JO INGENIERÍA SPA

S.C.M. ATACAMA KOZAN

PROYECTO INGENIERÍA CONCEPTUAL AVANZADA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADO EL GATO (HITO 2)

N° 3070-GE-INF-008_0

INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA

Preparado por

JO Ingeniería.

Aprobado por

Jefe de Disciplina	Agustín Holgado	(AH)
Gerente de Ingeniería	José Olivares	(JO)
Cliente	Jaime Ángel	(JA)

Rev.	Por	Emitido para	Fecha	Fecha de Revisión	Aprobado
A	CA/RQ	Revisión de JP Saavedra	19.07.2016		
B	JPS	Revisión de Agustín Holgado	28.07.2016		
0	AHB	Emitido para DIA	07.09.2016		
Comentarios:					

PROYECTO INGENIERÍA CONCEPTUAL AVANZADA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADO EL GATO (HITO 2)

INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 5
2 UBICACIÓN Y ACCESOS 5
3 OBJETIVO Y ALCANCE 6
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
4 METODOLOGÍA DE TRABAJO 6
4.1 TRABAJO DE GABINETE 7
4.2 TRABAJO EN TERRENO 7
4.2.1 Mapeo geológico 7
4.2.2 Mapeo estructural 8
4.2.3 Protocolo de muestreo 8
4.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL 8
4.4 ANÁLISIS HIDROQUÍMICO 8
4.5 DIGITALIZACIÓN DE MAPA GEOLÓGICO E INFORME GEOLÓGICO 8
5 REFERENCIAS 9
6 MARCO REGIONAL 9
6.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL 9
6.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL 12
6.3 MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL 13
6.3.1 Planicies Litorales y Farellón Costero 14
6.3.2 Cordillera de la Costa 14
6.3.3 Valle Longitudinal o Depresión Intermedia 15
6.3.4 Precordillera 15
6.3.5 Depresión de los Salares 15
6.3.6 Cordillera de los Andes 15
6.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL 16
6.4.1 Acuífero de gran importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados: 16
6.4.2 Acuíferos de importancia hidrogeológica media a baja en depósitos no consolidados: 16
6.4.3 Acuíferos locales de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada: 16
6.4.4 Acuíferos locales de baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados a semiconsolidados: 16
6.4.5 Acuíferos locales de baja a nula importancia hidrogeológica en rocas: 17
7 MARCO LOCAL 18
7.1 MARCO GEOLÓGICO LOCAL 18
7.1.1 Unidades Estratificadas 18
7.1.2 Depósitos No Consolidados a Semiconsolidados 21

7.2 MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL 25
7.2.1 Zonas de Falla 26
7.2.2 Estratificación 27
7.2.3 Planos de Falla 28
7.2.4 Diaclasas 29
7.3 MARCO GEOMORFOLÓGICO LOCAL 29
7.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO LOCAL 31
7.4.1 Acuíferos de importancia hidrogeológica media a baja en depósitos no consolidados: 31
7.4.2 Acuíferos locales de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada: 31
7.4.3 Acuíferos locales de baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados a semiconsolidados: 31
7.4.4 Acuíferos locales de baja a nula importancia hidrogeológica en rocas: 32
8 ANALISIS HIDROQUÍMICOS 32
9 RECOMENDACIONES 34
10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 35

ANEXOS

ANEXO A PUNTOS DE CONTROL MAPEO GEOLÓGICO

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos medidos in situ. 33

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2-1 Mapa de ubicación y acceso a Quebrada El Gato. 6

Figura 6-1 Mapa geológico regional (Modificado de Arévalo, 2005) 11

Figura 6-2 Geometría de placas tectónicas 13

Figura 6-3 Marco geomorfológico de la coordenada 6.971.700 N. A través del perfil A-A', se aprecian las macroformas definidas por Paskoff, 1970 (imagen tomada de Google Earth). 14

Figura 6-4 Mapa Hidrogeológico del río Copiapó, confluencia Quebrada Paipote – Río Copiapó, en polígono rojo Quebrada El Gato, área de estudio (Modificado de Aguirre et al, 1999). 17

Figura 7-1 Geología de la Quebrada El Gato 18

Figura 7-2 a) Formación Abundancia, compuesta por secuencia rítmica de calizas (Ca), calcilutitas (Cl) y grauvacas verdes (Gr) estratificada de forma inclinada, en contacto erosivo con el depósito aluvial inactivo, compuesto por secuencia de brechas con matriz soportada (Ms) y clasto soportado (Cs). b) Calizas (Ca) con bioturbaciones fuertemente fracturadas. c) Calizas (Ca)

con bioturbaciones perpendiculares a la estratificación. Las líneas segmentadas rojas, representan la estratificación de la roca. 20

Figura 7-3 a) Formación Bandurrias, compuesta por secuencia volcanosedimentaria en contacto erosivo con depósito aluvial y fluvial aterrazado. b) Secuencia de areniscas grises. c) Roca volcanosedimentaria compuesta por clastos polimícticos redondeados con matriz volcánica andesítica. Las líneas segmentadas rojas, representan la estratificación de la roca.....21

Figura 7-4 a) La línea segmentada roja representa los contactos entre los diferentes miembros de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. La línea naranja representa el techo de la terraza del depósito sedimentario semi consolidado. b) Miembro inferior (Minf) de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. c) Contacto erosivo entre el Miembro inferior (Minf) y el Miembro intermedio (Mint) de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. d) Miembro superior, compuesto por depósitos aluviales no consolidados (Msupc) hacia techo y depósitos aluviales semiconsolidados (Msupnc) hacia la base. La línea amarilla representa la capa de 10 cm de yeso que separa lo consolidado de lo semiconsolidado del techo del miembro superior de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. 23

Figura 7-5 a) Vista en planta de Quebrada el Gato (tomada de Google Earth). b) Contacto erosivo entre el depósito aluvial inactivo y la Fm. Las Bandurrias. El depósito aluvial presenta intercalaciones de sedimentos de clasto soportado (cs) con sedimentos matriz soportado (ms). c) Contacto erosivo entre el depósito aluvial inactivo y la Fm. Abundancia. El depósito aluvial presenta intercalaciones de sedimentos de clasto soportado (cs), con sedimentos de matriz soportado (ms). 24

Figura 7-6 a) Ubicación de zonas de Falla. b) Fm. Bandurrias afectada por set de diaclasas. c) Fm. Abundancia afectada por una zona de falla con alto contenido en arcilla y salbanda. 26

Figura 7-7 a) Gráfica Contour zonas de falla. b) Gráfica Rosette zonas de falla. 27

Figura 7-8 a) Gráfica Contour datos de estratificación. b) Gráfica Rosette datos de estratificación. 27

Figura 7-9 a) Gráfica Contour datos de planos de falla. b) Gráfica Rosette datos de planos de falla. 28

Figura 7-10 Plano de falla sector este de actual muro de tranque de relaves. 28

Figura 7-11 a) Gráfica Contour datos de set de diaclasas. b) Gráfica Rosette datos de set de diaclasas....29

Figura 7-12 a) Ubicación del perfil longitudinal y los 3 perfiles transversales esquemáticos. b) Perfil transversal esquemático 1. c) Perfil transversal 2 esquemático. d) Perfil transversal 3 esquemático. e) Perfil longitudinal esquemático. Los perfiles han sido realizados de Google Earth. 30

Figura 7-13 Mapa Hidrogeológico esquemático de la Quebrada El Gato. 32

Figura 8-1 a) Ubicación de puntos de muestreo. b) Agua de Obra de Profundidad. c) Agua de piscina de recuperación Agua Sello. 33

1 INTRODUCCIÓN

La COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA ATACAMA KOZAN (**AK**) está planificando desarrollar un nuevo depósito de relaves para operar a continuación (o alternadamente) del actual tranque de relaves que se ubica en la Quebrada denominada El Gato, este último a una distancia de 16 km hacia el Norte de la actual planta concentradora.

Para este efecto, **AK** ha solicitado a JO Ingeniería (**JO**) desarrollar una ingeniería para sustentar el expediente técnico del nuevo depósito de relaves a presentar al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), por la vía de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), que se justifica como una ampliación del depósito de relaves en la Quebrada El Gato, para la capacidad actual de la planta concentradora y por el método de relaves filtrados que es ambientalmente más favorable.

Como antecedente para la tramitación de la DIA respectiva, en el capítulo de Estudios Básicos, se desarrolló el presente estudio geológico a detalle, que a su vez describe aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos. Este estudio aporta antecedentes para determinar zonas geológicas que puedan afectar o favorecer la construcción y operación del nuevo depósito de relaves.

2 UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de estudio se ubica a 13 km al SE de la ciudad de Copiapó y a 9,2 km al NE de la comuna de Tierra Amarilla, en Quebrada El Gato, Comuna y Provincia de Copiapó, Región de Atacama, Chile, comprendido entre las coordenadas UTM 6.969.500N, 6.972.300N, 374.100E, 376.100E, datum WGS 84, Zona 19 Sur (Figura 2-1). Cubriendo una superficie aproximada de 2,5 km^2 y siendo la cota más alta de 708 msnm.

El acceso al área se realiza desde la ciudad de Copiapó, por la avenida Copayapu en dirección sureste, hasta la intersección con calle Los Carrera y la Ruta C-35. Desde la intersección se recorre 780 m en la misma dirección SE, hasta intersectar con la Ruta 31-CH, ruta conocida como Camino Internacional. En ella se necesita recorrer 3,55 km en dirección NE, hasta la intersección con el camino de bischofita de SCM Atacama Kozan, lugar en donde se desvía para recorrer 1,22 km en dirección NW. Es importante mencionar que para poder hacer más seguro el cruce hacia el camino de Atacama Kozan, es necesario ingresar a la rotonda de tierra que se encuentra hacia la derecha del camino.

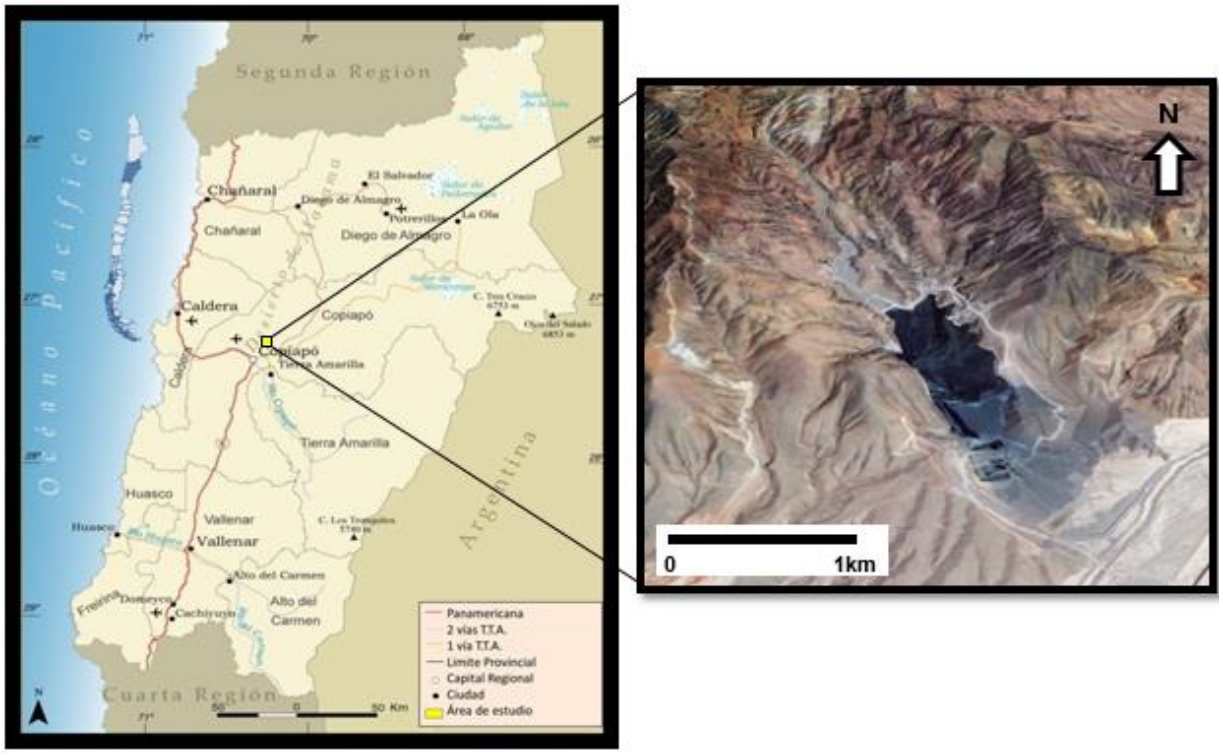

Figura 2-1 Mapa de ubicación y acceso a Quebrada El Gato.

3 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo general de este documento es generar la línea geológica base, correspondiente a la parte baja de la Quebrada El Gato, poniendo énfasis en el área donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrados de Atacama Kozan. Además se identifican pautas de las características hidrogeológicas e hidroquímicas del sector de estudio.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer y caracterizar las unidades geológicas presentes en el área de estudio.
- Elaborar un mapa geológico en detalle, escala 1:5.000.
- Elaborar un informe geológico en base a los resultados obtenidos.

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este estudio se dividió en 5 etapas principales: *trabajo de gabinete, levantamiento geológico, análisis petrográfico, análisis estructural, digitalización de mapa geológico e informe geológico final*, las cuales se detallan a continuación.

4.1 TRABAJO DE GABINETE

Esta etapa se desarrolló en las dos últimas semanas del mes de Junio del 2016, la cual se dividió en dos fases:

Primera fase

Corresponde a la identificación del área de estudio, a través de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth y SAS Planet. La vista tridimensional del software Google Earth (versión Pro 7), permitió identificar el área, como la ubicación y accesos del sector. Sin embargo, la vista dimensional y alta resolución del software SAS Planet (versión Release.140505), permite un menor error en la geo-referenciación de la imagen. A partir de esto se desarrollará la elaboración de la base de mapeo, el cual fue proyectado en coordenadas UTM, utilizando el datum WGS 84, Zona 19 Sur.

Segunda fase

Considera principalmente la recopilación de material bibliográfico de modo de conocer fundamentos geológicos ya establecidos en el área de estudio. Para esto se utilizó los antecedentes del ESTUDIO DE TRANQUE DE RELAVE QUEBRADA EL GATO, documentación desarrollada por la empresa E.C. ROWE ASOC. [Ref. 4] en el año 1996. Donde fueron realizados 4 sondajes cortos (12,50 - 33,50 m de profundidad), además de 10 calicatas poco profundas (2 a 3,8 m de profundidad) y 4 perfiles sísmicos.

4.2 TRABAJO EN TERRENO

El trabajo en terreno se desarrolló entre la segunda mitad del mes de Junio del 2016, en la cual se realizó un levantamiento geológico de aproximadamente 2,5 km^2 de superficie, con el fin de confeccionar un mapa geológico a escala 1:5.000, proyectado en coordenadas UTM, utilizando el datum WGS 84, Zona 19 Sur. Los puntos de control del trabajo en terreno se encuentran en el Anexo A de este informe.

4.2.1 Mapeo geológico

El mapeo geológico consta de la descripción macroscópica de las distintas unidades litológicas, estructurales y morfológicas, presentes en el sitio en que se proyecta la instalación del nuevo depósito de relaves filtrados de Atacama Kozan. En este recorrido las rocas sedimentarias clásticas, fueron reconocidas por la clasificación de Wentworth (1922), las rocas sedimentarias químicas por la clasificación de Dunham (1962) y las rocas volcánicas por la clasificación modal de Streckeisen (1976), mientras que la relación de contacto se utilizó el método de James Hutton (1787) y la ley de superposición de los estratos.

4.2.2 Mapeo estructural

En el mapeo estructural se reconocieron estratificaciones, fallas, diaclasas y pequeñas vetillas, apoyado principalmente de la orientación y manteo de estas estructuras. Para medir las estructuras, se aplicó el sistema de círculo completo con la brújula GeoBrunton, con el cual se obtuvo la medición de dirección de manteo y manteo (ejemplo: 110/60). Cabe mencionar que cada dato estructural, se encuentra relacionado a la coordenada GPS correspondiente de cada punto de control medido en terreno.

4.2.3 Protocolo de muestreo

En el muestreo se seleccionaron 15 muestras de roca fresca, haciendo hincapié en la representación litológica de cada unidad. En las zonas altamente alteradas, fracturadas y no consolidadas, se recolectaron 5 muestras con un peso de 5 kg de muestra por unidad, para el posterior análisis petrológico y mineralógico.

El código de muestra (Cm) se separó en tres segmentos: El primero conlleva a las iniciales QEG, seguido por la letra-número que simboliza el día (M) y el punto de control diario (1). Finalmente, el último digito identifica la muestra recolectada durante el día. Ejemplo: Cm: QEG-M12 = Quebrada El Gato – Muestra del día 1, Muestra 2. Cabe mencionar que cada muestra, se encuentra relacionado a la coordenada GPS correspondiente de cada punto de control medido en terreno.

La toma de muestra hidroquímica se llevó a cabo en la piscina de almacenamiento superficial de agua sello y también en un pozo a 20 m de profundidad, siendo recolectada una muestra de 500 cc por sector.

4.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En el análisis estructural se utilizó el software Dips (versión 1.0.0.1), con la finalidad de observar la distribución y relación estadística entre las estratificaciones, fallas, diaclasas y vetillas medidas en terreno (rosa de diaclasas).

4.4 ANÁLISIS HIDROQUÍMICO

En esta etapa se analizaron 2 muestras de agua en terreno, mediante la sonda multiparamétrica HI 9829, marca Hanna Instrument. Los parámetros fisicoquímicos medidos fueron pH, Oxígeno Disuelto (% y ppm), Conductividad Eléctrica, Turbidez y Sólidos Disueltos Totales.

4.5 DIGITALIZACIÓN DE MAPA GEOLÓGICO E INFORME GEOLÓGICO

Finalmente, se termina de confeccionar el mapa digital de escala 1:5.000 a través del software Arcgis 10.2.2. Con este mapa final, antecedentes bibliográficos y a la recopilación de los

resultados petrológicos, mineralógicos, análisis estructurales y análisis hidroquímicos, se logró elaborar el informe geológico de la parte baja de la Quebrada el Gato.

5 REFERENCIAS

[Ref. 1] Declaración de Impacto Ambiental (DIA), Estudio de Tranque de relave Quebrada El Gato, desarrollado por la empresa E.C. ROWE ASOC. para SCM Atacama Kozan. Junio y Agosto de 1996.

[Ref. 2] Proyecto “Informe de Ingeniería de Perfil para selección de sitio para nuevo depósito de relaves” (Nº 2095-GE-IC-001_0). Informe Final, preparado por JOI para AK. Junio 2014.

[Ref. 3] Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Aumento de Capacidad del Tranque de Relaves El Gato de la SCM Atacama Kozan”. Descripción del Proyecto. Preparado por SCA y GA. Septiembre 2011.

[Ref. 4] Estudio de tranque de relave Quebrada El Gato, por E.C. ROWE ASOC, 1996

[Ref. 5] Plano N° 3070-GE- PLA-001 (2 láminas) Mapa Geológico-geotécnico del Sitio, desarrollado por JO Ingeniería, Julio 2016.

6 MARCO REGIONAL

6.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El marco geológico regional se encuentra acotado entre las coordenadas UTM 6.960.000 – 6.980.000N y 350.500 – 400.000E (Figura 6-1). La geología regional del sector, se encuentra caracterizada principalmente por dos dominios geológicos importantes, los cuales permanecen divididos por el Sistema de Falla Atacama (SFA). Esta mega estructura de orientación norte-sur, separa la franja occidental en rocas intrusivas e hipabisales del Complejo Plutónico Copiapó (Cretácico Inferior) (Marschik y Fontbote, 2001; Marschik et al., 2003; Arévalo, 2005). Por otro lado, la franja oriental se caracteriza por hospedar rocas estratificadas predominantemente volcánicas y volcanoclásticas con intercalaciones sedimentarias detríticas y calcáreas marinas de 2500 m de espesor. En esta franja, se ubica la Formación Bandurrias, mientras que hacia el Oriente se localizan las secuencias sedimentarias asociadas al grupo Chañarcillo (Segerstrom y Ruiz 1962; Jurgan 1977; Arévalo 1995; Arévalo, 2005; Charrier et al., 2007). Las rocas volcano-sedimentarias continentales corresponden a la Formación Bandurrias, en cambio las rocas sedimentarias marinas, están conformadas por las formación Abundancia, Nantoco, Totoralillo y Pabellón, que corresponden al grupo Chañarcillo (Tavera 1956; Segerstrom y Parker 1959; Segerstrom 1960; Corvalán 1974; Jurgan 1977; Pérez et al 1990; Mourges 2004; Arévalo, 2005; Charrier et al., 2007).

Respecto al grupo Chañarcillo, la Formación Abundancia se encuentra compuesta por lutitas grises bien laminadas y arcosas (arenisca de cuarzo mal redondeada) que se interdigitan

lateralmente en la Formación Calcárea Nantoco, representando la transgresión tardía del Valanginiano (segundo piso del cretácico inferior), asociado con el episodio tectónico extensional que se formó en la cuenca trasarco (es el área de tras de un arco volcánico). La Formación Nantoco en cambio, representa una plataforma calcárea desarrollada en el límite Hauteriviano-Barremiano y se compone de lutitas grises y calizas wackstone, destacándose en la parte superior, evaporitas y brechas calcáreas indicadoras de un episodio regresivo. La Formación Totoralillo está compuesta de margas laminadas con nódulos de sílex e intercalaciones volcanoclásticas. Por último, la Formación Pabellón representa el solevantamiento de la cuenca y se compone de calizas masivas y areniscas marinas seguido de areniscas continentales. El descubrimiento de un fragmento de *Parahoplites* a este nivel indica una edad Aptiano medio para el episodio de regresión en la cuenca (Pérez et al. 1990; Charrier, 2007).

Las rocas estratificadas son reflejo de una cuenca volcano-sedimentaria de edad Neocomiana con rumbo NNE, en la cual, hacia el oeste se aprecia un dominio andesítico emplazado sobre un fondo marino del cual emergieron una serie de focos eruptivos que conformaban archipiélagos de islas con dirección norte-sur, en tanto hacia el este, existen posibles condiciones marinas marginales (Abad, 1977), lo que reflejaría un ambiente de facies de arco volcánico andesítico continental transicional en la Formación Bandurrias (Segerstrom, 1960), a una cuenca marina somera de trasarco en las formaciones Punta del Cobre y Grupo Chañarcillo (Segerstrom y Parker, 1959; Arévalo, 2005).

La sedimentación en la cuenca de trasarco comenzó en el Berriasiano con la depositación de la parte superior volcánica-volcanoclásticas de la Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962), la que subyace a las rocas carbonatadas del resto de las formaciones que conforman el Grupo Chañarcillo de edad Valanginiano Superior a Aptiano en un espesor acumulado de 1700 - 2000 m (Marschik y Fontbote, 2001).

Hacia el Poniente, plutones graníticos del Batolito Copiapó (Marschik y Fontbote, 2001) intruyen como pulsos magmáticos al conjunto sedimentario Chañarcillo, desarrollando una extensa aureola metamórfica de contacto (Tilling, 1962). El Batolito Copiapó consiste en diversas intrusiones calco-alcalinas que varían composicionalmente desde dioritas a cuarzo monzonitas en los cuerpos intrusivos, Diorita La Brea (Kidlb, 123-117 Ma.), Monzodiorita San Gregorio (Kiddsg, ca. 111 Ma.), Microgranitos y Aplitas del Portezuelo Cucharas (Kigrpc, ca. 110 Ma.), donde sus fluidos hidrotermales asociados, originaron depósitos metálicos de interés económico (Mathur et al., 2002).

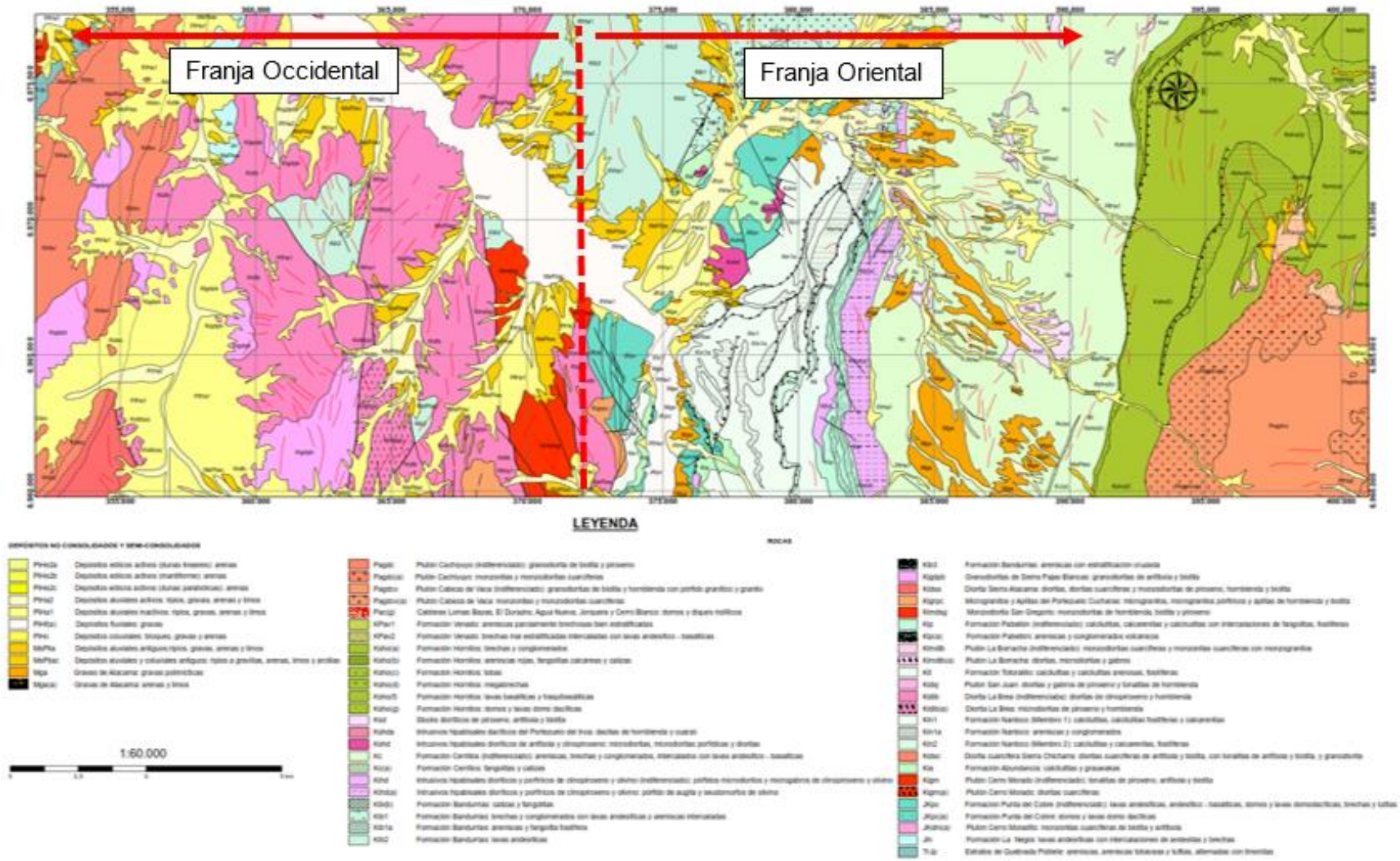

Figura 6-1 Mapa geológico regional (Modificado de Arévalo, 2005)

6.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

La deformación en el arco se concentró principalmente en la Zona de Falla Atacama (ZFA) (Arabasz, 1971), uno de los principales elementos estructurales en los Andes chilenos y que primero se desarrollaron durante la primera etapa del ciclo andino (Charrier et al., 2007). Esta estructura es una falla de rumbo a escala continental, situada a lo largo de la Cordillera de la Costa por más de 1000 km de longitud, entre la ciudad de Iquique (20° S) y la ciudad de Los Vilos (32° S), el cual ha estado intermitentemente activa desde el Jurásico temprano, evidenciando primeramente un evento extensional, seguido por uno desplazamiento de rumbo sinistral, y la exhumación de las unidades del Cretácico inferior que ocurren en los últimos tiempos del Cretácico temprano (Charrier et al., 2007). El movimiento de rumbo sinistral a lo largo del ZFA, se ha relacionado con la convergencia oblicua de la placa Aluk (Phoenix) con respecto al continente sudamericano (Scheuber y Andriessen, 1990; Scheuber y González 1999) (Figura 6-2).

Según Arévalo (2005) el dominio de estructuras antiguas, están representadas por fallas normales de bajo y alto ángulo al sur de Paipote, en el valle del río Copiapó. En ambos flancos del valle, una falla frágil de bajo ángulo despega parcialmente Formación Punta del Cobre de la sobreyacente Formación Nantoco. En el bloque colgante se exponen fallas lístricas normales, que convergen en profundidad con la falla principal, bloques rotados en dominó y con budines a escalas métricas y centimétricas, lo que indica que la estructura de bajo ángulo, actuó parcialmente como falla extensional durante su movimiento. La existencia de granates sintectónicos en salbandas milonitizadas, asociadas al stock microgranítico del Portezuelo Cucharas, indica que la estructura estuvo por lo menos activa durante el emplazamiento del intrusivo (ca. 110 Ma.).

Al oeste del valle, existe otra falla extensional, representada por la zona de cizalle Ojancos-La Florida, expuesta como una franja de rocas miloníticas, de manteo moderado (50°-60°) al sureste, en el borde Suroriental del plutón monzodiorítico San Gregorio. Asimismo, la coexistencia de venillas pre y post cinemáticas de monzodioritas, indican que esta estructura habría estado activa también a los ca. 111 Ma., momento del emplazamiento del plutón (Arévalo, 2005). En la zona existen diversas fallas de rumbo con desplazamiento principal de carácter sinestral (NS–NNW), con estructuras subsidiarias (por ejemplo fracturas Riedel y fracturas P). El desplazamiento de estas fallas es sincrónico con las estructuras contraccionales antes mencionadas (Arévalo, 1999).

Un sistema estructural de faja corrida y plegada de Paipote, desplaza y deforma las secuencias del Cretácico Inferior a lo largo de la Quebrada Paipote y del valle del río Copiapó, dando origen al rasgo más importante de la zona, conocido como el Anticlinal de Tierra Amarilla (Segerstrom et al., 1963), el cual es del tipo abierto y con eje de rumbo NNE, con flancos de inclinación variable entre 20° y 30°. Esta estructura pliega al Grupo Chañarcillo, y es el reflejo de eventos contraccionales, en el traslape con los sistemas de fallas Paipote y Chañarcillo ambos de rumbo NNE y que cortan a las formaciones del Grupo Chañarcillo (Arévalo, 1999; Charrier et al., 2007). Esta megaestructura se habría formado durante un episodio de transpresión sinestral, en el Cretácico Superior temprano, que coincide con la fase de deformación Peruana (Arévalo, 2005).

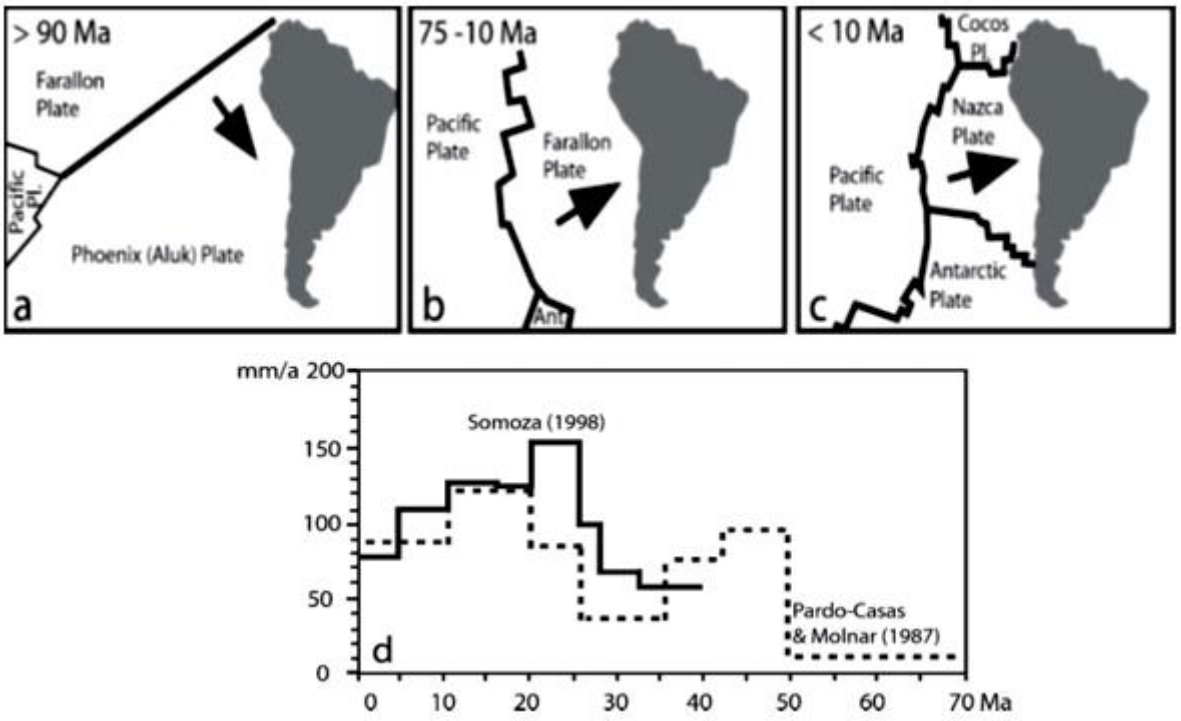

Figura 6-2 Geometría de placas tectónicas

Desde principios del Cretácico Superior (a), Cretácico superior al Mioceno tardío (b) y Mioceno tardío hasta el presente (c); tomada de Scheuber et al. (1994) y Reutter (2001). La diferencia de oblicuidad entre (a) y (b) explica los diferentes movimientos a lo largo de la Zona de Falla de Atacama, en el Jurásico a los primeros tiempos del Cretácico (sinestral) y en los tiempos del Cretácico Tardío (dextral). (d) Gráfico de la tasa de convergencia del Cenozoico entre la placa Farallón, Nazca y Sudamericana, según Pardo-Casas y Molnar (1987) y Somoza (1998) (Tomado de Charrier, 2007).

6.3 MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

Según el marco geográfico y morfoestructural del área de influencia del proyecto, este se encuentra en la sección denominada Norte Chico, específicamente en la zona de transición entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia, en la coordenada UTM 6.971.700 N, referidas al Datum WGS84, Zona 19S. En esta zona se reconocen 6 grandes unidades geomorfológicas (Paskoff, 1970; Figura 6-3), las cuales son descritas a continuación.

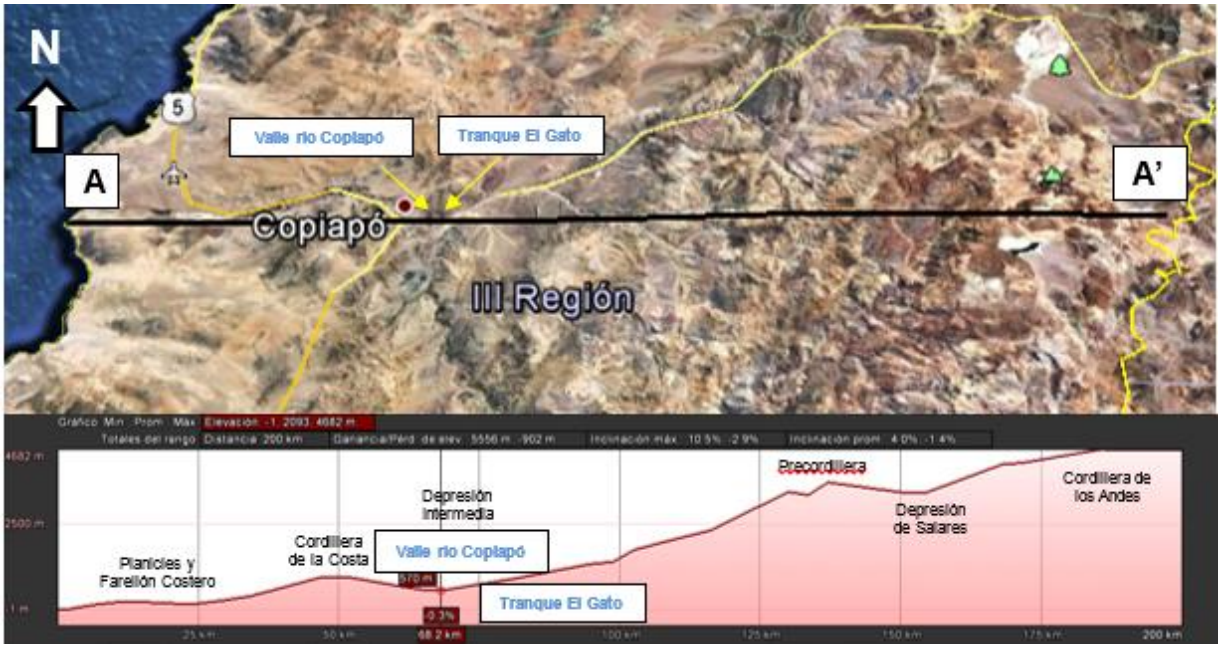

Figura 6-3 Marco geomorfológico de la coordenada 6.971.700 N. A través del perfil A-A', se aprecian las macroformas definidas por Paskoff, 1970 (imagen tomada de Google Earth).

6.3.1 Planicies Litorales y Farellón Costero

Corresponde a la sección comprendida por una costa rocosa baja, detrás de la cual se extienden terrazas marinas de abrasión. Tienen un ancho que puede alcanzar unos pocos km (máximo 5 km) y suelen elevarse hasta los primeros 200 m.s.n.m. Resultan de la interferencia entre las variaciones eustáticas del nivel del mar entre el Plioceno-Cuaternario y la tendencia del solevantamiento de la costa. Engranan cerca de las desembocaduras de los grandes ríos con terrazas fluviales, como se puede apreciar particularmente en el caso del rio Copiapó. En general, en la parte oriental de las planicies litorales se aprecia un prisma de depósitos no consolidados a semi consolidados, conformado por conos de talud anastomosados y escombros de falda. Hacia el borde costero se desarrollan suelos de depósitos litorales con espesores inferiores a 10 m. El borde costero se presenta abrupto, a excepción de las zonas en donde se han desarrollado playas actuales; en esos sectores el relieve desciende suavemente hasta el borde de la costa y ocasionalmente aparecen escollos o rompientes.

6.3.2 Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa se presenta como un macizo conformado por una serie de cordones montañosos de orientación preferente norte-sur y valles transversales con orientación NNE, labrados en rocas antiguas y cortadas por el rio Copiapó. Generalmente las cumbres de dichos cordones son suaves y con alturas que varían entre los 700 a 1400 m.s.n.m. Las alturas de los cerros aumentan gradualmente hacia el este hasta llegar al límite con la Depresión

Intermedia. En su borde occidental, el Farellón Costero, que la limita con las planicies litorales, tiene alturas entre 400 a 700 m en promedio, aun cuando en algunos sectores el borde del Farellón costero no tiene más de 290 m de altura. El ancho promedio de la Cordillera de la Costa varía, a esta latitud, entre unos 35 a 68 km.

6.3.3 Valle Longitudinal o Depresión Intermedia

Se trata de una zona de depresión y discontinuidad ubicada entre la Cordillera de la Costa y la Precordillera con un ancho promedio de unos 10 km. Este valle, que ha sido rellenado con productos de un importante vulcanismo y de la erosión en ambas cordilleras, ha adquirido un aspecto de llanura por efecto del modelamiento llevado a cabo por acción glaciar, eólica e hídrica. Esta macroforma se ve interrumpida por acción de los valles transversales en la región de Atacama y Coquimbo.

6.3.4 Precordillera

Constituye el límite oeste del Macizo Andino, con un ancho variable entre 35 y 60 km; corresponde en su mayor parte a una sucesión de sierras orientadas NNE y que van aumentando rápida y progresivamente en altura a medida que se ubican más hacia el este. En el eje mencionado, la Precordillera conforma el primer y más notorio escalón que da paso a la Depresión Intermedia, también conocida más al sur como depresión de Los Salares.

La Precordillera presenta un relieve asimétrico, ya que mientras su parte occidental corresponde en gran parte a una amplia ladera que se inicia a los 4000 a 4500 m.s.n.m. y termina hundiéndose bajo el suelo de la Depresión Intermedia y los valles transversales a los 1400 m.s.n.m. La ladera oriental en cambio, corresponde una zona más estrecha, de poca pendiente y de relieve muy suave, llegando en su base a no menos de los 3700 m.s.n.m.

6.3.5 Depresión de los Salares

Se trata de una zona de depresión y discontinuidad ubicada entre la Precordillera y la Cordillera de Los Andes, logrando un ancho promedio de unos 10 km y un nivel de base de 3750 a 3800 m.s.n.m. Esta zona incluye una serie de cuencas endorreicas cubiertas por rocas piroclásticas. En esta unidad geomorfológica, es característico encontrar cordones transversales que interrumpan esta Depresión, uniendo la Cordillera de Los Andes y la Precordillera, dando origen a valles que van desde el este al oeste, los que forman a su vez valles fluviales. Esta Depresión presenta un relieve áspero, con grandes diferencias de altura entre los fondos de las Quebradas que la atraviesan y las cuencas intramontañas, respecto de las cimas de los volcanes que son característicos de esta unidad a estas latitudes.

6.3.6 Cordillera de los Andes

La Cordillera de Los Andes en el norte chico se presenta al este de la depresión de los salares, a gran altura geográfica (entre 5000 y 6900 m.s.n.m.). Se destaca por la presencia del

Altiplano, cuyas rocas son de origen volcánico y se presentan como grandes valles recubiertos completamente por lava, impidiendo el crecimiento de vegetación en este sector. Hacia el este, el altiplano está constituido por numerosos volcanes cenozoicos, los cuales marcan la ubicación de la Cordillera Principal.

6.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Aguirre et al (1999) definió unidades hidrogeológicas para la cuenca del río Copiapó entre el Embalse Lautaro y Piedra Colgada. Las unidades hidrogeológicas fueron definidas a partir del comportamiento y potencial hidrogeológico de las unidades geológicas existentes. En general, se puede identificar dos grupos: el relleno sedimentario de gran atractivo hidrogeológico y el basamento rocoso indiferenciado prácticamente impermeable (Figura 6-4). A partir de la importancia hidrogeológica de las unidades se han definido los siguientes acuíferos:

6.4.1 Acuífero de gran importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados:

Esta unidad incluye los depósitos fluviales, fluviales de cauces actuales y secuencias del tipo sobreyacidas e intercaladas por depósitos fluviolacustres. Se ubican a lo largo y ancho del valle del río Copiapó y en las confluencias de éste con las quebradas que lo tributan.

6.4.2 Acuíferos de importancia hidrogeológica media a baja en depósitos no consolidados:

Corresponden a depósitos no consolidados, porosos y permeables, que carecen de continuidad en los procesos de recarga, cuando ella ocurre, fundamentalmente es por efecto de repentinas y esporádicas lluvias. Esta característica, en conjunto con el escaso volumen que en general presentan estos depósitos, le confiere una importancia hidrogeológica media a baja con respecto al resto de las unidades hidrogeológicas del valle. Las unidades incluyen a los depósitos fluvioaluviales y a los depósitos de conos aluviales.

6.4.3 Acuíferos locales de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada:

Unidad definida a partir de la presencia de agua en rocas fracturadas de la Formación La Ternera y acumulación de agua a partir de recargas pluviales en el pasado, el potencial hidrogeológico de esta unidad se puede clasificar como medio a bajo. Las zonas acuíferas están asociadas a permeabilidad primaria y/o secundaria, en donde las fracturas horizontales juegan un importante papel en la transmisión del agua.

6.4.4 Acuíferos locales de baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados a semiconsolidados:

Agrupa los siguientes tipos de depósitos: 1) depósitos de dunas: ocupan áreas de reducida extensión apoyadas sobre basamento rocoso y se consideran de baja importancia por su

escasa capacidad de retener agua; 2) depósitos de conos de deyección: poseen altas pendientes y gruesa granulometría, por lo que posee baja capacidad de retención y por consiguiente se consideran de baja importancia; 3) depósitos de flujos de barro y/o detríticos: son considerados de baja importancia por su reducido alcance real, gran heterogeneidad litológica, dominio de sedimentos con abundantes finos intersticiales y restricciones morfológicas para experimentar recarga; 4) depósitos fluviales a fluvioaluviales de terrazas antiguas: considerados de baja importancia por su compactación moderada a alta que otorga la característica de baja permeabilidad; y 5) depósitos de flujos aluviales antiguos: que están compactos y cementados por lo que poseen baja porosidad y permeabilidad, por consiguiente baja importancia hidrogeológica.

6.4.5 Acuíferos locales de baja a nula importancia hidrogeológica en rocas:

Predominio de rocas prácticamente impermeables conlleva la clasificación como baja a nula importancia. Lo componen el basamento rocoso del valle del río Copiapó, depósitos de flujos de barro y detritos, a los depósitos fluviales a fluvioaluviales de terrazas antiguas, y a los depósitos de flujos aluviales antiguos. Posibles acuíferos se encontrarían en rocas porosas y/o fracturadas con adecuada interconexión hidráulica, pero con reducidas y en ocasiones esporádicas fuentes de recarga.

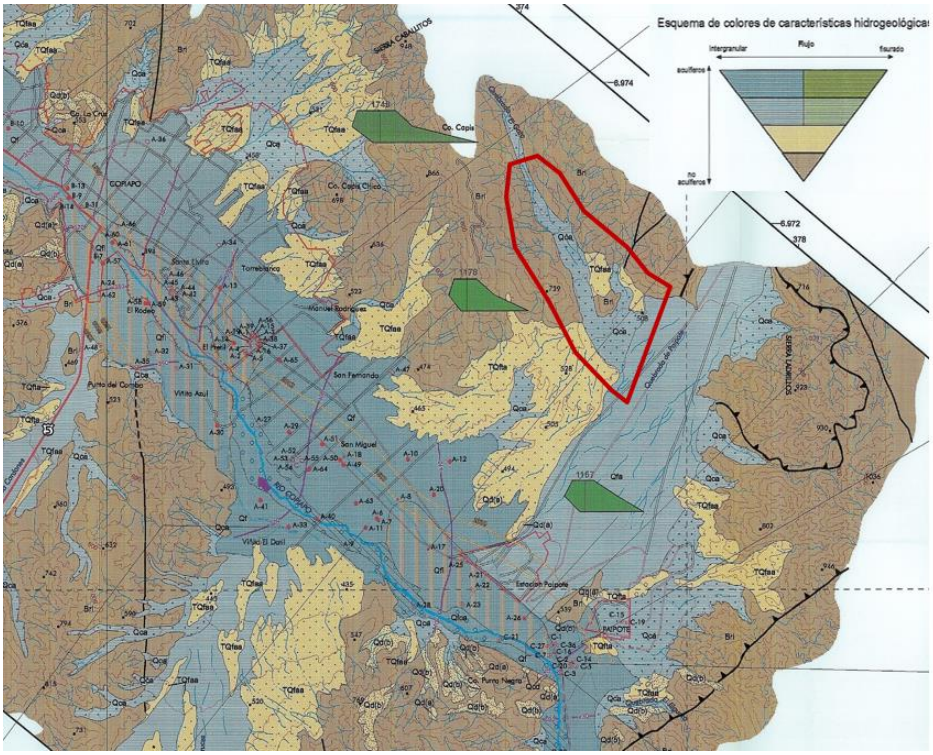

Figura 6-4 Mapa Hidrogeológico del río Copiapó, confluencia Quebrada Paipote – Río Copiapó, en polígono rojo Quebrada El Gato, área de estudio (Modificado de Aguirre et al, 1999).

7 MARCO LOCAL

7.1 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

La geología del área de estudio se caracteriza por presentar unidades sedimentarias marinas estratificadas y rocas volcano-sedimentarias del Cretácico inferior, además de depósitos aluviales no consolidados a semiconsolidados del Mioceno-Pleistoceno al Holoceno. Los depósitos no consolidados a semiconsolidados constituyen el relleno sedimentario de la Quebrada El Gato, mientras que las rocas estratificadas conforman los rasgos litológicos de los cerros y del basamento de la misma Quebrada (Figura 7-1).

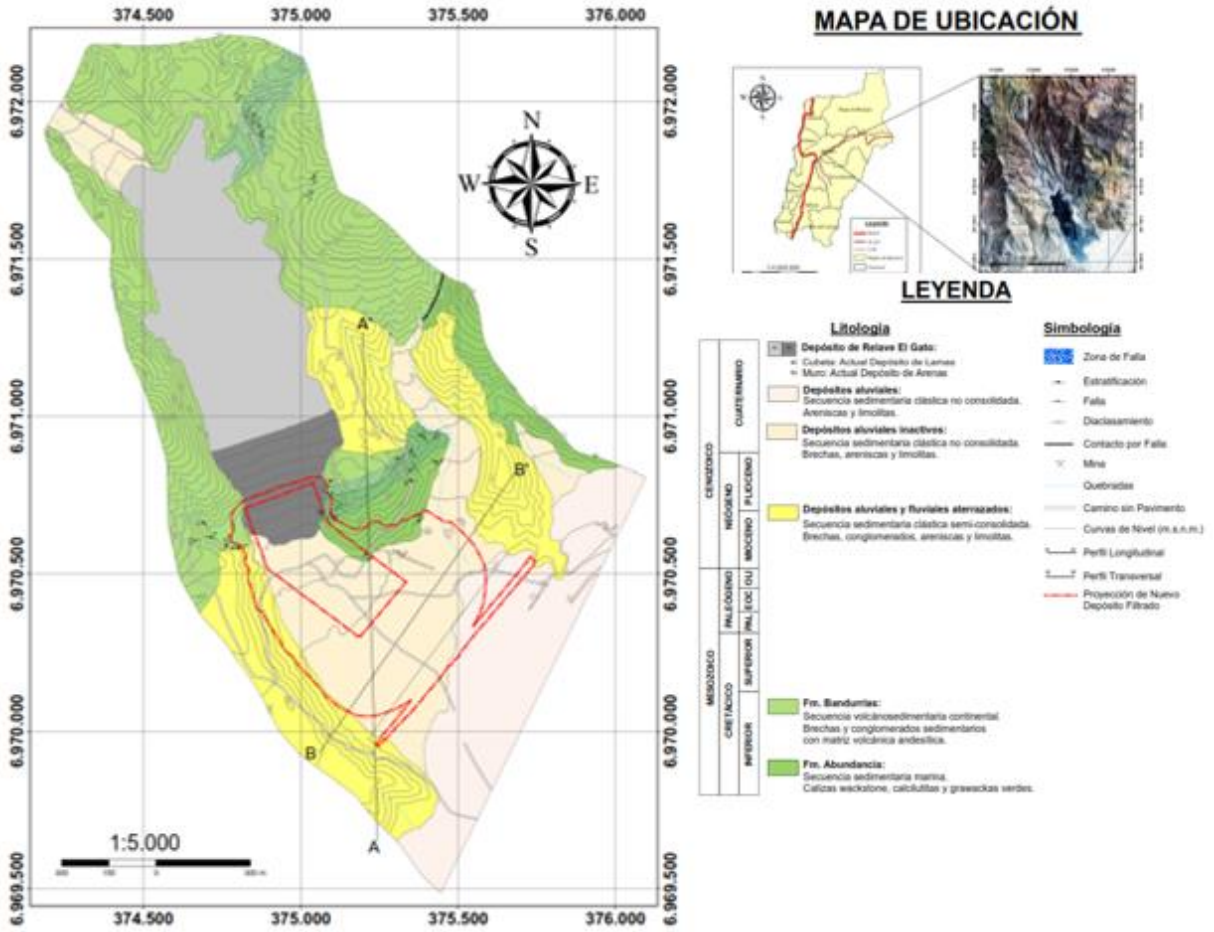

Figura 7-1 Geología de la Quebrada El Gato

7.1.1 Unidades Estratificadas

En el área de estudio, se reconocen dos unidades geológicas estratificadas consolidadas y tres unidades estratificadas no consolidadas. Las rocas consolidadas son las unidades más antiguas del sector y se ubican en las laderas laterales del Tranque de Relaves El Gato,

mientras que las unidades no consolidadas a semiconsolidadas se encuentran aguas abajo del muro del Tranque existente y en la parte norte de la cubeta del mismo (Figura 7-1).

Formación Abundancia (Valanginiano Superior)

Definición y relaciones estratigráficas: En el área de estudio esta unidad sedimentaria aflora en el margen sureste de la Quebrada El Gato. Su disposición es alargada con rumbo preferencial noreste y ocupa un área aproximada de 147 m^2, siendo la unidad consolidada de menor distribución del sector. Durante la campaña de terreno, se observó que esta unidad se encuentra sobreyacida en contacto por falla, por rocas de la Formación Bandurrias, sobreyacida en contacto discordante por el actual Tranque de Relaves El Gato y sobreyacida en contacto erosivo por los depósitos aluviales no consolidados y semiconsolidados. Esta formación está cortada por un set de diaclasas, fallas y zonas de fallas de alto grado de fracturamiento. Esta unidad consolidada posee una gran relevancia respecto a la posición en donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrado, ya que en caso de depositar relaves filtrados sobre la roca y su zona de falla (parte NE del nuevo depósito de relaves, ver Figura 7-1) se deberán tomar las precauciones técnicas adecuadas durante la ingeniería del proyecto.

Litología: Esta unidad está conformada por una secuencia rítmica de calizas wackstone, calcilutitas y grauvacas verdes, que se disponen en capas continuas, gradadas hacia el techo y que en algunos casos se puede apreciar con una leve laminación en los sedimentos más finos, seudonódulos carbonáticos alargados paralelos a la estratificación y bioturbaciones perpendiculares a la estratificación (Figura 7-2).

Edad: Según la relación de contactos y dataciones en ammonites, la Formación Abundancia es la unidad sedimentaria más antigua de la Quebrada El Gato, ya que su data se estima en el Valanginiano Superior (Segerstrom y Ruiz, 1962; Morgues, 2001; Arévalo, 2005).

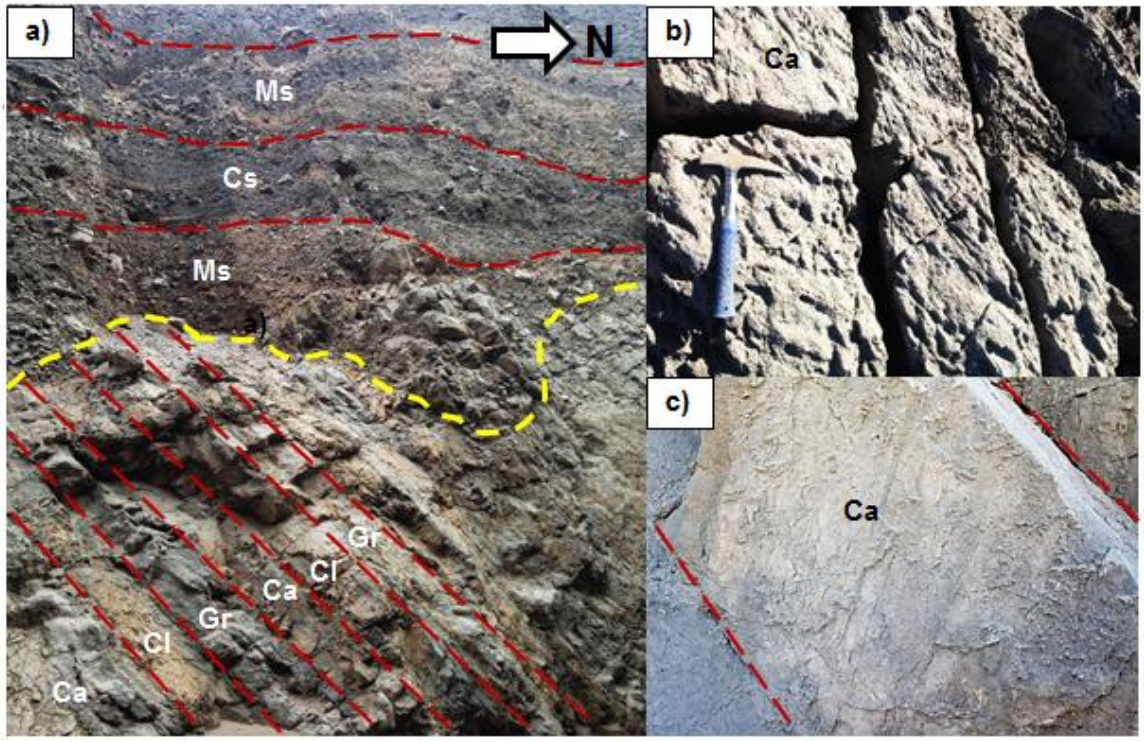

Figura 7-2 a) Formación Abundancia, compuesta por secuencia rítmica de calizas (Ca), calcilutitas (Cl) y grauvacas verdes (Gr) estratificada de forma inclinada, en contacto erosivo con el depósito aluvial inactivo, compuesto por secuencia de brechas con matriz soportada (Ms) y clasto soportado (Cs). b) Calizas (Ca) con bioturbaciones fuertemente fracturadas. c) Calizas (Ca) con bioturbaciones perpendiculares a la estratificación. Las líneas segmentadas rojas, representan la estratificación de la roca.

Formación Bandurrias (Hauteriviano-Aptiano Inferior)

Definición y relaciones estratigráficas: En el área de estudio esta unidad sedimentaria aflora en el margen noreste y suroeste de la Quebrada El Gato. Su disposición es alargada con rumbo preferencial noreste y ocupa un área aproximada de 700 m^2, siendo la unidad consolidada de mayor distribución del sector. Durante la campaña de terreno, se observó que esta unidad se encuentra subyacida en contacto por falla, por rocas de la Formación Abundancia, sobreyacida en contacto discordante por el actual Tranque de Relaves El Gato y sobreyacida en contacto erosivo por los depósitos aluviales no consolidados, además de ser cortada por un set de diaclasas, fallas y zonas de fallas de alto potencial de fracturamiento. Esta unidad consolidada posee una leve relevancia respecto a la posición en donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrado, ya que parte del relave, será depositado sobre una fracción de esta roca y su zona de falla (parte NE del nuevo depósito de relaves, ver Figura 7-1).

Litología: Esta unidad se compone en su base por una secuencia volcánica sedimentaria de areniscas, brechas y conglomerados gruesos de matriz volcánica andesítica, en la que se

intercalan subordinadamente hacia techo por coladas de lava andesíticas y areniscas grises (Figura 7-3).

Edad: Según la relación concordante de la Formación Bandurrias sobre la Formación Abundancia de edad Valanginiana superior (fuera del área de estudio) y las capas rojas con *Paranciloceras gr. Domeykanus* de edad Barremiana tardía-Aptiana temprana, permiten asignar a la Formación Bandurrias un rango de edad que va entre el Hauteriviano y el Aptiano inferior (Arévalo, 2005). Siendo la unidad consolidada más joven que aflora en la Quebrada El Gato.

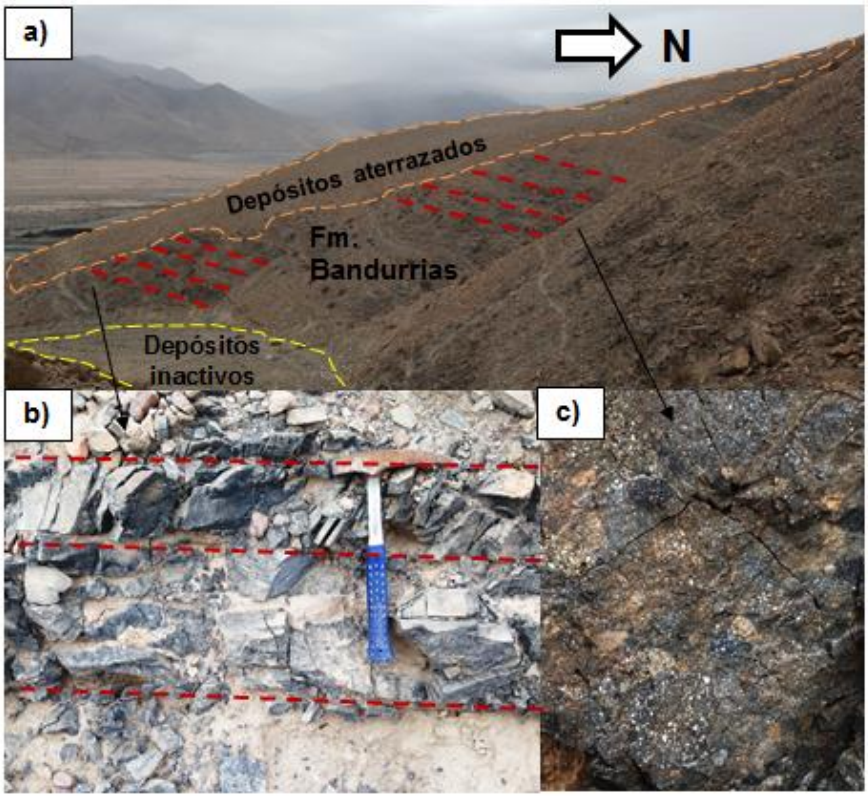

Figura 7-3 a) Formación Bandurrias, compuesta por secuencia volcanosedimentaria en contacto erosivo con depósito aluvial y fluvial aterrazado. b) Secuencia de areniscas grises. c) Roca volcanosedimentaria compuesta por clastos polimícticos redondeados con matriz volcánica andesítica. Las líneas segmentadas rojas, representan la estratificación de la roca.

7.1.2 Depósitos No Consolidados a Semiconsolidados

Depósitos Aluviales y Fluviales Aterrazados (Mioceno superior-Plioceno)

Definición y relaciones estratigráficas: Depósitos sedimentarios semiconsolidados aterrazados, que se constituyen desde techo a base por conos aluviales, depósitos coluviales, llanuras de inundación y depósitos fluviales adosados a zonas topográficamente altas. En el

área de estudio esta unidad sedimentaria se encuentra representado por tres unidades geométricamente muy similares, las cuales se ubican en el margen este y suroeste de la Quebrada El Gato. Su disposición nace desde los pies de los afloramientos estratificados con suaves pendientes que van desde norte a sur, ocupando un área aproximada de 455 m^2, siendo la única unidad semiconsolidada con gran distribución en la parte media a baja del área de estudio. Durante la campaña de terreno, se observó que esta unidad se encuentra subyacida en contacto erosivo por las Formaciones Abundancia y Bandurrias, además de ser cortada y sobreyacida en contacto concordante por el actual Tranque de Relaves El Gato y subyacida en contacto erosivo por los depósitos aluviales no consolidados inactivos. Esta unidad semiconsolidada posee una gran relevancia respecto a la posición en donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrado, ya que parte del relave, será depositado sobre una gran porción de este material (margen oeste del nuevo depósito de relaves, ver Figura 7-1).

Litología: Esta unidad se compone por niveles aluviales y fluviales semiconsolidados por la cementación del yeso en casi la totalidad del material. Esta secuencia sedimentaria ha sido dividida desde su base a techo por: el miembro inferior, miembro intermedio y miembro superior (Figura 7-4), las cuales serán definidas a continuación:

a) El Miembro inferior: Se asocia a eventos fluviales de media a baja energía, ya que está compuesta por 15 m de conglomerados polimícticos semiconsolidados de gravas centimétricas redondeadas a subredondeados, moderadamente seleccionados, clasto soportado y que cuya matriz se compone principalmente de arena y arcillas de alto grado de compactación, provisto por la cementación de yeso. En superficie no se logra observar el contacto con el basamento que subyace a este material. Sin embargo, esta información será corroborada por los perfiles geofísicos y sondajes que se han programado en segunda etapa de exploración geológica.

b) El Miembro intermedio: Se asocia a eventos fluviales y aluvionales de alta energía, ya que están compuestos por 20 m de paraconglomerados polimícticos semiconsolidados decimétricos subredondeados, mal seleccionados y que cuya matriz es de arena, limos y arcillas de alto grado de compactación, provisto por la cementación de yeso.

c) El Miembro superior: Se relaciona a eventos aluvionales y coluviales, debido a que está compuesto por 20 m de brechas polimícticas semiconsolidadas centimétricas subangulares a subredondeadas, muy mal seleccionadas y que cuya matriz es de arena, limos y arcillas de alto grado de compactación, provisto por la cementación de yeso. Sobre este miembro se encuentra una cubierta sedimentaria no consolidada de 1 m de espesor, la cual es separada por una capa de 10 cm de yeso, que separa lo semiconsolidado de lo consolidado.

Edad: Si bien no existen dataciones realizadas en muestras obtenidas del depósito, relaciones estratigráficas con depósitos volcánicos y sedimentarios de similares características han conllevado otorgarle un rango de edad Mioceno Tardío-Plioceno (Arévalo, 2005).

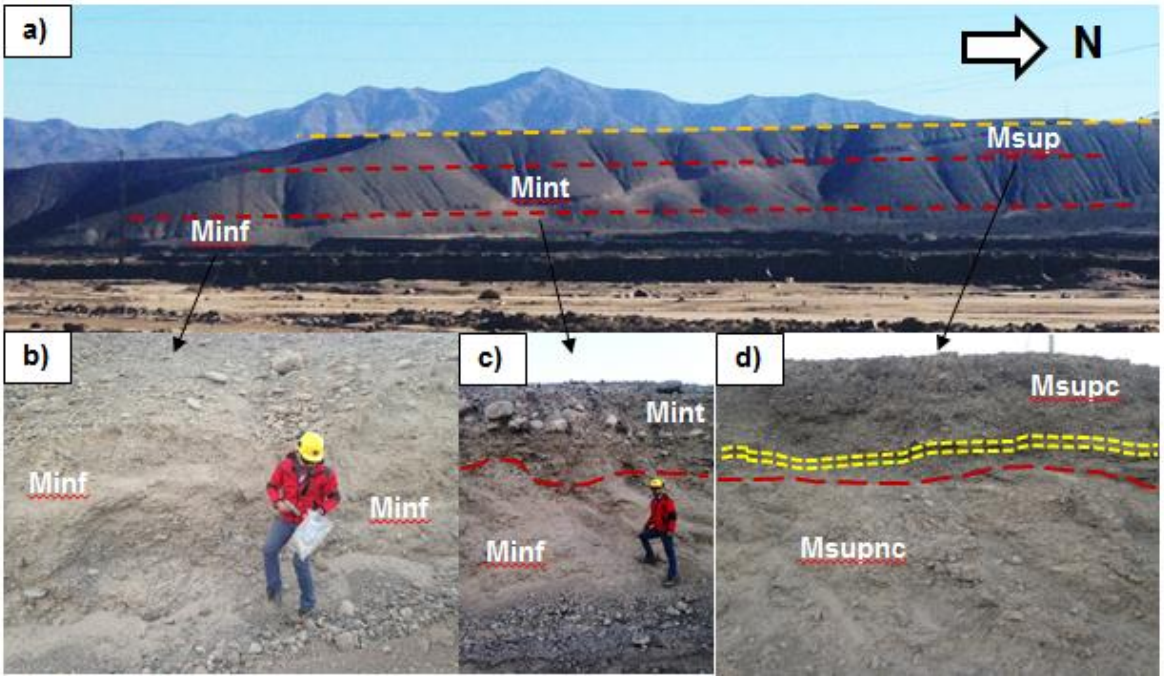

Figura 7-4 a) La línea segmentada roja representa los contactos entre los diferentes miembros de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. La línea naranja representa el techo de la terraza del depósito sedimentario semi consolidado. b) Miembro inferior (Minf) de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. c) Contacto erosivo entre el Miembro inferior (Minf) y el Miembro intermedio (Mint) de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados. d) Miembro superior, compuesto por depósitos aluviales no consolidados (Msupc) hacia techo y depósitos aluviales semiconsolidados (Msupnc) hacia la base. La línea amarilla representa la capa de 10 cm de yeso que separa lo consolidado de lo semiconsolidado del techo del miembro superior de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados.

Depósitos Aluviales Inactivos (Pleistoceno-Holoceno)

Definición y relaciones estratigráficas: Depósitos sedimentarios no consolidados inactivos, que se constituyen desde su base a techo por depósitos aluviales a llanuras de inundación. En el área de estudio esta unidad sedimentaria se encuentra ubicada principalmente a lo largo de la Quebrada El Gato, específicamente en la parte sur del actual Tranque de Relaves El Gato, como por debajo de este. Su disposición nace desde los pies de algunos afloramientos estratificados y de depósitos semiconsolidados con pendientes subhorizontales que van desde norte a sur, ocupando un área aproximada de 936 m^2, siendo la unidad no consolidada con mayor distribución del área de estudio. Durante la campaña de terreno, se observó que esta unidad se encuentra subyacida en contacto erosivo por las Formaciones Abundancia y Bandurrias, además de ser cortada y sobreyacida en contacto concordante por el actual Tranque de Relaves El Gato y subyacida en contacto erosivo por los depósitos aluviales no consolidados. Esta unidad no consolidada posee una gran relevancia respecto a la posición en donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrado, ya que la mayor parte del

relave, será depositado sobre este material (parte central y lateral del nuevo depósito de relaves, ver Figura 7-1).

Litología: Esta unidad está compuesta por brechas polimícticas no consolidadas de gravas centimétricas subredondeadas, moderadamente seleccionadas, clasto soportado y que cuya matriz se compone principalmente de arena gruesa, con intercalaciones de brechas polimícticas no consolidadas de gravas centimétricas subangulares, pobremente seleccionadas, matriz soportado y que cuya matriz se compone principalmente de arena, limo y arcillas. La formación de estos depósitos se produce por la acumulación de flujos gravitacionales densos (flujos de detritos) aguas abajo de las zonas más altas de la Quebrada, siendo rellenadas la mayor parte de esta Quebrada. Estos flujos se producen por episodios de precipitación anómalos, esporádicos pero de gran intensidad (Arévalo, 2005). En la parte posterior norte de la cubeta del Tranque de Relaves se observa que este material posee una altura de 4 m, mientras profundizando en obra a profundidad, se logra observar 10 m de potencia desde el basamento al techo de este material, quedando en interrogante la profundidad de este relleno a medida que se avanza aguas abajo de la Quebrada El Gato (Figura 7-5). Esta información será corroborada por los perfiles geofísicos y sondajes que se han programado para la segunda etapa de exploración geológica.

Edad: Estos depósitos poseen una edad pleistocena a holocena, ya que erosionan unidades continentales del Mioceno-Plioceno (Arévalo, 2005).

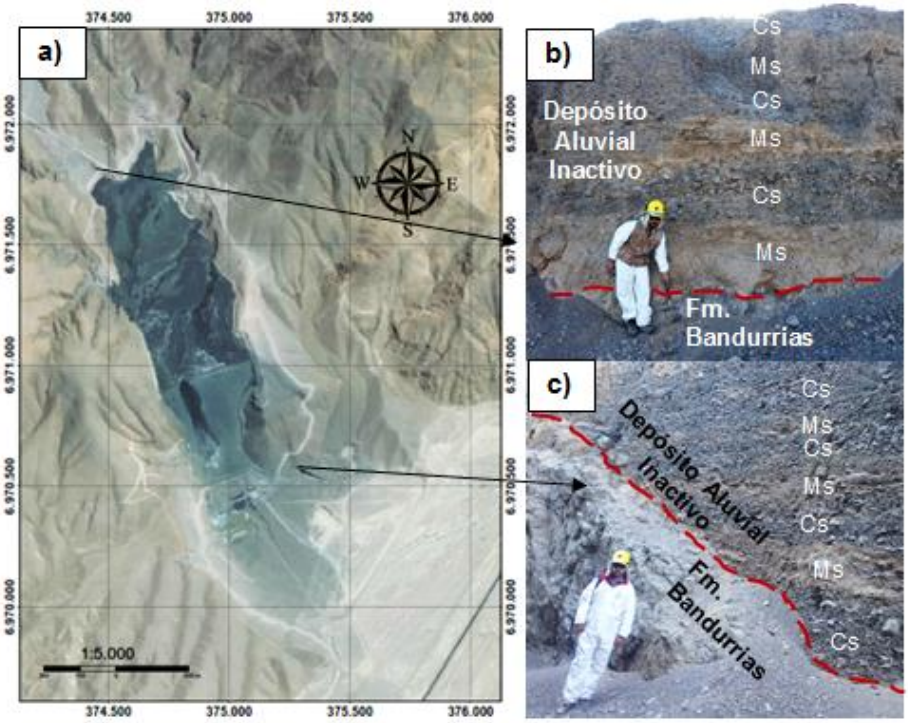

Figura 7-5 a) Vista en planta de Quebrada el Gato (tomada de Google Earth). b) Contacto erosivo entre el depósito aluvial inactivo y la Fm. Las Bandurrias. El depósito aluvial presenta intercalaciones de sedimentos de clasto soportado (cs) con sedimentos matriz soportado (ms). c) Contacto erosivo entre el depósito aluvial inactivo y la Fm.

Abundancia. El depósito aluvial presenta intercalaciones de sedimentos de clasto soportado (cs), con sedimentos de matriz soportado (ms).

Depósito Aluvial Activo (Holoceno-Actualidad)

Definición y relaciones estratigráficas: Depósitos sedimentarios no consolidados, que se constituyen por depósitos aluviales y llanuras de inundación provenientes de la Quebrada Paipote. En el área de estudio esta unidad sedimentaria se encuentra ubicada principalmente a lo largo de la Quebrada Paipote, específicamente en la parte baja de la Quebrada El Gato. Su disposición suroeste nace desde las partes altas de la Quebrada Paipote hasta los pies de la Quebrada El Gato, ocupando un área aproximada de 345 m^2, siendo la unidad no consolidada con menor distribución del área de estudio, pero de gran distribución superficial sobre la cuenca de Paipote y del Copiapó. Durante la campaña de terreno, se observó que esta unidad se encuentra subyacida en contacto erosivo por las Formaciones Abundancia y Bandurrias y subyacida en contacto erosivo e interdigitado por los depósitos aluviales inactivos no consolidados. Esta unidad no consolidada posee una leve relevancia respecto a la posición en donde se desea emplazar el nuevo depósito de relaves filtrado, ya que parte del relave, será depositado sobre una fracción de este material (parte sureste del nuevo depósito de relaves, ver Figura 7-1).

Litología: Esta unidad está compuesta por brechas polimícticas no consolidadas de gravas centimétricas angulares, mal seleccionadas, matriz soportado y que cuya matriz se compone principalmente de arena, limos y arcillas. La mezcla caótica de fragmentos de tamaño grava en una matriz de arena de diversos tamaños hasta partículas de tamaño limo y arcilla (Lorca, 2012), es atribuido por la acumulación de flujos gravitacionales densos (flujos de detritos) aguas abajo de las zonas más altas, rellenando cursos disecados en los depósitos anteriores y activándose por medio de episodios de precipitación anómalos, esporádicos de gran intensidad (Arévalo, 2005). Según proyectos anteriores, este material rellena casi la totalidad de la Quebrada Paipote, encontrándose en la parte baja de la Quebrada El Gato, espesores máximos de 150 m sobre el basamento rocoso. Esta información será corroborada por los perfiles geofísicos y sondajes que se han programado en la segunda etapa de exploración geológica.

Edad: Estos depósitos poseen una edad pleistocena a holocena, ya que erosionan unidades continentales del Mioceno-Plioceno y se encuentran actualmente activos (Arévalo, 2005), siendo evidenciados por el aluvión ocurrido en la Quebrada Paipote en marzo del año 2015.

7.2 MARCO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL

Las estructuras geológicas presentes en el área de estudio, corresponden principalmente a: zonas de fallas, estratificación y planos de fallas, las cuales afectan solo a las unidades estratificadas consolidadas.

7.2.1 Zonas de Falla

En el área de estudio se han identificado dos zonas de fallas con alto grado de fracturamiento, las cuales se encuentran afectando a las rocas estratificadas consolidadas en la parte norte y sur de la Figura 7-6a.

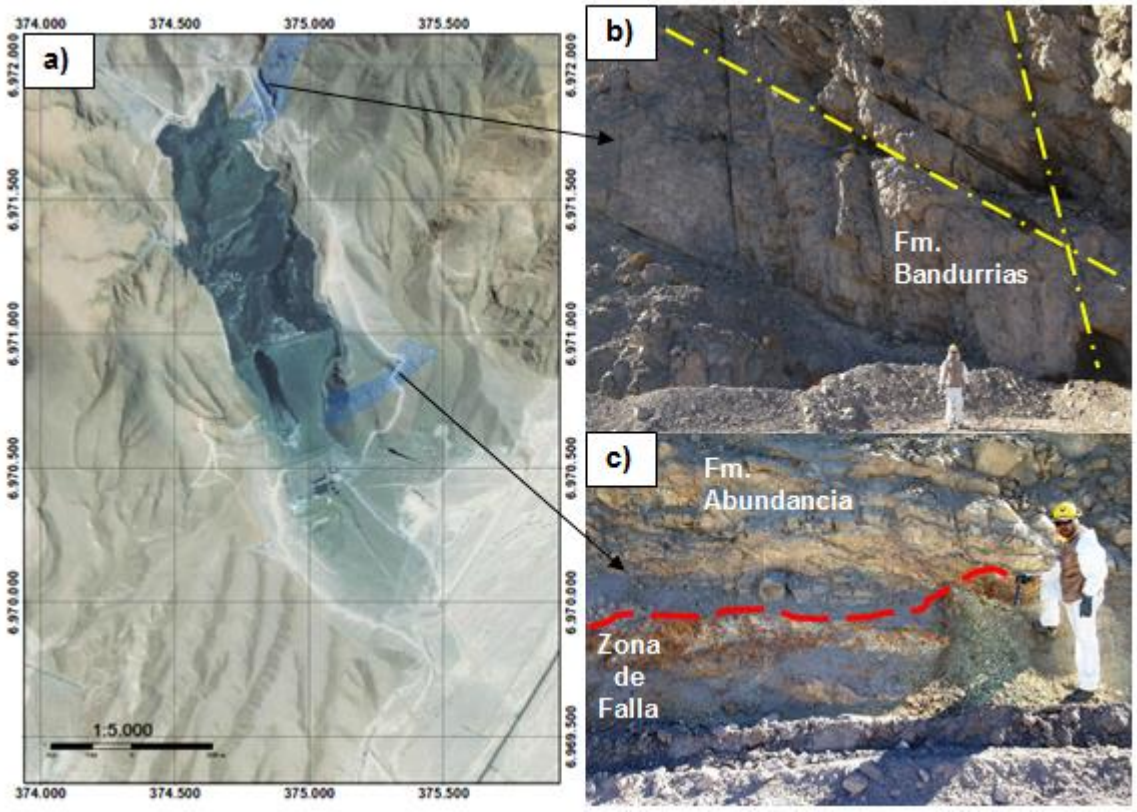

Figura 7-6 a) Ubicación de zonas de Falla. b) Fm. Bandurrias afectada por set de diaclasas. c) Fm. Abundancia afectada por una zona de falla con alto contenido en arcilla y salbanda.

La zona de falla ubicada en la parte norte de la Figura 7-6a, se encuentra afectando considerablemente a la Fm. Bandurrias con un rumbo preferencial N30E. Esta franja posee un ancho de 135 m por 445 m de largo aproximadamente, caracterizándose especialmente por una falla de plano F: 145/20 (sin observar criterios cinemáticos) y tres set de familias de diaclasas D1: 144/86 y D2: 180/60 y D3: 117/30, que han sido identificadas en superficie. El conjunto de estas estructuras hacen que la roca volcano-sedimentaria se comporte de manera inestable, ya que la intersección entre estas estructuras hace posible la formación de cuñas y bloques colgados que ayudan al aumento de la permeabilidad de la roca en este sector.

La zona de falla ubicada en la parte sur de la Figura 7-6a, se encuentra afectando parte del contacto de la Fm. Abundancia y Bandurrias con un rumbo preferencial N55E. Esta franja posee un ancho de 130 m por 487 m de largo aproximadamente, caracterizándose especialmente por una zona de falla de plano F: 325/70 (sin observar criterios cinemáticos) y dos set de familias de diaclasas D1: 290/80 y D2: 245/87, que han sido identificadas en

superficie y en obra de profundización. Cabe mencionar, que la zona superficial posee un alto grado de fracturas, las cuales son rellenadas por vetillas de cuarzo y calcita, además de un alto contenido en arcilla y salbanda. Su zona a profundidad en cambio (70 m bajo la superficie aproximadamente), además de presentar los mismos rellenos mineralógicos en sus fracturas, se destaca la presencia de agua y pequeñas estalactitas que caen desde el techo al piso de la labor minera.

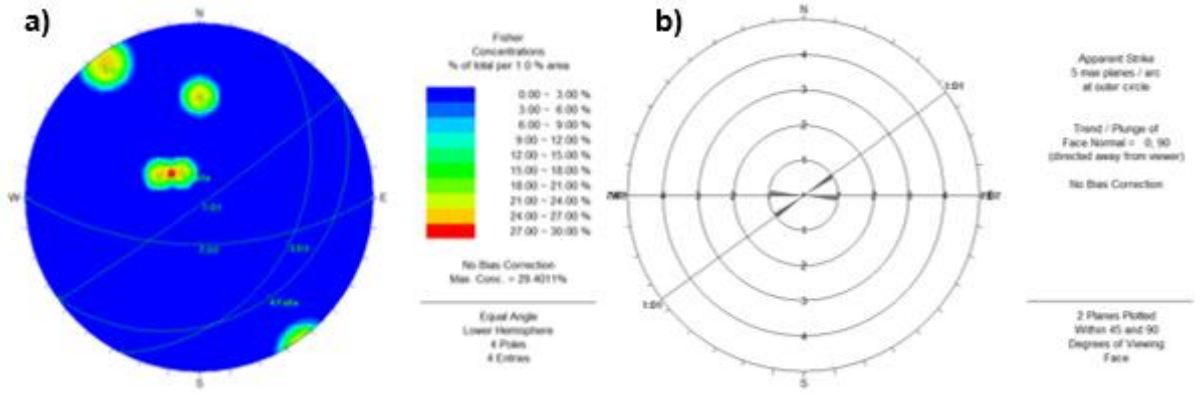

Figura 7-7 a) Gráfica Contour zonas de falla. b) Gráfica Rosette zonas de falla.

7.2.2 Estratificación

En general los planos de estratificación medidos no muestran un polo de concentración preferente en la gráfica “Contour”. La mayor concentración de datos (tonalidad naranja) indica un dirección preferente 208/75. Los planos de estratificación de acuerdo a la gráfica “Rosette” se orientan en un rango de rumbos de N19°E – N30°E, y en menor medida en un rango de N39°E –S42°E. Esta variación estructural se debe a que los estratos se encuentran afectados por múltiples pliegues que no se pueden observar en terreno claramente.

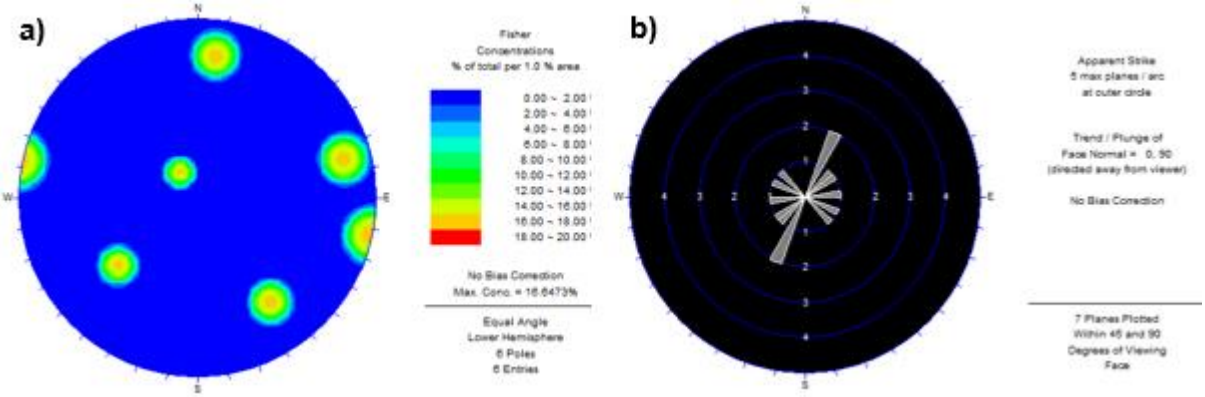

Figura 7-8 a) Gráfica Contour datos de estratificación. b) Gráfica Rosette datos de estratificación.

7.2.3 Planos de Falla

En general los planos de falla medidos no muestran un polo de concentración preferente, prácticamente existen fallas en todos los sentidos y direcciones. Lo anterior indicaría que las fallas medidas son de tipo secundarias, generadas a partir del desplazamiento de fallas regionales principales.

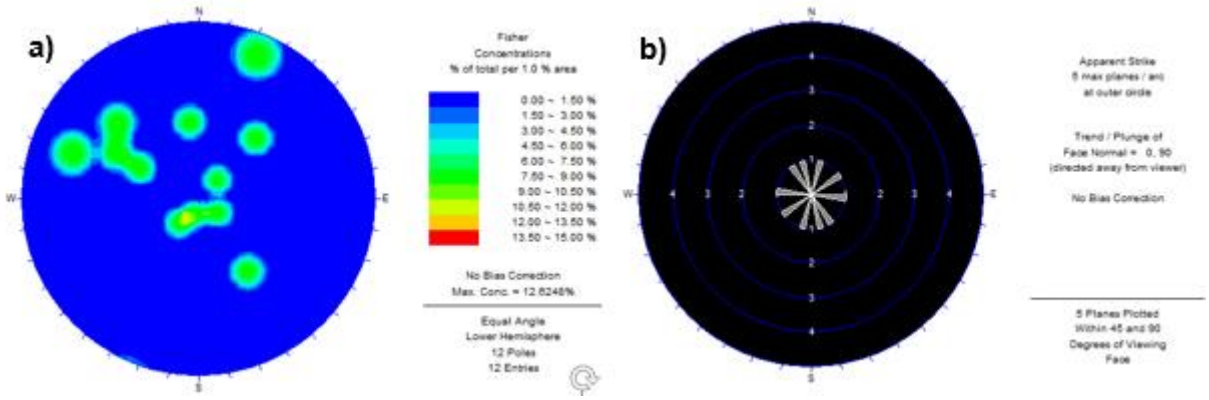

Figura 7-9 a) Gráfica Contour datos de planos de falla. b) Gráfica Rosette datos de planos de falla.

Entre el lado este del actual muro del tranque de relaves y la parte oeste de la zona de falla sur, una estructura es evidenciada principalmente por la presencia de salbanda y estrías que se encuentran direccionadas por los criterios cinemáticos de Riedel (Figura 7-10), los cuales permiten obtener una medición en su actitud de F: 282/89 y rake: 33°S. A partir de lo anterior se puede agregar que su configuración indica un desplazamiento sinestral oblicuo.

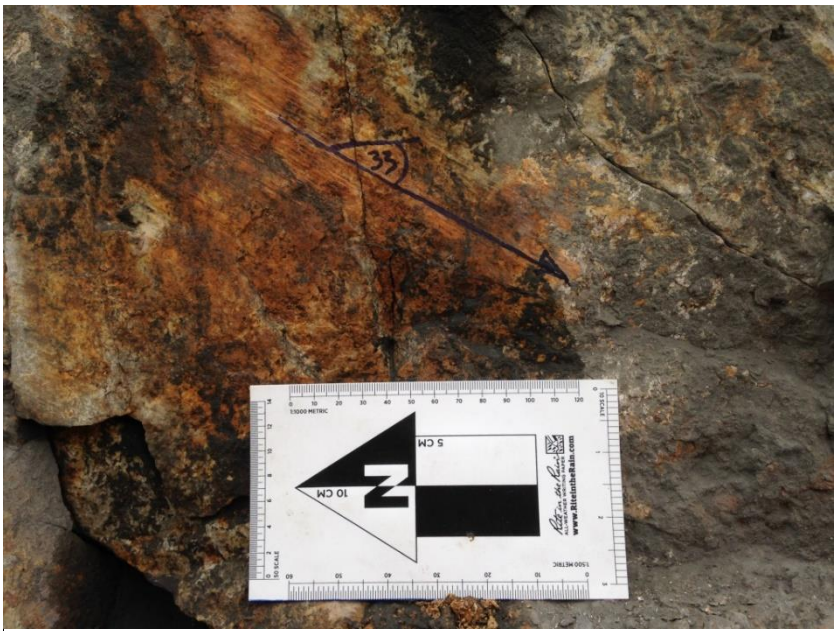

Figura 7-10 Plano de falla sector este de actual muro de tranque de relaves.

7.2.4 Diaclasas

Se midieron diferentes familias de diaclasas, por lo que en la representación gráfica “Contour” estas muestran distintos polos de concentración. Existen 4 polos de mayor concentración de datos con dirección 219/9 (14-16% de datos); 72/5 (12-14% de datos), 31/15 (10-12% de datos) y 195/35 (10-12% de datos). Las diaclasas, según la gráfica “Rosette”, en general se orientan N40°O – N60°O y N10°O – N20°O.

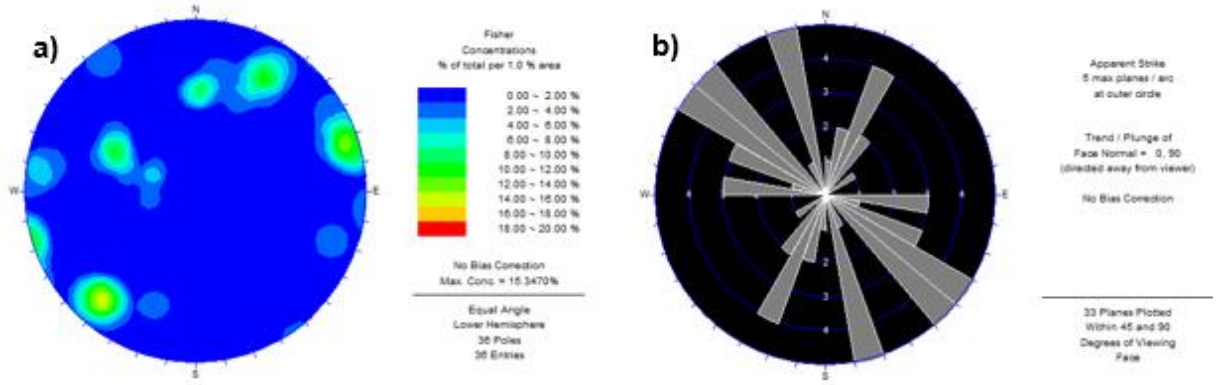

Figura 7-11 a) Gráfica Contour datos de set de diaclasas. b) Gráfica Rosette datos de set de diaclasas.

7.3 MARCO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

Geomorfológicamente el área de estudio se ubica en una zona de transición, entre la Depresión Central y la Cordillera de la Costa del Norte Chico. Tales rasgos morfológicos de gran escala se confunden a simple vista, debido a que su paisaje de cordones montañosos empinados parece estar orientado prácticamente en cualquier dirección, aun cuando indica una leve tendencia al NNE. Otro rasgo geomorfológico importante, pero de menor escala es la Quebrada Paipote. Esta macroestructura posee una longitud de 135 km y un área de influencia de 6600 km^2, cortando profundamente en dirección NE a SW a las principales macroformas, desde la Cordillera hasta su conexión con la Quebrada El Gato y su posterior desembocadura con el río Copiapó. Sus Quebradas secundarias desembocan en dirección preferencial NNE en los tributarios occidentales y SE en los tributarios orientales del valle, permitiendo que su cauce presente un escurrimiento de tipo recto y de valle escarpado, en los sectores del valle central y las grandes terrazas fluviales.

La Quebrada El Gato está compuesta por cadenas irregulares de cerros de baja altura que van desde 1010 m.s.n.m. desde su cota más alta y 482 m.s.n.m. desde su cota más baja, abarcando un área de 2,5 km^2 siendo cortados por Quebradas con rellenos aluviales inactivos, que en conjunto configuran redes de drenaje de tipo dendrítico (lado oeste del actual tranque), en abanico (lado este del actual tranque) y paralela (específicamente en los depósitos sedimentarios aterrazados), las cuales se encuentran íntimamente relacionados al tipo de roca de cada sector. Específicamente el marco geográfico y morfoestructural del área de estudio es destacado por la parte baja de la Quebrada El Gato. En este lugar se realizaron 4 perfiles

esquemáticos tomados del programa Google Earth (ver Figura 7-12, los cuales son descritos a continuación.

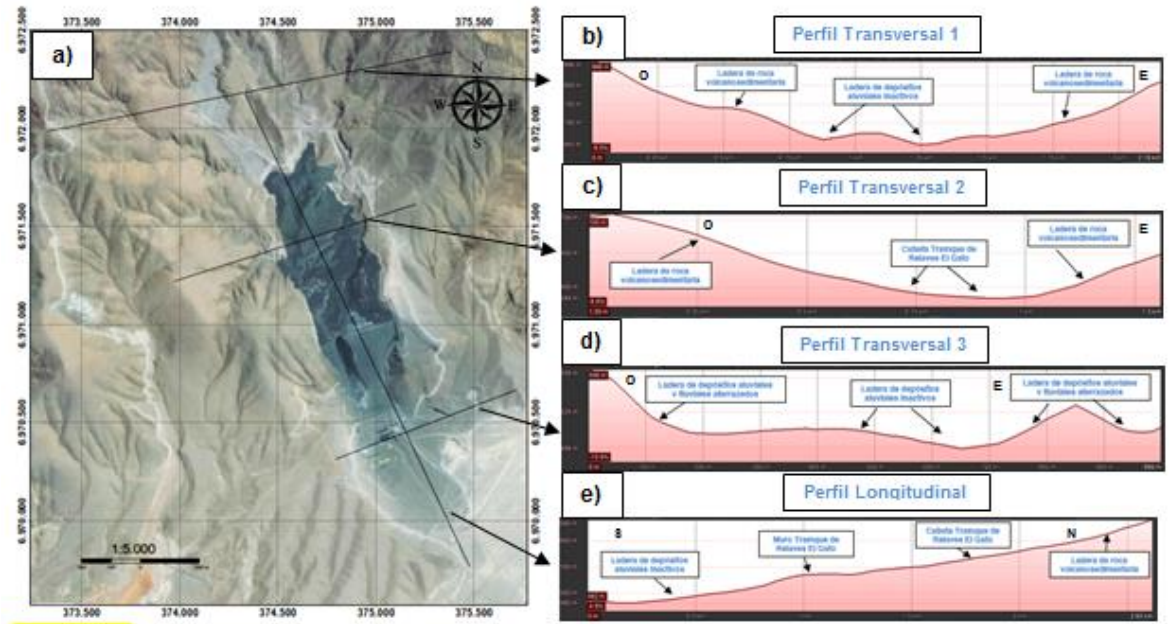

Figura 7-12 a) Ubicación del perfil longitudinal y los 3 perfiles transversales esquemáticos. b) Perfil transversal esquemático 1. c) Perfil transversal 2 esquemático. d) Perfil transversal 3 esquemático. e) Perfil longitudinal esquemático. Los perfiles han sido realizados de Google Earth.

El perfil transversal 1 de la Figura 7-12b, representa la zona más alta del área de estudio, caracterizándose por tener 2,16 km de largo, desde que nace su cota máxima de 866 m.s.n.m., hasta su exutorio o cota mínima de 643 m.s.n.m., estimando una pendiente máxima de 39,6% y una pendiente promedio de 17,9%. Los valores de inclinación más elevados, están relacionados a las laderas de afloramientos de roca volcanosedimentaria, mientras que los valores menos elevados se encuentran relacionados a las laderas de los depósitos aluviales inactivos.

El perfil transversal 2 de la Figura 7-12c, representa la zona media del área de estudio, caracterizándose por tener 1,3 km de largo, desde que nace su cota máxima de 709 m.s.n.m., hasta su exutorio o cota mínima de 584 m.s.n.m., estimando una pendiente máxima de 27,6% y una pendiente promedio de 16,1%. Los valores de inclinación más elevados, están relacionados a las laderas de afloramientos de roca volcanosedimentaria, mientras que los valores menos elevados se encuentran relacionados a las laderas de la cubeta del actual tranque de relaves.

El perfil transversal 3 de la Figura 7-12d, representa la zona más baja del área de estudio, caracterizándose por tener 1 km de largo, desde que nace su cota máxima de 556 m.s.n.m., hasta su exutorio o cota mínima de 498 m.s.n.m., estimando una pendiente máxima de 38,2% y una pendiente promedio de 13,8%. Los valores de inclinación más elevados, están relacionados a las laderas de los depósitos aluviales y fluviales aterrazados, mientras que los

valores menos elevados se encuentran relacionados a las laderas de los depósitos aluviales inactivos.

El perfil longitudinal de la Figura 7-12e se caracteriza por tener 2,6 km de largo, desde que nace su cota máxima de 640 m.s.n.m., hasta su exutorio o cota mínima de 480 m.s.n.m., estimando una pendiente máxima de 16,8% y una pendiente promedio de 7%. Cabe destacar que los valores de inclinación más elevados, están relacionados a las laderas de afloramientos de roca volcanosedimentaria y al muro del actual tranque de relaves, mientras que los valores menos elevados se encuentran relacionados a las laderas de los depósitos aluviales, en donde desemboca la Quebrada y se intersecta con la Quebrada Paipote.

7.4 MARCO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

A partir de un mapeo se identificaron unidades geológicas y estructuras que presentan ciertos grados de permeabilidad, porosidad y fracturamiento. Si bien, por ahora si bien han sido programada su prospección, aún no se dispone de antecedentes de sondeos, geofísicos, pruebas de permeabilidad, etc. es posible agrupar en 4 tipos de acuíferos las unidades geológicas del área de estudio, utilizando la clasificación de Aguirre et al. (1999):

7.4.1 Acuíferos de importancia hidrogeológica media a baja en depósitos no consolidados:

Corresponden a depósitos aluviales de la Quebrada Paipote y depósitos aluviales inactivos de la Quebrada El Gato. Son depósitos no consolidados, porosos y permeables. La recarga a estos es escasa y se produce por precipitaciones anómalas y esporádicas. La Quebrada Paipote posee conexión directa con el acuífero del río Copiapó, siendo éste uno de los afluentes más importantes.

7.4.2 Acuíferos locales de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada:

Esta unidad se definió a partir del alto grado de fracturamiento de dos zonas en el área de estudio, de las cuales se pudo constatar la presencia de agua en una obra a profundidad existente en el lugar. La permeabilidad sería mayoritariamente de tipo secundaria, jugando un rol importante las fracturas tipo fallas y diaclasas asociadas.

7.4.3 Acuíferos locales de baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados a semiconsolidados:

Este acuífero lo componen depósitos aluviales y fluviales aterrazados existentes al norte y sur de la confluencia entre la Quebrada el Gato y Quebrada Paipote. Se ha asignado una baja importancia a este depósito debido a su compactación moderada a alta que conlleva una baja porosidad y permeabilidad del mismo.

7.4.4 Acuíferos locales de baja a nula importancia hidrogeológica en rocas:

Se han agrupado en esta definición a las rocas de la Formación Bandurrias y Formación Abundancia las cuales presentan son prácticamente impermeables, a excepción de las zonas afectadas por fallas.

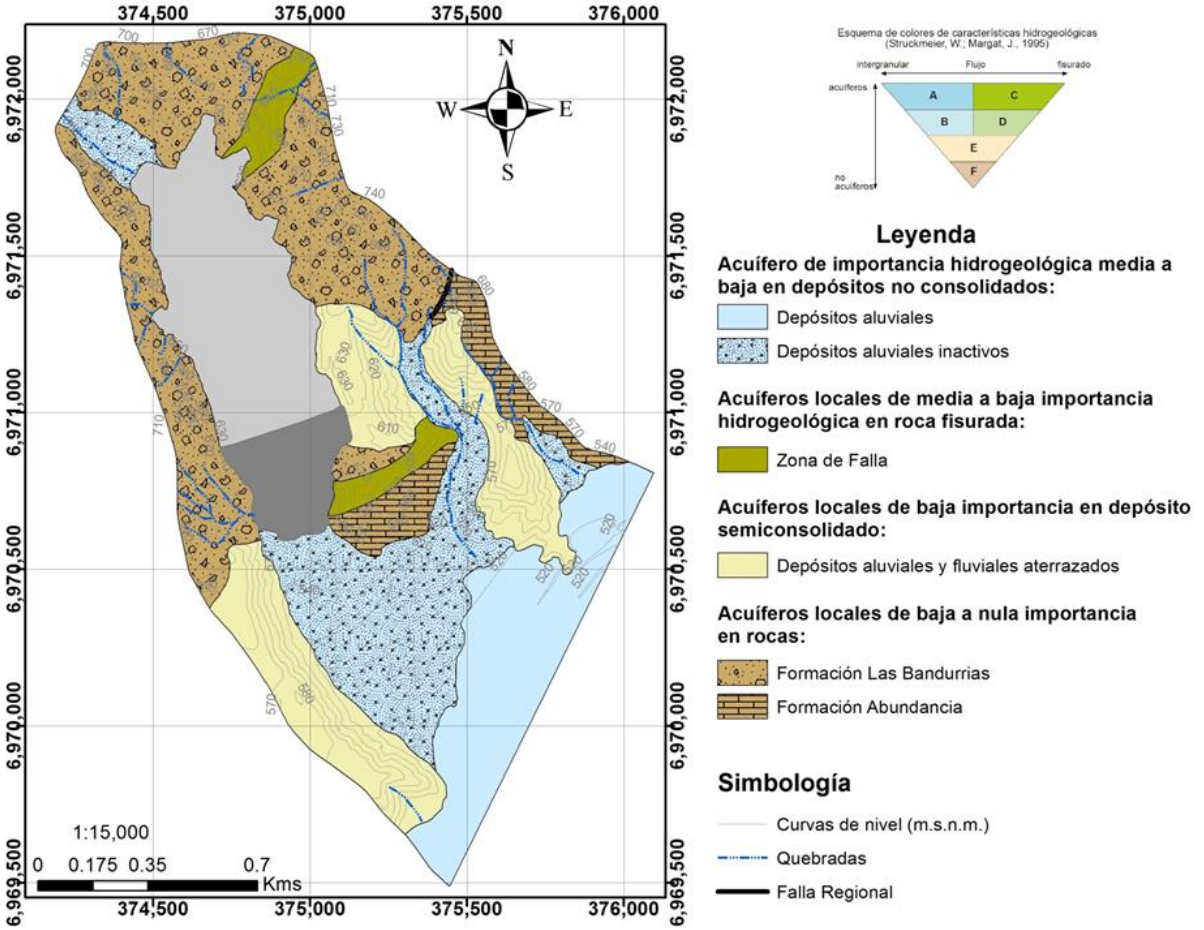

Figura 7-13 Mapa Hidrogeológico esquemático de la Quebrada El Gato.

Una vez que se disponga de datos de permeabilidad, porosidad y fracturamiento, etc. producto de la campaña de sondages, calicatas y exploración geofísica programada, los antecedentes deberán ser reevaluados.

8 ANALISIS HIDROQUÍMICOS

Las características de las aguas de proceso del depósito de relaves El Gato, están determinadas por la composición química del agua traída desde la planta y la recuperada en la laguna de aguas claras del mismo tranque. El bajo índice de recuperación de las aguas claras, nos hace referencia a la alta tasa de infiltración que existe en el tranque y las cuales fueron corroborados por el gran volumen de agua encontrada en el interior de una obra a profundidad aledaña al tranque. Por lo anterior, se realizó un muestreo y medición de

parámetros de las aguas en la obra de profundidad (70 m más debajo de la zona de falla sur) y de la piscina de recuperación agua sello.

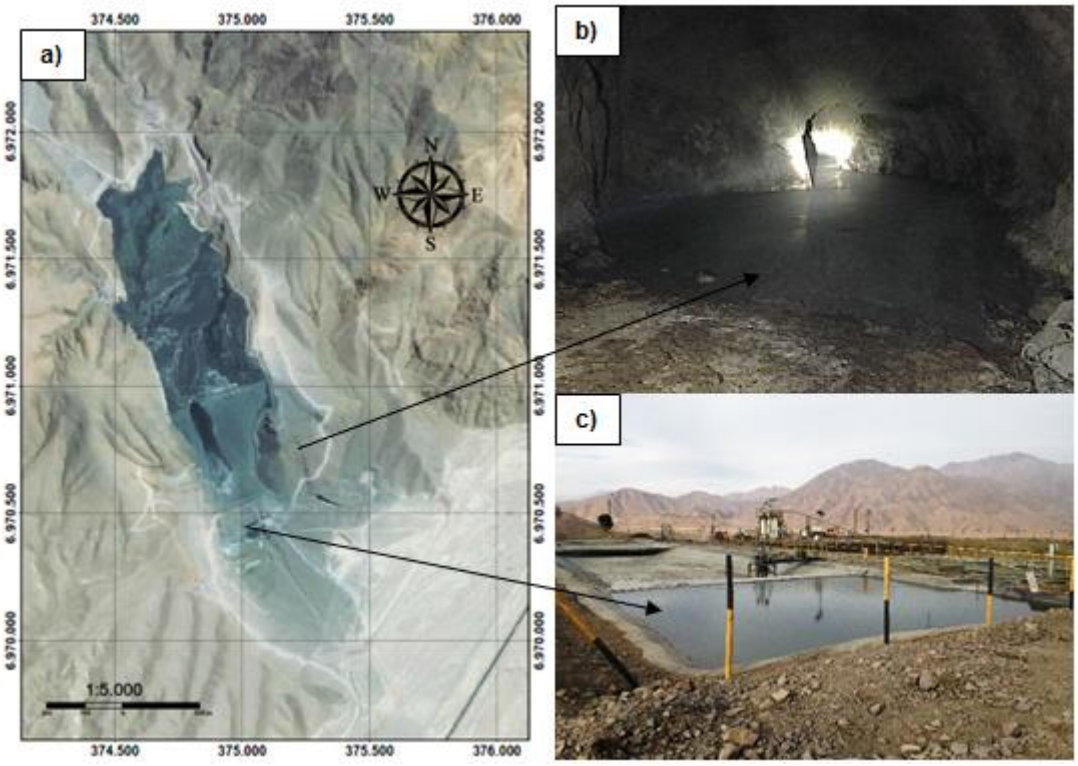

Figura 8-1 a) Ubicación de puntos de muestreo. b) Agua de Obra de Profundidad. c) Agua de piscina de recuperación Agua Sello.

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos medidos in situ.

	Agua Piscina Recuperación Agua Sello		Agua Obra de profundidad	
	Medición 1	**Medición 2**	**Medición 1**	**Medición 2**
pH	7.04	6.15	7.72	7.81
Oxígeno Disuelto (%)	27.3	29	26.3	27.6
Oxígeno Disuelto (ppm)	2.51	2.64	2.34	2.46
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	2232	2230	9961	9925
Solidos Disueltos Totales (ppm)	1115	1116	4981	4962
Turbidez (FNU)	1.5	1.4	4.1	6.1

La alta conductividad, turbidez y contenido de sólidos disueltos totales del agua en la obra de profundidad, indican un alto enriquecimiento en iones durante la infiltración del agua por el subsuelo y fracturas, previo a su posterior acumulación en la obra de profundidad, lo que conlleva a que la calidad de agua a profundidad sea mucho menor que la de proceso.

9 RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos y la realización de los estudios básicos para la DIA, es recomendable mejorar la caracterización geológica, hidrogeológica, geotécnica y geoquímica del sector en donde se establecerá el nuevo depósito de relaves filtrado. Para esto se propone realizar las siguientes campañas:

- Campaña de calicatas: Permite caracterizar la estratigrafía del terreno, realización de ensayos físicos (granulometría, densidad in situ y humedad), geoquímicos (difracción de rayos x) y de infiltración.

- Campaña Geofísica: Perfiles geofísicos TEM y REFRACCIÓN SISMICA MASW, con el fin de determinar niveles estáticos y estimaciones de las profundidades de los diferentes materiales que se encuentran en el subsuelo.

- Campaña de sondajes: Se obtendrá la estratigráfica de la roca, calidad de la roca (RQD), realización de ensayos de SPT y de inyección de agua (Lefranc), con el fin de corroborar los datos obtenidos de la geofísica, como la cohesividad y permeabilidad de la roca

Además se recomienda realizar un estudio hidrogeológico al tranque actual y sectores aledaños para determinar los parámetros hidráulicos de las unidades geológicas, las líneas de flujo subterráneo, la evaporación y finalmente un balance que permita conocer el volumen de agua que infiltra desde el tranque al subsuelo.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, E. (1977). Acerca de la paleogeografía neocomiana en la región al sur de Copiapó, provincia de Atacama, Chile. *Assoc Geol Argentina*, *32*(1), 24-33.

Aguirre, I., Hauser, A., y Schwerdtfeger, B. (1999). Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó, segmento Embalse Lautaro–Piedra Colgada, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería*.

Arabasz, W. J. (1971). *Geological and geophysical studies of the Atacama Fault Zone in Northern Chile*. Tesis Doctoral, California Institute of Technology.

Arévalo, C. (1995). Mapa Geológico de la Hoja Copiapó, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documentos de trabajo, No 8, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Arévalo, C. (2005). Carta Copiapó, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Carta geológica de Chile, serie geología básica*, *91*, 54.

Charrier, R., Pinto, L., y Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The geology of Chile (Moreno, T.; gibbons, W.; editors). The geological Society*, 21-114.

Corvalán, J. (1974). Estratigrafla del Neocomiano marino de la regi6n al sur de Copiap6. Revista Geológica de Chile, No. 1, p. 13-36.

Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional textures.

Jurgan, D. G. D. H. (1977). Zur Gliederung der Unterkreide-Serien in der Provinz Atacama Chile. *Geologische Rundschau*, *66*(1), 404-434.

Marschik, R., y Fontboté, L. (2001). The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, *96*(8), 1799-1826.

Marschik, R., Fontignie, D., Chiaradia, M., y Voldet, P. (2003). Geochemical and Sr–Nd–Pb–O isotope composition of granitoids of the Early Cretaceous Copiapó plutonic complex (27° 30′ S), Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, *16*(5), 381-398.

Mathur, R., Marschik, R., Ruiz, J., Munizaga, F., Leveille, R. A., y Martin, W. (2002). Age of mineralization of the Candelaria Fe oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt, based on Re-Os isotopes. *Economic Geology*, *97*(1), 59-71.

Mourgues, F. A. (2004). Advances in ammonite biostratigraphy of the marine Atacama basin (Lower Cretaceous), northern Chile, and its relationship with the Neuquén basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, *17*(1), 3-10.

Mourgues, F.A. (2001). Bioestragrafía y paleontología del Grupo Chañarcillo, Cretácico Inferior, III Región, Chile (Inédito). Servicio Nacional de Geología y Minería, informe paleontológico, No. 2000-09, pp.84.

Paskoff, R. (1970). *Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride*. Biscaye.

Perez, E., Cooper, M. R., y Covacevich, V. (1990). Aptian ammonite-based age for the Pabellón Formation, Atacama Region, northern Chile. *Andean Geology*, *17*(2), 181-185.

Scheuber, E., y Andriessen, P. A. (1990). The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, *12*(2), 243-257.

Scheuber, E., y Gonzalez, G. (1999). Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous magmatic arc of the north Chilean Coastal Cordillera (22°–26° S): A story of crustal deformation along a convergent plate boundary. *Tectonics*, *18*(5), 895-910.

Segerstrom, K. (1960). Cuadrángulo Quebrada Paipote, escala 1: 50.000. Provincia de Atacama. Carta Geológica de Chile, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. Vol. 2, No. 1, 55 p.

Segerstrom, K.; Parker, R.L. (1959). Cuadrángulo Cerrillos, escala 1: 50.000. Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Vol. 1, Nº 2, 33 p.

Segerstrom, K.; Ruiz, C. (1962). Cuadrángulo Copiapó, escala 1: 50.000. Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Vol.3, No. 1, 115 p.

Segerstrom, K.; Thomas, H.; Tilling, R. (1963). Cuadrángulo Pintadas, escala 1: 50.000. Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 12, 53 p.

Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews*, *12*(1), 1-33.

Tavera, J. (1956). Fauna del Cretáceo Inferior de Copiapó. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicación, No. 9, p. 205-216

Tilling, R. (1962). Batholith emplacement and contact metamorphism in the Paipote-Tierra Amarilla area, Atacama Province, Chile. *Unpublished Ph. D. Thesis. Yale University, New Haven CT USA*, 195.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, *30*(5), 377-392.

ANEXO A – PUNTOS DE CONTROL MAPEO GEOLÓGICO

Punto	Norte	Este	Plano medido	Manteo	Dirección de manteo	Observación
1	6970554	375203	Estratificación	41	118	Roca caliza verde
2	6970639	375269				Roca caliza verde
3	6970801	375339	Estratificación	82	202	Roca caliza verde
4	6970861	375320	Diaclasa	80	290	Fuerte diaclasado, Roca caliza verde
4	6970861	375320	Estratificación	56	119	
5	6970882	375339	Estratificación	74	110	Brecha hidrotermal-Falla
6	6970976	375245				Contacto roca/deposito sedimentario semiconsolidado
7	6970827	375211				Caliza con bioturbaciones
8	6971554	374993				Roca volcanosedimentaria
9	6971700	375008	Estratificación	64	133	Fuerte diaclasado, roca volcanosedimentaria
			Diaclasa	80	35	
			Diaclasa	70	20	
			Diaclasa	78	40	
			Diaclasa	76	40	
10	6971880	374957	Diaclasa	86	145	Zona de Falla y fuerte diaclasado
			Diaclasa	30	120	
			Diaclasa	60	180	
			Falla	20	145	
11	6971944	374815	Diaclasa	70	190	Roca volcanosedimentaria con clastos tipo brecha
			Diaclasa	72	205	
			Diaclasa	70	215	
12	6971873	374604				Contacto rocavolcanosedimentaria/deposito sedimentario no consolidado
13	6970919	375335				Contacto rocavolcanosedimentaria/deposito sedimentario no consolidado
14	6970582	374802	Estratificación	50	223	Contacto deposito semiconsolidado/ roca volcanosedimentaria
			Diaclasa	45	105	
			Diaclasa	60	110	
			Diaclasa	50	115	
15	6970600	374769	Estratificación	15	305	Contacto deposito semiconsolidado/ roca volcanosedimentaria
			Diaclasa	85	255	
			Diaclasa	80	250	
			Diaclasa	30	80	
			Diaclasa	30	105	
16	6970668	374684	Estratificación	17	223	Roca volcanosedimentaria con clastos tipo brecha
			Diaclasa	80	45	
			Diaclasa	82	45	
			Diaclasa	82	41	
			Diaclasa	80	215	
17	6970614	374724	Estratificación	10	15	Contacto secuencia sedimentaria con roca volcanosedimentaria
18	6970607	374651	Falla	77	187	Zona de Falla y fuerte diaclasado
20	6970793	375077	Estratificación	47	173	Contacto muro de tranque con rocas volcanosedimentaria
			Diaclasa	88	255	
			Diaclasa	82	100	
			Diaclasa	88	255	
			Diaclasa	60	205	
			Diaclasa	60	185	
			Diaclasa	60	180	

Punto	Norte	Este	Plano medido	Manteo	Dirección de manteo	Observación
21	6970769	375067	Falla	89	282	Zona de Falla y fuerte diaclasado
			Falla	60	50	
22	6970728	375080				Contacto roca volcanosedimentaria con calizas
23	6970836	375361	Diaclasa	85	240	Fuerte diaclasado, Roca caliza
			Diaclasa	88	250	
			Diaclasa	88	95	
			Diaclasa	55	115	
			Diaclasa	55	120	
			Diaclasa	60	125	
24	6970848	375437	Estratificación	20	40	Afloramiento de calizas
			Diaclasa	80	210	
			Diaclasa	75	210	
25	6970891	375454				contacto caliza con bioturbaciones con calizas sin bioturbaciones
26	6970905	375460				Zona de Falla con mineralizacion de Ox de Mn y Fe y arcilla, roca tipo de caliza
27	6970647	375455	Estratificación	52	326	afloramiento de calizas con brecha hidrotermal
28	6970940	375434	Falla	70	325	zona de falla
29	6970942	375388	Falla	80	255	zona de falla
30	6970973	375354		533		afloramiento de calizas
31	6970573	375353		488		Contacto de material aluvial no consolidado con roca caliza verde
32	6970101	374964		545		Techo deposito semiconsolidado
33	6969975	375102		523		zona intermedia
34	6969907	375282		500		zona intermedia
35	6969838	375404		488		Base deposito semiconsolidado