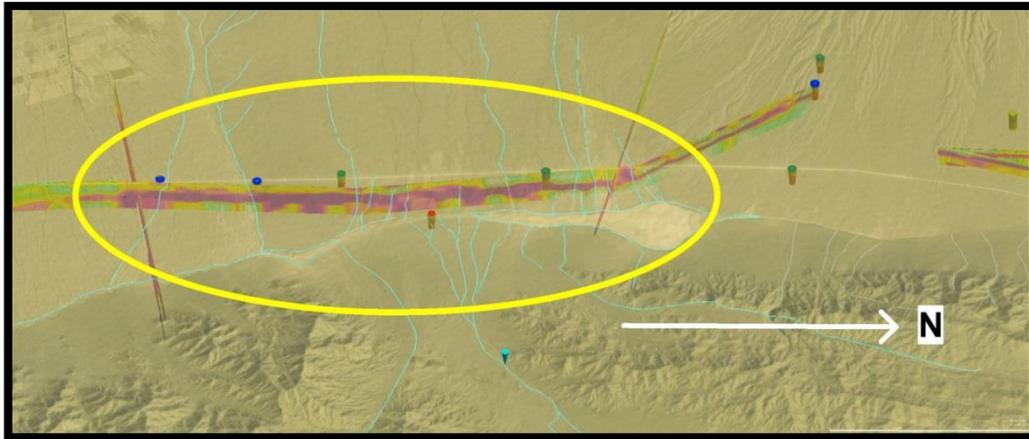


Figura N° 20b

En la figura N° 20b, se observa el sector central del depocentro de la subcuenca con los aportes intermitentes. Nótese que, el incipiente desarrollo erosivo, permite ver el drenaje proveniente del monoclinal central. En este punto, cambia de vergencia, dirigiéndose al Norte hacia el Barrial de la Lomada, mostrando que el agua superficial se resuelve buscando un nivel hidrográfico más estable.

4.2.1. Modelado Hidrológico en Los Alrededores del rajo (Pit)

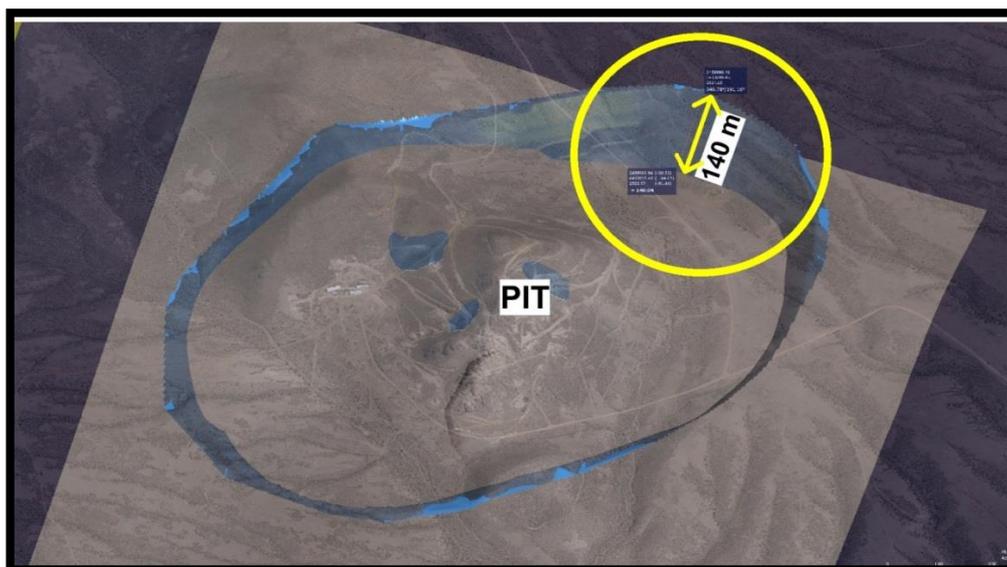


Figura N° 21



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En la figura N° 21 se puede observar el sector del rajo, donde la superficie topográfica ha sido deprimida mostrando un aspecto del volumen erosivo del basamento, ocupado por las Gravas y relleno moderno. En la corrida directa se puede ver que, en la parte Norte del rajo, el espesor de las gravas alcanza unos 140 m desde el basamento rocoso hasta el coronamiento del rajo en cotas de superficie.

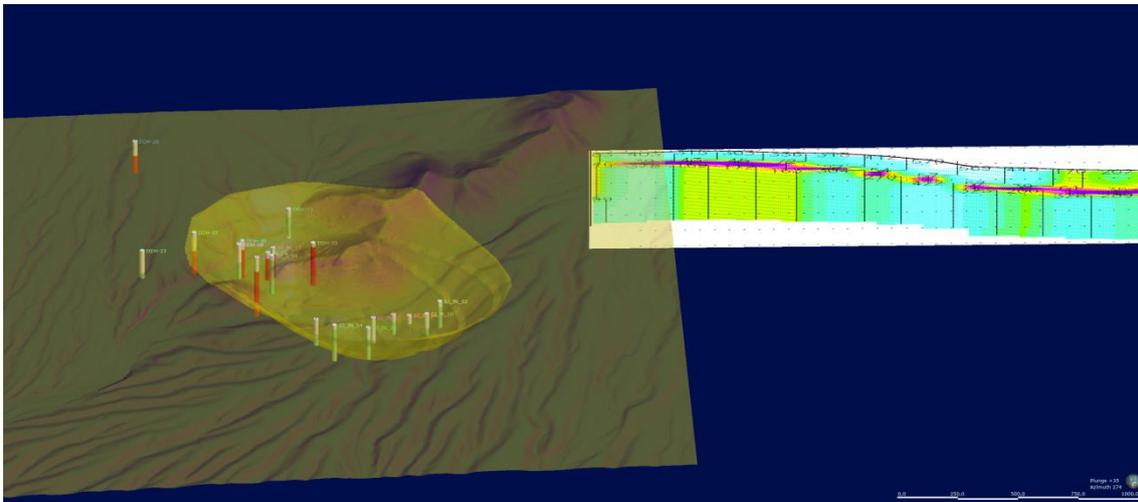


Figura N° 22

La figura N° 22 se presenta la topografía superficial con los sondeos medidos por SRK (2008). Esto se realizó con el fin de cuantificar la profundidad del agua, lo cual pudo observarse en los sondeos hídricos que no mostraban derrumbes y se pudo acceder a la profundidad real.

Todos los sondeos que están en la ladera Norte del Cerro San Jorge, prácticamente no tienen agua o están con fondo seco. Esto no sucede en la vertiente Sur, donde se supone la presencia de un sumidero local, asociado a alta fracturación en el sector.

La figura N° 23 muestra la posición del perfil TEM más cercano al rajo, que los separa unos 1300 metros.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

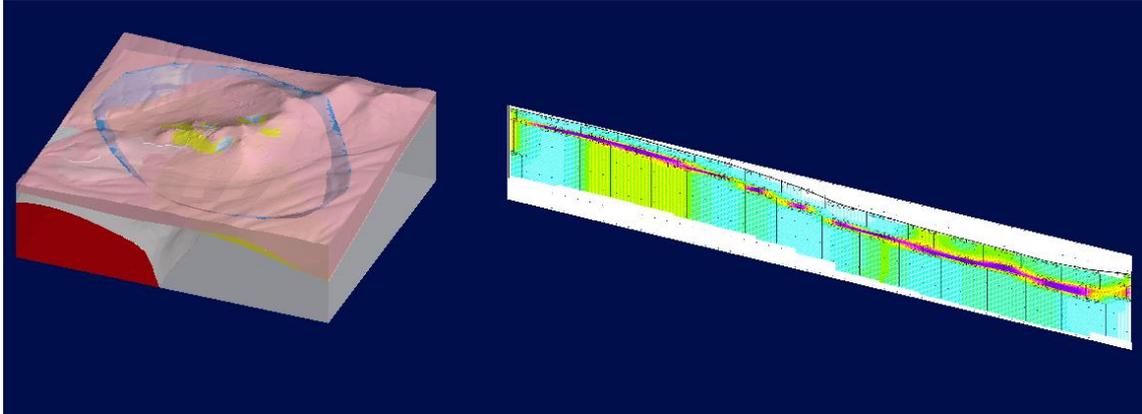


Figura N° 23

La figura N° 23 es una imagen integral del sistema de rajo con las rocas asociadas y la relación con el perfil TEM más cercano. El sólido de color rojo ubicado abajo y a la izquierda del block, representa el cuerpo granítico que participa del sistema.

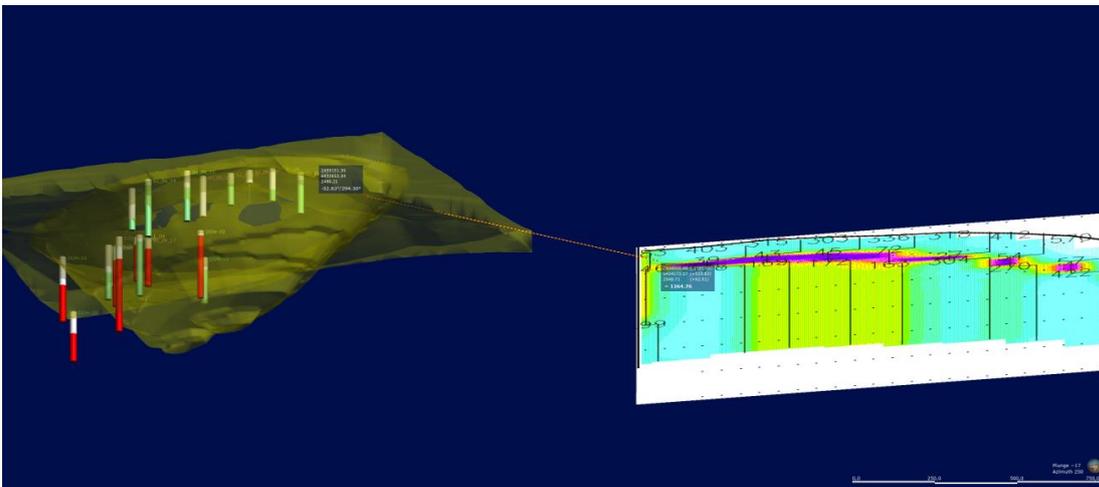


Figura N° 24

En la figura N° 24 la distancia entre el perfil TEM más cercano al rajo es de 1260 metros, posición en la que se detectan, aunque desmembrados, los acuíferos de la cuenca del Tigre. El TEM se encuentra al Norte del rajo.

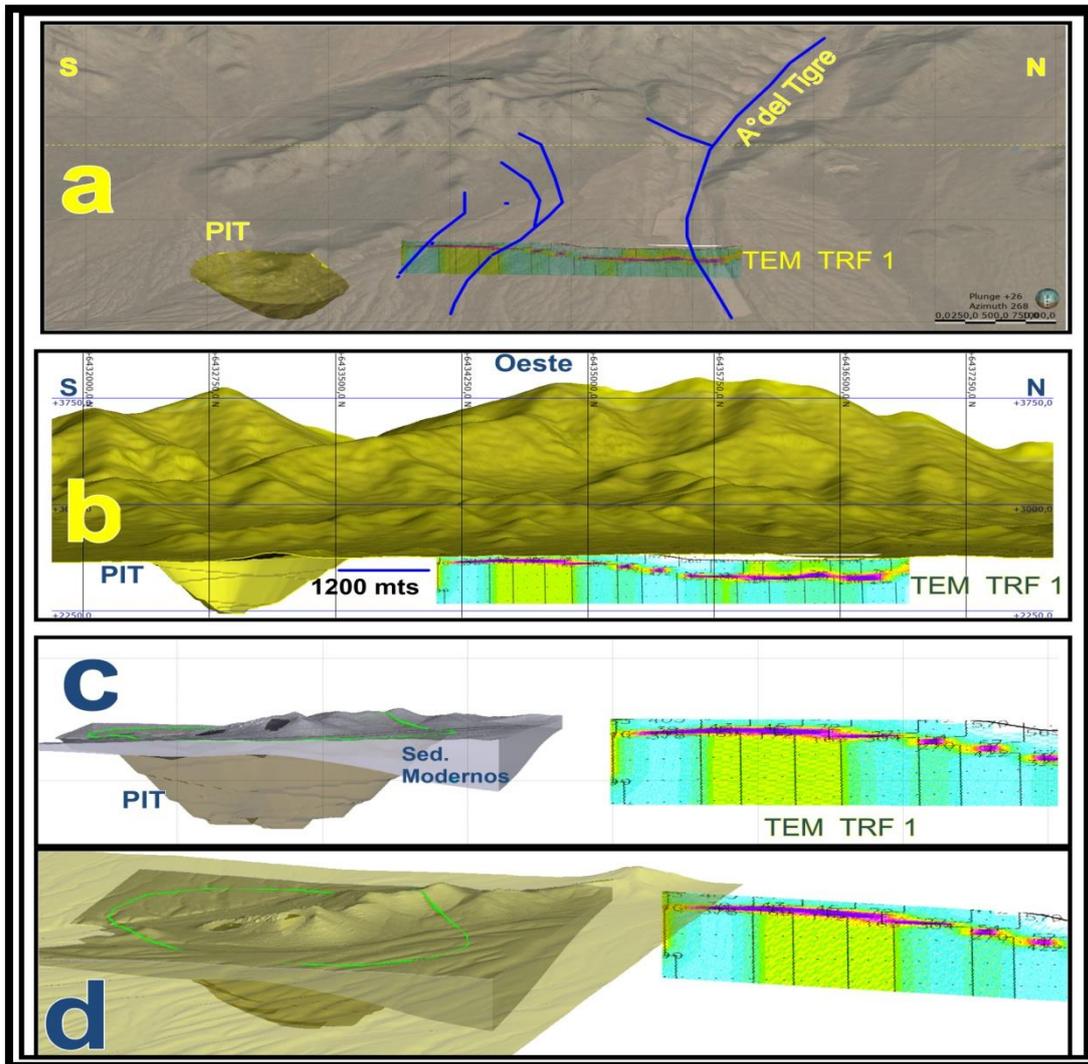


Figura N° 25

La figura N° 25 muestra la disposición del Perfil TEM TRF-1 que es el más cercano al rajo. Se puede observar que la escorrentía superficial en el sector del rajo es fundamentalmente local sin relación directa al A° del Tigre (a). Aquí puede verse que las cabeceras locales drenan de la misma serranía quedando condicionado su flujo a episodios pluviométricos estacionales.

En la Figura 25(b) se destaca un perfil ortogonal con vista al Oeste donde se mide una separación de los escasos acuíferos detectados con las paredes de PIT de más de 1.200 m.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

En las Figura 25 (c) y (d) se muestran perspectivas en referencia a los sedimentos modernos pudiéndose medir una cota de los acuíferos por debajo de las paredes rocosas

Adelantando una conclusión, se pueden destacar dos puntos:

- a) Existe una subcuenca en situación de equilibrio que comparte aguas subterráneas solo en el caso de que la evapotranspiración sea superada por fuertes lluvias estacionales. El sector sugiere un punto de sumidero hacia profundidad, asociado a tectónica regional.
- b) La futura excavación evidencia no afectación a los acuíferos localizados en las cercanías del mismo.

4.2.1.1 Análisis de los Parámetros Hidráulicos (permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática)

En SRK (2008) se resumen los Trabajos Hidrogeológicos de Terreno. En el mismo, se han obtenidos datos de permeabilidad a través de pruebas de Packer en los sondajes geotécnicos en perforación en el sector del rajo, además de la medición de niveles en los sondajes existentes en toda la zona de estudio que involucra los sitios de disposición del tranque de relaves, el botadero y la planta de proceso (Tabla N° 1).

Sondaje	Sección Test (m)		Fecha Prueba	Conductividad Hidráulica k			Unidad
	Desde	Hasta		m/s	m/d	cm/s	
SJ-MEC-08	225.50	228.50	10-09-2008	6.9E-06	5.9E-01	6.9E-04	Arenisca con tramos de conglomerado
SJ-MEC-02	132.00	137.20	14-09-2008	4.9E-06	4.3E-01	4.9E-04	Arenisca
SJ-MEC-07	109.00	112.70	15-09-2008	8.3E-06	7.2E-01	8.3E-04	Arenisca con fracturas menores
SJ-MEC-06	237.00	240.85	26-09-2008	5.7E-06	4.9E-01	5.7E-04	Arenisca con fracturas menores
SJ-MEC-04	132.50	135.60	28-09-2008	8.4E-07	7.2E-02	8.4E-05	Intrusivo con fracturas menores

Tabla N° 1: Conductividad hidráulica en perforación en el sector del rajo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Medición Niveles de Agua Subterránea

En SRK (2008) se revisaron 69 sondajes y pozos de observación existentes en el área que involucra el sector del rajo, botadero, tranque de relaves y planta de procesos.

Del total de puntos revisados, sólo 6 sondajes evidenciaron la presencia de agua subterránea, estos son los sondajes SJM-04, DDH-39, DDH-22, DDH-28 y los pozos de observación M5 y SJ-PM-1, la mayoría ubicados en la llanura, excepto el SJM-04, sondaje cercano al SJ-MEC-02 que recientemente ha sido perforado, por lo tanto, podría indicar agua de perforación inyectada al acuífero en forma puntual.

En términos generales se puede decir que el área del rajo no posee agua subterránea.

Se agrega que, la mayoría de los sondajes revisados se encontraban embancados a profundidades cercanas a los 30 m (ver Tabla 2).

A partir de la información recopilada en terreno se puede decir preliminarmente que el agua subterránea en la llanura se encuentra aproximadamente a 80 m de profundidad media, la que varía según la morfología específica en cada caso.

En los PACKER TEST, se han medido los siguientes coeficientes de permeabilidad (SRK, 2008):

- SJ-MEC-08: $k = 6.9E-06$ m/s
- SJ-MEC-02: $k = 4.9E-06$ m/s
- SJ-MEC-07: $k = 8.3E-06$ m/s
- SJ-MEC-06: $k = 5.7E-06$ m/s
- SJ-MEC-04: $k = 8.4E-07$ m/s.

<ul style="list-style-type: none">• Valores de la permeabilidad (K)• (Adaptado de Villanueva e Iglesias, 1984)		
K (m/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
$K < 10^{-2}$	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.
$10^{-2} < K < 1$	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.
$1 < K < 10$	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

10 <K<100	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.
100 <K	Muy alta	Pozos de más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica

Tabla N° 2: Valores de la permeabilidad (K)

La Tabla N° 2 indica que la posibilidad de acuífero según la (K) permeabilidad, para la zona sería Muy Baja, correspondiente a Pozos con caudal menor a un 1 l/s con 10 m de depresión teórica.

4.2.1.2 Balance Hídrico y Vulnerabilidad del acuífero

El objetivo del reporte es analizar la estabilidad química de las paredes y del lago del rajo (laguna que pueda generarse en el rajo durante la operación o en el largo plazo). Para esto se debe considerar la composición química del yacimiento, y antecedentes de otros proyectos mineros similares. En el caso de presentarse el riesgo de generación de drenaje ácido, se propondrán alternativas para la estabilidad química del yacimiento, considerando como referencia, la Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras del año 2015, de Sernageomin de Chile u otra similar.

El objetivo secundario, si fuera el caso, es tener las bases para desarrollar un plan de mitigación de los impactos proyectados a través de la prevención, minimización y/o compensación si fuera necesario.

4.2.2. Balance Hídrico (Artois, (2022))

Se ha tomado en consideración el informe de Artois, (2022), debido a que el mismo realiza el Balance Hídrico para el Proyecto San Jorge. Este describe los siguientes ítems:

4.2.2.1. Clima y topografía

El informe de Artois (2022), indica, respecto al Régimen nival y pluvial que, de acuerdo a los datos de las estaciones meteorológicas regionales y la estación local en San Jorge (periodo 2007-2010), la precipitación sólida (nieve) ocurre generalmente en la alta



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

cordillera por sobre los 2.600 msnm. La precipitación líquida (lluvia) se distribuye principalmente a lo largo de las llanuras del valle. Por ende, la estación de San Jorge, ubicada en 2.600 msnm en el piedemonte del valle, registra, en su mayoría, lluvias estivales. Esto correspondiente a la precipitación media mensual de un año hidrológico.

La fluctuación en altura de la línea de nieve, durante el invierno, se ubica en la cota 2.600 msnm y sube, a medida que aumentan las temperaturas durante la primavera y el verano, hasta alcanzar una cota de 4.100 msnm.

Además de estar ubicado en una zona transicional, también existe un cambio en la tasa de precipitación de acuerdo a la altura topográfica. La precipitación media anual en Uspallata (1.890 msnm) suma 159 mm/año y aumenta a 381 mm/año en Cristo Redentor (3.830 msnm). Se calcula un incremento del orden de 10 mm por cada 100 m de cambio en altura.

- **Régimen de sublimación y evapotranspiración**

La evapotranspiración potencial, registradas directamente en las estaciones Uspallata y Punta de Vacas, mide en promedio 1.780 mm al año, pero varía entre mínimos mensuales de 20 mm/mes en el invierno y máximos de hasta 260 mm/mes en el verano.

Debido a la ausencia de actividades agrícolas aguas arriba del oasis de Uspallata, no se evidencian pérdidas adicionales de evapotranspiración asociadas a cultivos. Sin embargo, por sobre la línea de nieve del verano (4.100 msnm), la pérdida principal es por efecto de sublimación. Según la literatura especializada, la tasa de sublimación en los Andes Centrales (lat. 30.08° S) es del orden de 1,9 mm/día (Ginot et al, 2001). Equivaldría a unos 340 mm durante 6 meses del año.

- **Superávit de agua y precipitación neta**

A pesar que la evapotranspiración potencial, basado en estadísticas anuales, excede ampliamente la precipitación, existe un periodo de 2 meses en invierno (junio y julio) donde se acumula un superávit de agua. Dicho recurso se mantiene almacenado en forma de nieve y hielo en la alta cordillera. Cuando las temperaturas aumentan en los



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

meses de primavera y verano, la fusión y el deshielo generan escorrentías superficiales que, aguas abajo, infiltran a lo largo de los depósitos permeables de piedemonte y los conos de deyección. Según el cálculo de la precipitación neta (es decir: PMA-PET), los aportes generados por sobre la línea de nieve, serían equivalentes a un promedio de 34% de la PMA (144 mm/año).

En cambio, las precipitaciones estivales sobre las llanuras del valle ocurren durante la época de mayor evapotranspiración, limitando así su potencial aporte y recarga. Basado en la precipitación neta, el aporte de agua por debajo de la línea de nieve, no superaría un promedio 4% de la PMA (7 mm/año).

Las fuentes de escorrentía y la importancia de los deshielos estacionales en el balance hídrico también fueron confirmados a través de los estudios hidroquímicos e isotópicos en la cuenca de Uspallata y Yalguaraz (Lana et al, 2021).

4.2.2.2. Cuencas hidrológicas y coeficientes de escorrentía

El valle de Uspallata se subdivide en 2 cuencas hidrológicas, a saber:

- La cuenca hidrográfica Yalguaraz (797,4 km²): La cuenca Yalguaraz forma una depresión intermontana limitada por la Cordillera Frontal (poniente) y la Pre-cordillera (oriente). La depresión se encuentra rellena con sedimentos, conos de deyección y depósitos de piedemontes. Debido a la alta permeabilidad de estos rellenos sedimentarios, se genera una infiltración rápida de las escorrentías generadas en la Cordillera. Hidrológicamente, se clasifica como una cuenca arreica con descarga subterránea hacia la Ciénaga homónima. El Arroyo el Tigre, el único arroyo con un caudal continuo (antes de infiltrar en la cota 2531 msnm), se encuentra en el extremo sur de la cuenca. Según el mapa hidrogeológico de Mendoza (Gobierno y Universidades de la región Andina Argentina, 1996), la cuenca Yalguaraz almacena un volumen de 750 Hm³ en recursos hídricos subterráneos. Sin embargo, en el presente, no existen actividades agrícolas.

- La cuenca hidrográfica Uspallata (1018,3 km² hasta la descarga del Arroyo Tambillo.- reportado por Andess, 2023): La cuenca colinda con la de Yalguaraz y, tectónicamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

es la continuación de la depresión intermontana anteriormente mencionada. La Precordillera disminuye en elevación hasta desaparecer en la confluencia con el río Mendoza. Debido a su mayor superficie, mantiene un recurso hídrico mayor, alimentado por las escorrentías del deshielo y, en menor grado, por las lluvias estivales. Según el mapa hidrogeológico de Mendoza (Gobierno y Universidades de la región Andina Argentina, 1996), la cuenca Uspallata almacena un volumen de 1000 Hm³ en recursos subterráneos.

El Barreal de la Lomada se ubica en el extremo norte de la cuenca Uspallata, aguas abajo, el flujo alimenta el oasis de Uspallata y las actividades agrícolas (Artois, 2022).

Nota del autor: Tal cómo se verá en el punto discusiones el autor discrepa respecto a esta aseveración ya que las cuencas subterráneas y superficiales no son coincidentes tal como se presenta SRK (2018), Lucero (2018) y Lana (2021).

4.2.2.3. Balance hídrico

El régimen tectónico extensional ha generado una topografía accidentada con “graben” o cuencas sedimentarias rodeadas por una cadena de afloramiento de rocas de baja permeabilidad o “horst”. Dicha cadena montañosa constituye un divisorio de aguas que genera un flujo hacia las llanuras sedimentarias a ambos lados de las cumbres, así formando regímenes hidrológicos independientes.

La precipitación es la fuente principal de aguas en las cuencas intermontanas de Yalguaraz y Uspallata. Dependiendo de la altura topográfica, la precipitación se presenta como líquida (lluvia) o sólida (nieve). En tanto, las pérdidas se producen a través de la sublimación, la evapotranspiración, la escorrentía, la infiltración y la salida de aguas subterráneas. Siendo Yalguaraz y Barreal de la Lomada cuencas arreicas (es decir: sin caudal superficial continuo hacia el punto de descarga), se agrupa la tasa de escorrentía e infiltración en “precipitación neta”.

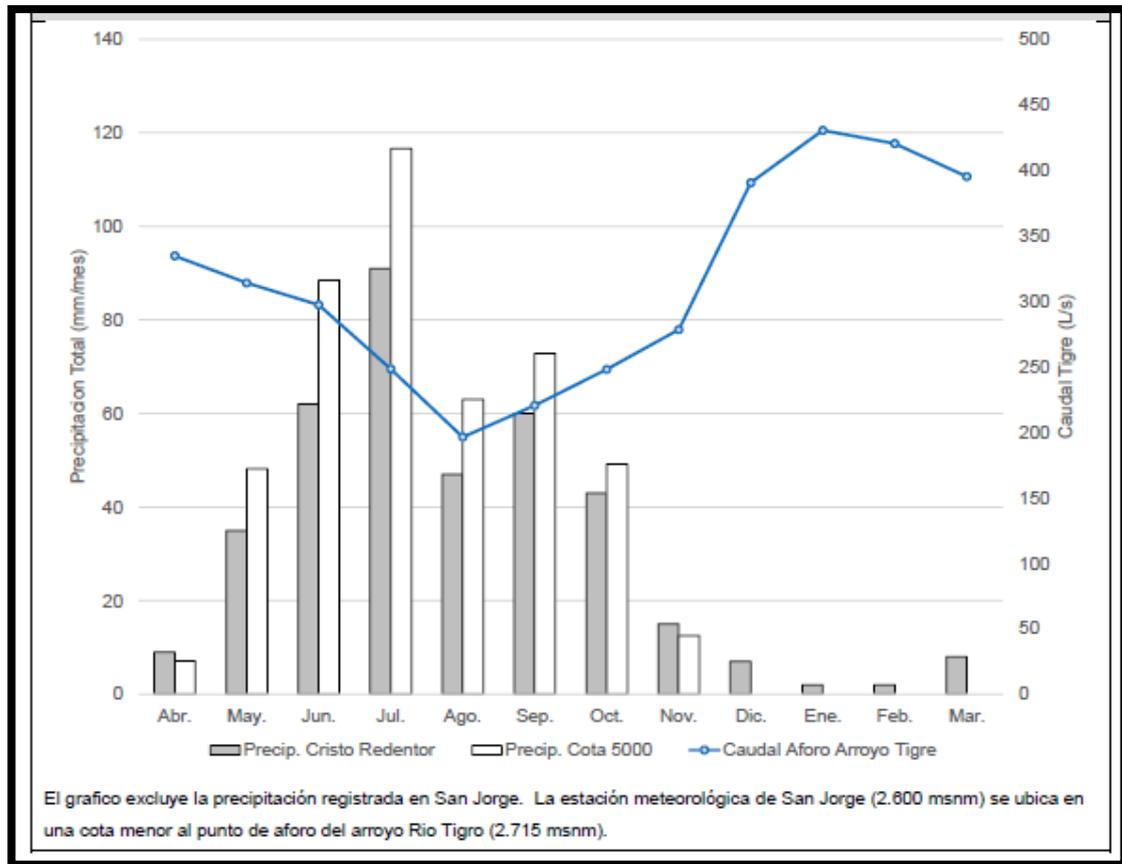


Figura N° 29

4.2.2.3.1. Condiciones naturales de línea base

A continuación, se presenta el balance de agua estacionaria según condiciones naturales de línea base. Debido al efecto topográfico, distintos mecanismos de entrada y pérdida predominan en cada sector (Cordillera / Llanura / Ciénaga o Barreal)

A modo de aclaración, la Figura N° 31 grafica los resultados a través de un perfil hidrológico transversal a lo largo de la cuenca Yalguaraz. La tasa, expresada en mm/año, se multiplica por su respectiva área de exposición para obtener un caudal de flujo aportado por cada sector (expresado en L/s). Se observa lo siguiente:

1. Sector Yalguaraz Cordillera (>2.600 msnm): Durante la época de los deshielos, este sector de 315,7 km² aporte una escorrentía de 1.441 L/s (1,44 m³/s). El coeficiente de escorrentía de 4.6 L/s/km es similar a lo registrado en el Arroyo El Tigre. Según la



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Ecuación 1, el caudal de aporte se obtiene descontando la sublimación (3.063 L/s) de la precipitación total sobre la Cordillera (4.505 L/s). La escorrentía aportada por el lado occidental de la cuenca (es decir, al oeste de la ciénaga) es del orden de 680 L/s.

2. Sector Yalguaraz Llanura (<2.600 msnm): Este sector de 481,7 km² permite la infiltración nívica (1.441 L/s) y la de lluvias estivales (107 L/s). Es decir, 93% de las recargas son generadas por la infiltración de aguas del deshielo. Según la Ecuación 2, la infiltración proveniente de las lluvias estivales se calcula descontando la evapotranspiración (2.887 L/s) de la precipitación total sobre la Llanura (2.994 L/s).

3. Sector Ciénaga de Yalguaraz: La ciénaga cubre una superficie aproximada de 34,7 km². Debido a la poca profundidad del nivel freático y la surgencia de aguas subterráneas en el sector, se genera una tasa de evapotranspiración alta. Según los registros históricos y cálculos teóricos (Ivanov y Blaney-Criddle), se estima una tasa promedio de 1.394 mm/año, siendo equivalente a 1.536 L/s. Es decir, en condiciones naturales, todas las aguas generadas en la cuenca Yalguaraz (1.444 L/s+107 L/s = 1.548 L/s) se evapotranspiran a través de la ciénaga (1.536 L/s) (error balance: <1%).

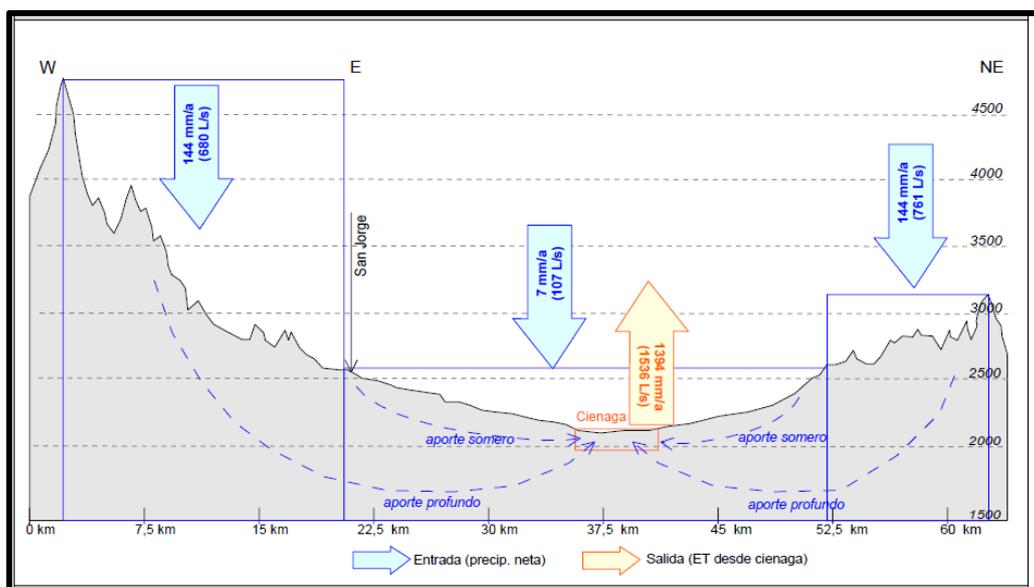


Figura N° 30: Perfil transversal hidrológico – condiciones de línea base: Cuenca Yalguaraz



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

Para el sector Barreal de la Lomada / Quebrada Seca (ver Figura N° 31), se observan condiciones similares, a saber (Artois, 2022):

1. Sector de la Lomada Cordillera (>2.600 msnm): Las escorrentías producidas por los deshielos en la Cordillera promedian 151 L/s (superficie 33 km²).

2. Sector de la Lomada Llanura (<2.600 msnm): Las infiltraciones de las lluvias estivales generan una recarga de 25 L/s a través de una superficie de 114,2 km².

3. Sector Barreal de la Lomada: La superficie del Barreal de la Lomada se limita a 1,8 km². Por ende, las pérdidas por efecto de evapotranspiración se mantienen en unos 74 L/s, siendo menor a la totalidad de las aguas recargadas anualmente en este sector (151+25 L/s=176 L/s). Por ende, se asume un caudal de salida subterránea de 102 L/s (Artois, 2022).

El Barreal de la Lomada se ubica en el extremo norte de la cuenca Uspallata, aguas abajo, el flujo alimenta el oasis de Uspallata y las actividades agrícolas (Artois, 2022).

Nota de Autor: Se destaca que el agua subterránea del Sector Barreal de la Lomada se reparte entre evapotranspiración, en una superficie de 1 km² (Figura N° 27) y a través de sumideros causados por la coincidencia de fracturas conjugadas, profundas, de carácter regional, que coinciden en el área.

La presencia en sí, del Sector Barreal de la Lomada se debe a la ubicación del acuífero subyacente (Depocentro en amarillo – Figura N° 14, 15 y 26).

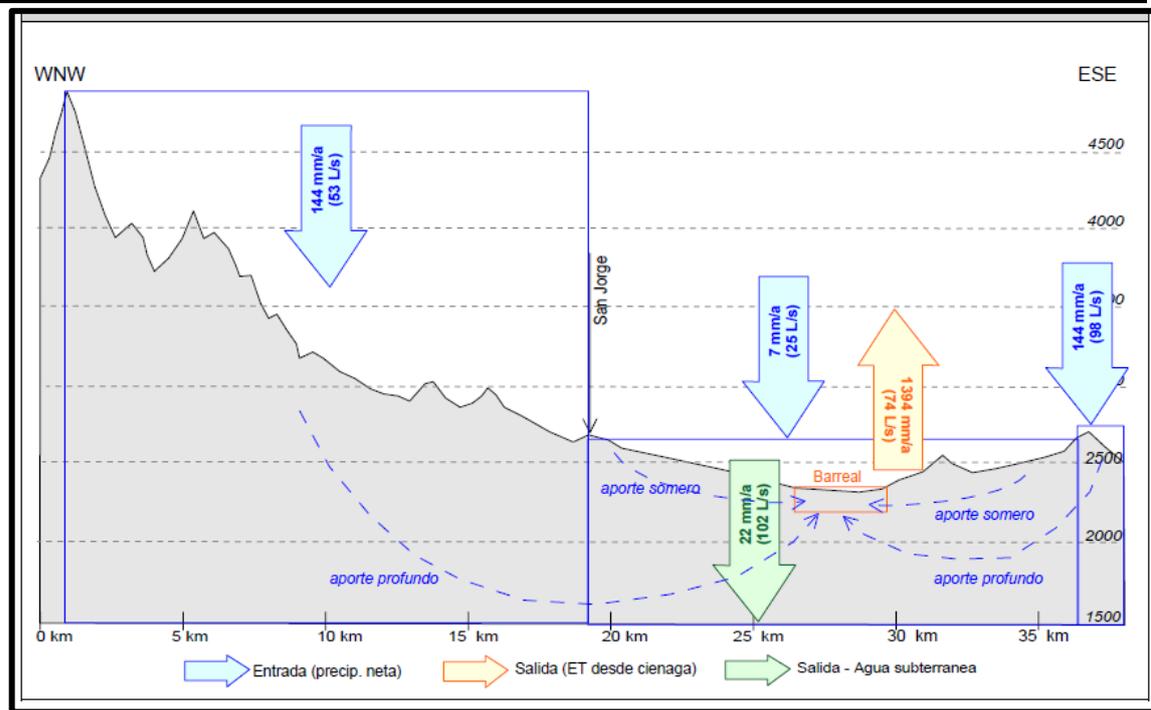


Figura N° 31: Perfil transversal hidrológico – condiciones de línea base: Barreal de la Lomada

4.2.2.3.2. Condiciones durante la operación minera

Las condiciones de operación serán evaluados una vez obtenidos los nuevos registros de terreno y completados los modelos de simulación. Mientras tanto, se anticipa los siguientes cambios en el balance de aguas del sector:

1. Abastecimiento: San Jorge propone la extracción de 141 L/s de aguas frescas desde el Arroyo el Tigre. El mismo mantiene un caudal promedio de 314 L/s, con extremos medios mensuales de 196 y 562 L/s. Una eventual extracción de aguas en el mismo punto de aforo, equivaldría a una reducción del orden de 45% del caudal medio anual (=141 / 314 L/s). Sin embargo, en la totalidad de la cuenca Yalguaraz, se reduce a un impacto de 9% (=141 / 1.544 L/s).

2. Drenaje: La mina extraerá el mineral a través de un rajo abierto el cual será parcialmente drenado para evitar derrumbes y reducir la generación de aguas de contacto. Se anticipa activar el drenaje al interceptar la cota 2.520 msnm (80 m bajo la superficie) (SRK, 2008). En forma preliminar, se calcula una tasa de bombeo entre 5 y 20 L/s. Considerando la totalidad de la cuenca Yalguaraz, equivale a un impacto de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

hasta 1,3% (20 / 1.544 L/s). Para reducir el impacto, en estudios posteriores se recomienda evaluar la sustitución de aguas frescas captada en el Arroyo El Tigre, por las aguas interceptadas en el rajo.

3. Infiltraciones: Se propone depositar colas espesadas, cuya humedad es menor a lo asociado con colas convencionales. Adicionalmente, las altas tasas de evaporación y el espesor de la zona no-saturada por debajo el depósito (mínimo 50 m de profundidad), impide la infiltración de aguas de contacto hacia el nivel freático. Los modelos numéricos de infiltración (SRK, 2018), indican una tasa de infiltración poco significativo que no alteraría la cantidad ni la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca de Yalguaraz.

4.2.2.3.3. Efecto del cambio climático

Según el estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022), se identifica la Provincia de Mendoza como un sector afectado por el cambio climático. El mapa de riesgo (SIMARCC) califica de baja riesgo el sector norte de la División Mendoza – Las Heras, con un cambio de -10 a-18 mm/año en las precipitaciones medias anuales hasta 2030. Es decir, equivale a una reducción en la precipitación media anual de 4 a 7%, dependiendo de la cota topográfica (cordillera versus llanura). En este reporte se distinguen los siguientes apartados:

5. DISCUSIONES

Según el estudio de SRK (2008) las pruebas de bombeo e infiltración realizadas en los pozos de monitoreo, determinaron valores variables de permeabilidad entre 0.01 m/d a 1 m/d. No obstante, estos valores se han considerado sólo como una referencia y se utilizará un valor de 3 m/d, típico para el tipo de depósito que caracteriza al acuífero.

Por otra parte, el análisis de los levantamientos TEM (SRK, 2018), muestra una zonación de los valores de resistividad, siendo estos moderados en superficie, los cuales pueden relacionarse a sedimentos secos. Por debajo de esos horizontes aparecen valores



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

conductivos hasta no más de 200 m de profundidad, compatibles con sedimentos finos tipo arcillas y/o sedimentos porosos con alto contenido de agua/humedad. Estas unidades yacen sobre otras de carácter mucho más resistivas que se interpretan como unidades de basamento o sedimentos secos y/o muy compactos.

En el referido informe, se indica que, en forma general se observa que el Perfil 1 de los levantamientos TEM, se ubica en un área donde las rocas son más resistivas, se presentan homogéneas, sin evidenciar discontinuidades que insinúen grandes cambios estructurales. La distribución de los valores de resistividad a lo largo de toda el área de estudio es similar en los perfiles 2, 3 y 4 y bastante diferentes a los del perfil 1, por lo que se puede plantear la hipótesis de que el límite de cuencas podría estar ubicado entre los perfiles 1 y 2 (figura N° 26). Desde el punto de vista estructural, en la zona norte no se observan grandes fallas o zonas de fracturación que permitan la comunicación de los fluidos entre el Norte y el Sur del área, lo cual sugiere cuencas o zonas con un diferente régimen hidrogeológico.

Se carece de medidas de permeabilidad en el sector del rajo, para lo cual se deberá considerar los datos aportados por los sondeos TEM.

Es importante destacar que la presencia del cuerpo granítico en contacto con las rocas sedimentarias no es un contacto intrusivo típico sino más bien un contacto de índole tectónico estructural.

Es necesario considerar la posición geográfica respecto a la cordillera frontal en la cual el proyecto San Jorge se ubica en el límite Este de la cordillera Frontal y borde Oeste del Valle de Uspallata poniendo en contacto rocas del carbónico pérmico con el silúrico más antiguo representado por el monoclinial que se encuentra en el sector central de Valle.

Toda la región muestra afectación por grandes fallamientos, sobre todo en este sector, tanto longitudinales, meridianos y transversales E-W. Esta estructuración pertenece a las últimas etapas de acomodamiento de la cordillera, en su elevación sobre todo con cotas tan altas, que están representadas por el Cerro Aconcagua a unos 60 km al suroeste del proyecto.

Todos estos movimientos tectónicos han llevado a que las competencias relativas de la roca granítica frente a los cuerpos sedimentarios circundantes hayan producido un brechamiento y fracturamiento en sus alrededores, que han modificado localmente la permeabilidad del sector circundante al cuerpo ígneo.

Esto se puede observar claramente en el perfil realizado por el Grupo Minero Aconcagua Trf 2 que se presenta a continuación (Figura N° 32).

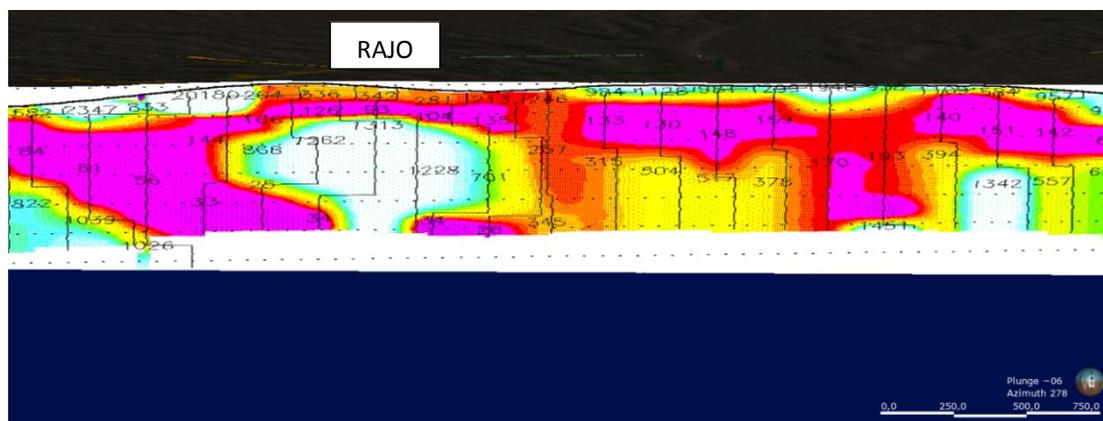


Figura N° 32: perfil Trf 2 - Grupo Minero Aconcagua

Considerando los aspectos tratados precedentemente, se pueden destacar dos ideas fundamentales:

- La distribución de los valores de resistividad a lo largo del área de estudio indicaría que el límite de cuencas podría estar ubicado entre los perfiles 1 y 2.
- Los datos de resistividad sugieren la existencia de cuencas o zonas (Cuenca de Yalguaraz y Barrial de la Lomada) con un diferente régimen hidrogeológico y no comunicados entre sí.

Interpretación de las cuencas hidrogeológicas

Es fundamental destacar que, el referido flujo subterráneo está supeditado a que el depocentro del Barreal de la Lomada, eventualmente se vincularía con los otros depocentros adyacentes (Tambillos al sur, Yalguaraz al norte), en el caso de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

colmatación de su cuenca, lo cual es poco probable por el escaso aporte de las lluvias estacionales.

Por otra parte, es importante considerar que el autor (Artoiz 2021) menciona “Aguas Abajo”, lo cual no identifica claramente las distancias desde el Barreal de La Lomada a la zona de recarga de la cuenca de Uspallata, ya que la escorrentía superficial marca un nivel de base más bajo, hacia el norte, como puede verse en las figuras N° 26. Esta zona de recarga de la referida cuenca de Uspallata se ubica 2800 m al sur de El Barreal de la Lomada.

En el presente estudio se destaca que,

- c) Existe una subcuenca en situación de equilibrio que comparte aguas subterráneas solo en el caso hipotético de que la evapotranspiración sea superada por fuertes lluvias estacionales. El sector sugiere un punto de sumidero hacia profundidad, asociado a la alta fracturación del área.
- d) El rajo evidencia no afectación a los acuíferos localizados en las cercanías del mismo.

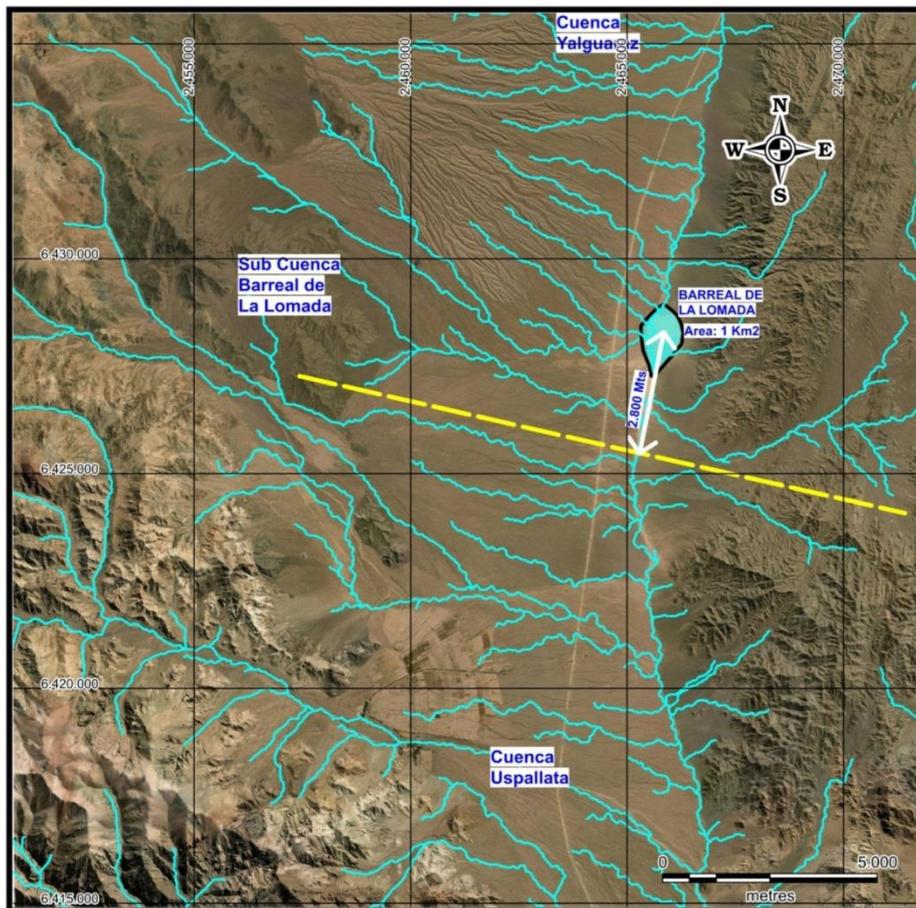


Figura N° 26 en amarillo, límite sugerido para el borde Sur de la subcuenca El Barreal de La Lomada.

Tal como se indican en las Figuras 26 y 27, el Proyecto San Jorge se ubica por sobre un afloramiento de roca paleozoica parcialmente cubierto por un cono de deyección que coincide con la divisoria topográfica entre las dos cuencas mencionadas anteriormente. En el lado norte, el patrón de drenaje mantiene un rumbo hacia el NE y E, en dirección a la Ciénaga de Yaguaraz. Al sur del divisorio, la dirección de drenaje es hacia el SE y E, en dirección al Barreal de la Lomada.

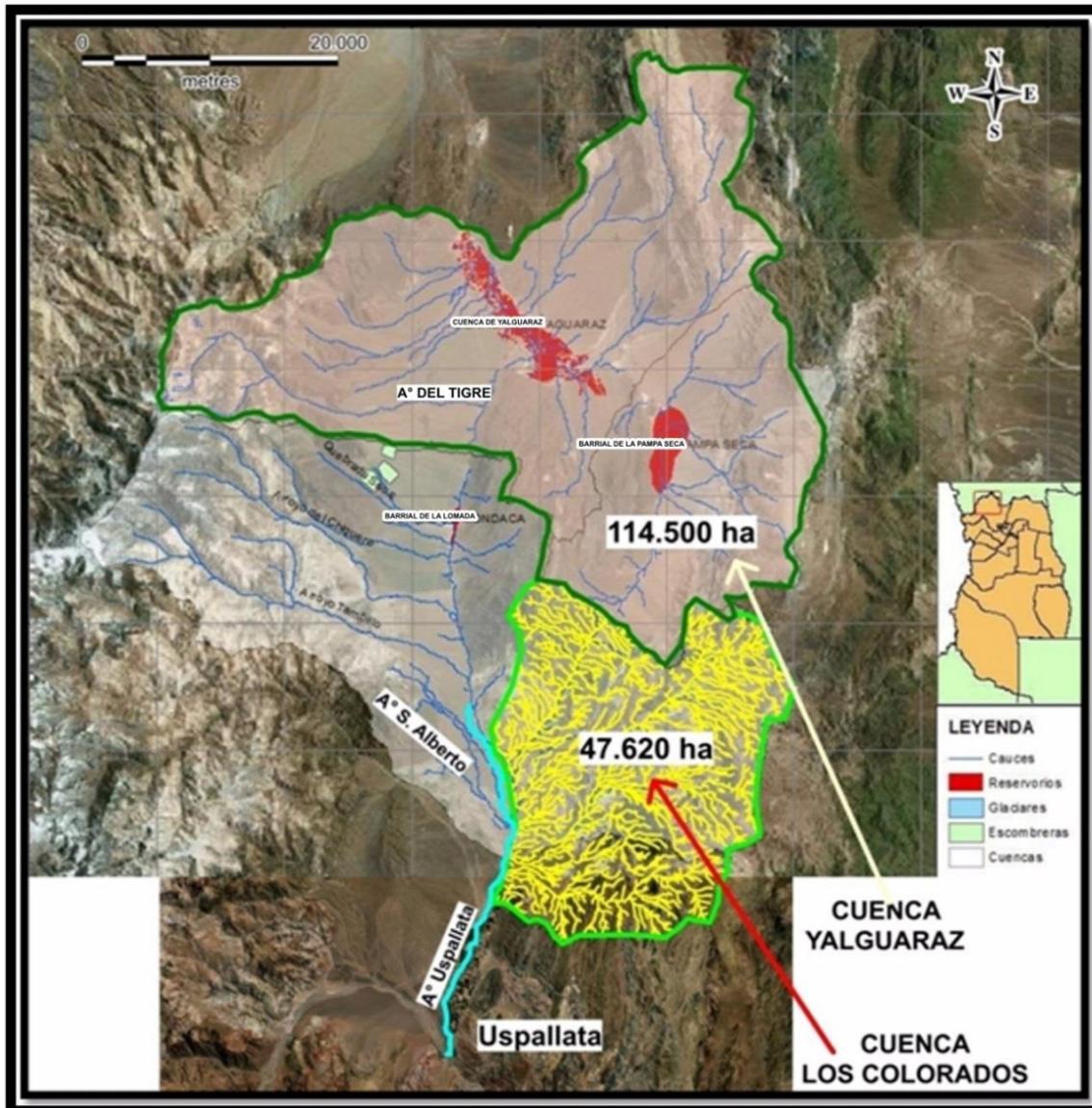


Figura N° 27: Cuencas hidrográficas

El arroyo El Tigre se ubica al norte del Proyecto, a unos 4 km al NO del rajo abierto. Es el único arroyo con flujo permanente en la zona de estudio, promediando un caudal de descarga de 314 L/s ($0,314 \text{ m}^3$) (2008-2010). Mes a mes, el caudal fluctúa significativamente, siendo producto de los deshielos en la Cordillera Frontal del Tigre.

La Figura N° 30 presenta el comportamiento promedio mensual en el punto de Aforo (2.715 msnm). Se observa una demora de hasta 6 meses entre el mes de mayor precipitación en la cordillera (julio) y el mes de mayor escorrentía (enero).

Basado en la superficie de 79.7 km² de la cuenca del Arroyo El Tigre (hasta el punto de aforo del mismo), se calcula un coeficiente promedio de escorrentía de 4 a 5 L/s/km², cuya equivalente en precipitación neta es de 124 a 155 mm/año. Son valores muy similares a aquellos obtenidos a través del análisis meteorológico regional.

Debido a la alta permeabilidad de los depósitos de piedemontes, la totalidad del flujo en El Tigre infiltra antes de la cota 2.531 msnm (Lana et al., 2021). Salvo durante tormentas temporales de alta intensidad, las lluvias estivales no generan escorrentías permanentes en superficie.

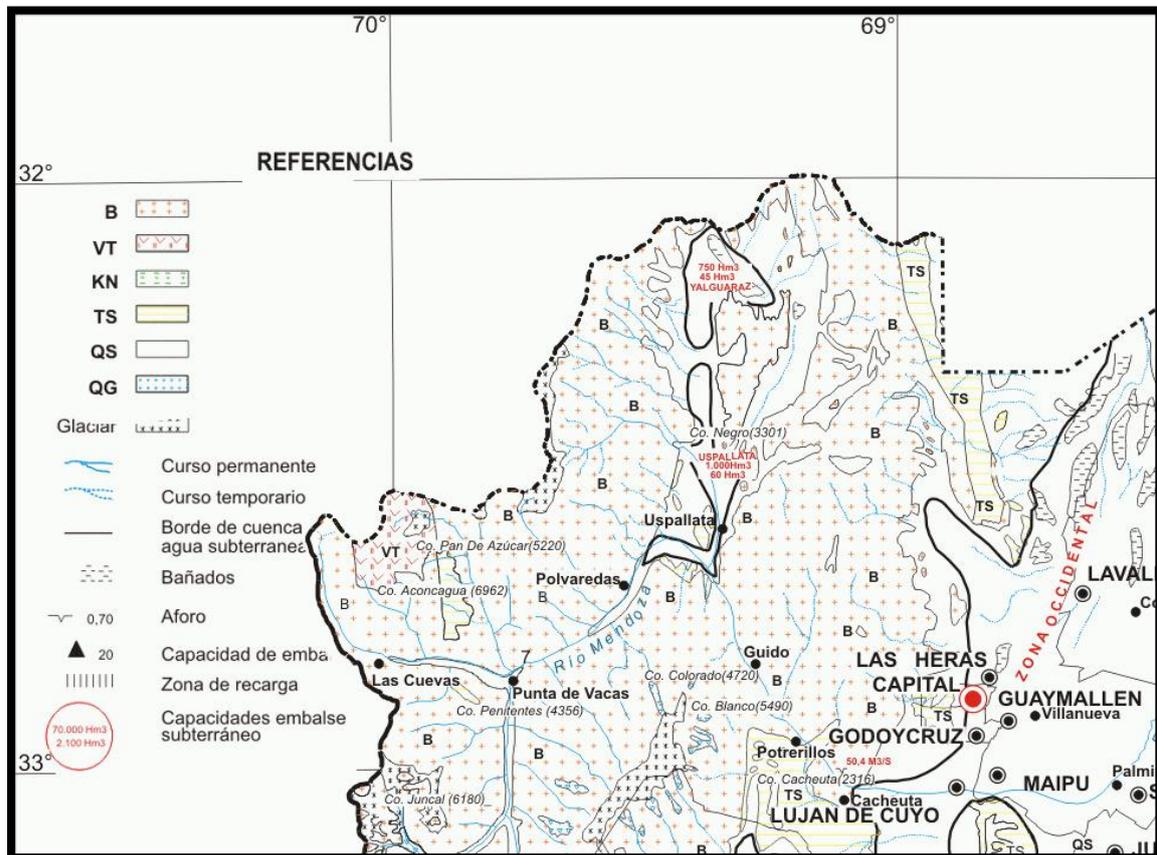


Figura 28: Extracto del mapa hidrogeológico de la Provincia de Mendoza

6. CONCLUSIONES

- Se reconocen diversas subcuencas definidas por depocentros (de sur a norte son, Uspallata, Tambillos, Barreal de la Lomada y Yalguaraz), que modificarían la



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

distribución y morfología de los acuíferos estudiados. Destacándose que la divisoria hidrogeológica separa los dos depocentros del Norte con los dos depocentros del sur, (límite fijado en el punto B de la Figura 17).

- Se reconocen así, dos cuencas de altura representadas por el Barrial de la Lomada y la Ciénaga de Yalguaraz. Estas cuencas estructurales del norte conforman un grupo que pueden diferenciarse de las cuencas de Tambillos y Uspallata, las cuales se desarrollan plenamente al sur en la divisoria hidrogeológica definida por Lucero (2018) e Ibañez et al. (2021).
- En la región se puede establecer que, el agua subterránea, durante los periodos donde las lluvias se incrementan, sería posible que el o los acuíferos del área, tiendan a colmatarse. En esas situaciones, el agua que excede dichos depósitos derramaría hacia El barrial de La lomada, así como en la zona de la Ciénaga de Yalguaraz para el sector norte.
- Se ha identificado el sector de recarga de la cuenca de Uspallata, el cual se ubica a 2800 m al sur de El Barreal de la Lomada. La escorrentía superficial marca un nivel de base más bajo, hacia el norte, como puede verse en las figuras N° 14, 15 y 26. En estos casos y especialmente en la Figura N° 26, se pueden ver cárcavas que se resuelven de forma contra intuitiva al dirigirse a una cuenca con un nivel de base local y más estable (Sub Cuenca Barreal de la Lomada).
- El rajo evidencia no afectación a los acuíferos localizados en las cercanías del mismo.
- De los estudios TEM disponibles a la fecha, se ha intentado cuantificar el flujo de agua ingresante al rajo con el fin de calcular su evacuación durante la operación y del posible futuro lago del rajo (Pit Lake), en los mismos, se observa una importante fracturación relacionada al granito, donde se presentan sedimentos saturados. Las relaciones 3D de las Figuras N° 24 y 25 muestran en primera instancia, que no ingresaría agua al rajo desde las gravas. Es de esperar que el agua ingresante lo haga a través de fracturas y discontinuidades como se sugiere en la Figura N° 33.

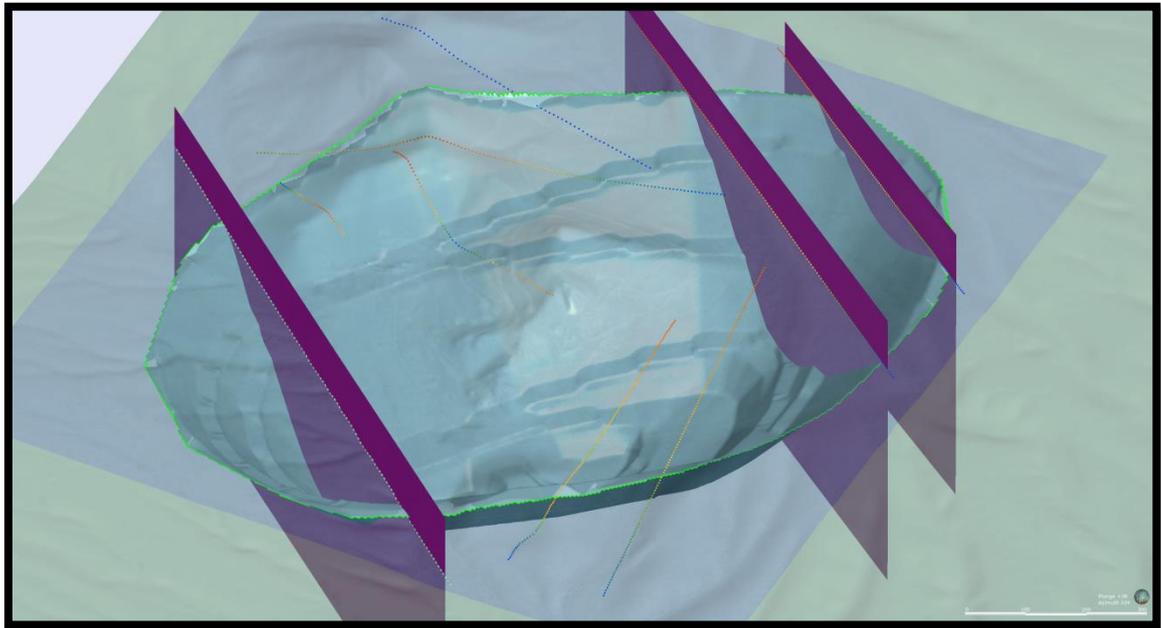


Figura N° 33: Estructuras regionales principales en las paredes del rajo.

- En el análisis de este estudio los datos en relación a los TEM y SEV más cercanos, muestran que la napa freática se encuentra a más 120 m de profundidad (TEM LINE 1 58000E del Grupo Minero Aconcagua SRL y SEV 9 con agua en acuífero a 146 m).
- Se poseen datos de permeabilidad de la zona del rajo, los cuales arrojan valores de k que oscilan entre 4.9E-06 a 8.3E-06 m/s. Esta permeabilidad en general es baja, por ende, la infiltración.

<ul style="list-style-type: none"> • Valores de la permeabilidad (K) • (Adaptado de Villanueva e Iglesias, 1984) 		
K (m/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
$K < 10^{-2}$	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.
$10^{-2} < K < 1$	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.
$1 < K < 10$	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.
$10 < K < 100$	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

100 <K	Muy alta	Pozos de más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica
--------	----------	---

Tabla N° 2: Valores de la permeabilidad (K) (se repite la tabla para mayor visibilidad)

- La tabla N° 2 indica la posibilidad de acuífero según la (K) permeabilidad. Para la zona sería Muy Baja, correspondiente a Pozos con caudal menor a un 1 l/s con 10 m de depresión teórica. Siguiendo esta proporción, y se le pudiera extraer 10 litros al acuífero, el nivel deprimiría al menos 100 metros, ya que los valores de permeabilidad son muchos menores a los señalados en la tabla. Esto indica que la situación del rajo es muy favorable a la no afectación del acuífero, como así también sobre la posibilidad de control sobre el mismo.
- Los datos pluviométricos disponibles y otras fuentes, así como parámetros de permeabilidad, porosidad y niveles estimados de la napa freática, indican que la vulnerabilidad de los acuíferos es baja, en relación a la futura infraestructura de la mina (Rajo, escombreras, depósitos de colas e infraestructura industrial).
- Se ha realizado el Balance Hídrico y se consideró, además, la Vulnerabilidad del acuífero, donde se actualizaron los datos en función de la nueva estructura, diseño y operación del depósito de colas (altura de capas vs tiempo de exposición), la nueva ubicación y diseño de las escombreras y el análisis de riesgo de generación de Drenaje Ácido (DAR) del yacimiento minero. Según los estudios indica que la infiltración no superaría los 6 m bajo superficie, estando el nivel freático a más de 120 m de profundidad (Figura N° 34a y b, 35 y 36), **por lo que se considera que no hay afectación sobre el acuífero subyacente.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

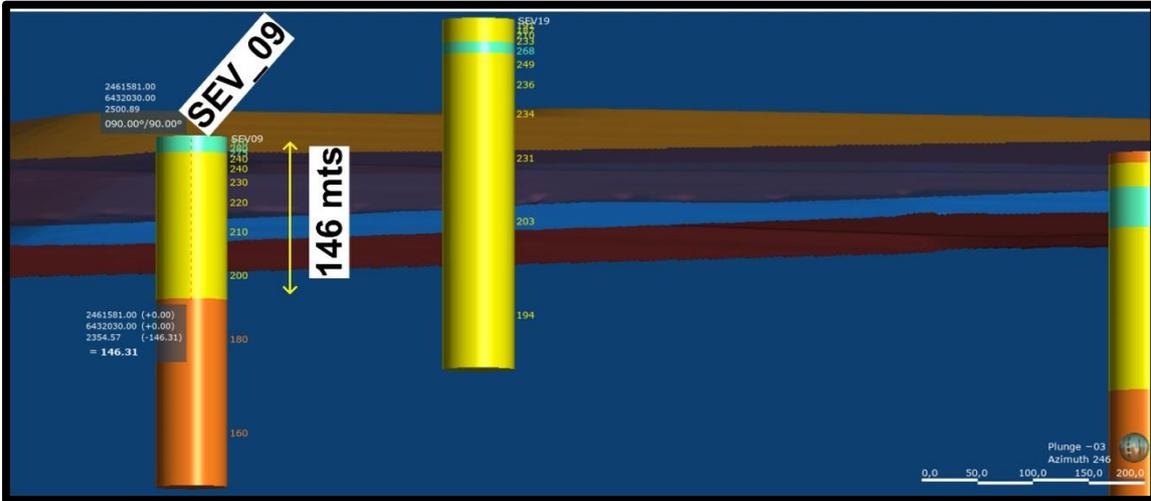


Figura N° 34a Sondeo SEV-09 mostrando el nivel freático a 146 metros bajo superficie.

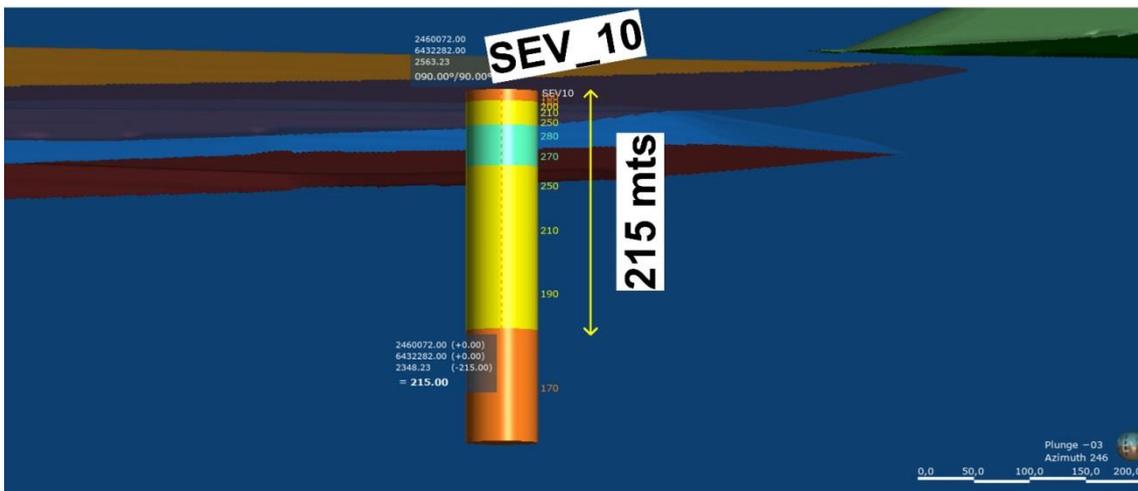


Figura N° 34b Sondeo SEV-10 mostrando el nivel freático a 215 metros bajo superficie



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

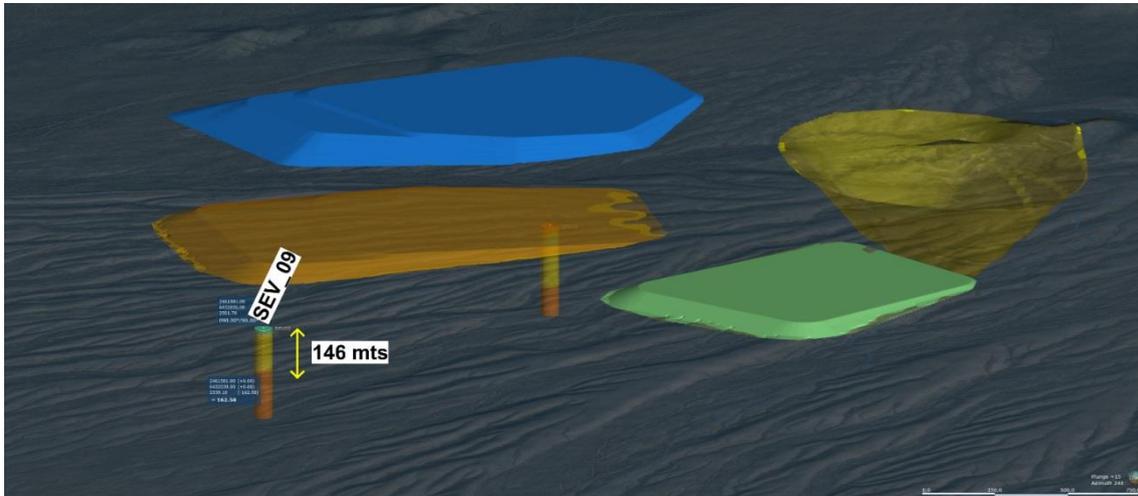


Figura N° 35 Sondeo SEV-09 mostrando el nivel freático a 146 metros bajo superficie.

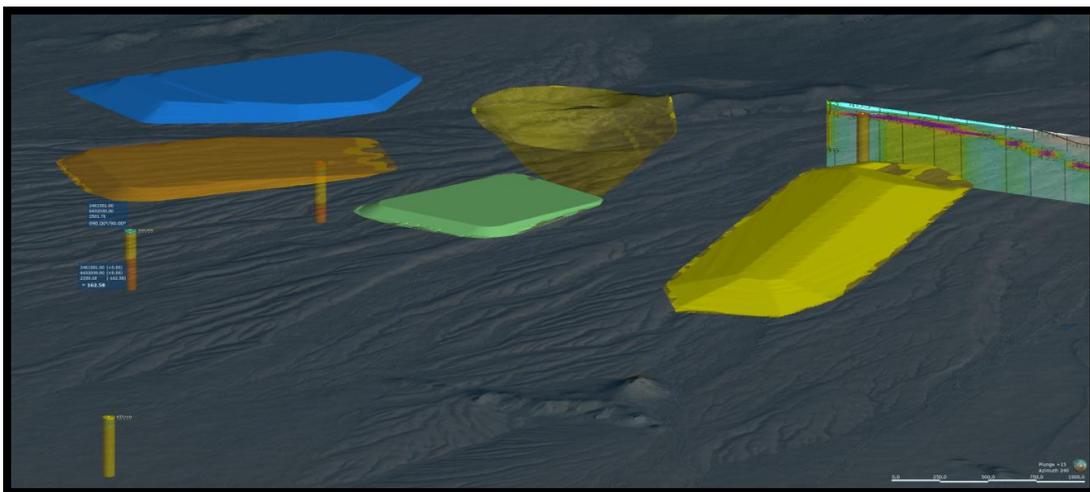


Figura N° 36: Sondeos SEV-05, SEV-09, SEV-10 y SEV-19 mostrando el nivel freático. Nótese que los SEV 05 y 19, a 213 m de profundidad, no muestran valores acordes a la presencia de un acuífero en el sector de la obra del Colas.

- Las muestras correspondientes a los Afloramientos y Suelos no generarían DAR (Drenaje Ácido de Roca), sin embargo, al considerar los elementos de los ensayos SPLP (Procedimiento de Lixiviación por Precipitación Sintética), algunos metales, mayoritariamente Cobre, superan los valores establecidos como máximos por la Ley 24585 de la Actividad Minera - Impacto Ambiental, Anexo IV: Niveles guía de calidad de agua. Fuentes de Agua para Bebida Humana y Para Protección de Vida Acuática en Agua Dulce Superficial. Estas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

muestras provienen de rocas y suelos que están expuestos desde que se han delineado las provincias geológicas, Precordillera y Cordillera Frontal, lo cual permite suponer que tanto la geología como los acuíferos, se encuentran en equilibrio, indicando que la eventual afectación que pudiera producirse, no es tal.

- El estudio DAR correspondiente a las muestras obtenidas de sondeos, indica la eventual afectación del acuífero, por el grupo de muestras (escasas) que poseen riesgo bajo a medio, como “Potencialmente formador de ácido”, así como algunos metales que superan los valores establecidos como máximos en la citada norma. Teniéndose en cuenta, que estas muestras representan rocas, correspondientes al sector del rajo, las cuales serán procesadas mediante un tratamiento de concentración y flotación, que remueve los metales como el Cobre que es objeto de este proyecto, y ubicadas en los depósitos de cola, relaves y escombreras. En ese sentido, el control sobre estos depósitos de materiales durante la explotación minera, es fundamental para que el impacto sobre los acuíferos sea muy bajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Anddes Argentina SA. 2023. Estudio hidrológico superficial. Proyecto San Jorge. Informe 2201.20.01-12-210-09-ITE-001.
2. Anselmi, Gabriela, Cegarra, Marcelo I., Gaido, María Fernanda, Yamin, Marcela, Pereyra, Fernando Xavier, Herrmann, Carlos Jorge. 2021. Hoja Geológica 3169-27 Barreal, Provincia de San Juan.
3. Artois Consulting Llc, 2022. Proyecto San Jorge: Balance hídrico preliminar. Hooydonck, J. V. El informe Memo-SJ_balance-10142022 (1).pdf.
4. Auge, M. 2004. Regiones Hidrogeológicas República Argentina Y Provincias De Buenos Aires, Mendoza Y Santa Fe. Profesor Titular de Hidrogeología. Universidad de Buenos Aires. Investigador CONICET.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

5. Cortés J. M., G. Bonorino, 1997, Hoja Geológica 3369-03 Yalguaraz, Provincias de San Juan y Mendoza.
6. Cortés, José María, González Bonorino, Gustavo, Koukharsky, Magdalena María L. Pereyra, Fernando Xavier, Brodtkorb, Alejo. 1997. Hoja Geológica 3369-09 Uspallata, Provincia de Mendoza - INGEOMA, S.A.
7. Ginot, P., Kull, C., Schwikowski, M., Schotterer, U., Gaggeler, H.W., 2001: "Effects of post depositional processes on snow composition of a subtropical glacier", Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No.D23, pág. 32.375-32.386, 16 diciembre 2001.
8. Gobierno y Universidades de la Andina Argentina, 1996: "Mapa hidrogeológico con referencias a las aguas subterráneas Mendoza", Autores: Zambrano J., Torres E., Inventario de los recursos de la región Andina Argentina, Sistema Física Ambiental de Cuyo, Provincia de Mendoza, Coordinación General Elena Maria Abraham y Francisco Rodrigo Martinez, Argentina, 1996.
9. GT Soluciones Integrales. 2022. Estudio de Caracterización Ecohidrológica del arroyo El Tigre y de la ciénaga Yalguaráz. Proyecto San Jorge (PSJ).
10. Hernández et al. 1994. Fallas y cuencas de agua subterránea al Este de la precordillera oriental en el Sur Sanjuanino.
11. Ibanez, S.P, et al., Belén Lana, Marisol Manzano, Susana Rovira, Enrique Montero, Natalia Salvi, Héctor Segal, Pabla Tognoli, Pablo Grizas, Leandro Salvioli, Diego Márquez, Juan Pina y Daniel Cicerone. 2021. Estudio preliminar del origen del agua del Valle de Uspallata y de su contribución al río Mendoza. Boletín Geológico y Minero, 132. (1-2): 107-114. ISSN: 0366-0176. DOI: 10.21701/bolgeomin.132.1-2.011.
12. Informe de las subcuencas del arroyo Uspallata y del sector Cordillera del Tigre, Cuenca del río Mendoza. Provincia de Mendoza. IF-2018-22305661-APN-DNGAAYEA#MAD. Inventario Nacional De Glaciares. Ianigla. Conicet. U. N. C U Y O Gobierno De Mendoza. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMÁTICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
Grupo de Servicios - SEGEMI

13. Lana, N.B., Salvi, N., Cicerone, D., Manzano, M., 2021: “First conceptual hydrogeological model of two intermountain Andean Basins based on isotopes and hydrochemistry”, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, DOI: 10.1080/10256016.2021.1905636.
14. Lucero, S., 2018. Recopilación de información hidrogeológica en el entorno del Proyecto San Jorge.
15. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, PNUD, 2022: “Sistema de Mapas de Riesgo del Cambio Climático”, <https://simarcc.ambiente.gob.ar/mapa-riesgo>.
16. SRK Consulting, 2008: “Resumen trabajos hidrogeológicos de terreno – Proyecto San Jorge”, *Memo Hidrogeología Rev. A*, 7 octubre 2008.
17. SRK Consulting, 2018: “Actualización estudios de cuencas – Minera San Jorge”, Informe, 24 octubre 2018.
18. Williams, W. C. y J. Madrid (1996). Pórfido Cuprífero “San Jorge”. Mendoza, Argentina.
19. Zambrano J., Torres E. 1996, Mapa Hidrogeológico con referencia a las cuencas subterráneas - Mendoza. Junta de Andalucía, Inventario de recursos de la Región Andina Argentina.
20. Zambrano, J. J. Victoria, J. Di Chiachio. Fallas y cuencas de agua subterránea al Este de la precordillera oriental en el Sur Sanjuanino. XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

Lic. Alejandro G. Palma

Dr. J. Humberto Ulacco



Gobierno de la Provincia de Mendoza
República Argentina

Hoja Adicional de Firmas
Anexo

Número:

Mendoza,

Referencia: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 61 pagina/s.