



“MODELO NUMÉRICO COMBINADO DE ALTERACIÓN COMO GUÍA DE EXPLORACIÓN EN MINA ESTATUAS, DISTRITO MINERO EL TOQUI, REGIÓN DE AYSÉN, CHILE”

Autor: Olga Gissela Veloso Aguilera

Profesor Patrocinante: Msc. Abraham Elías González Martínez

Profesores Comisión: Msc. Liubow González Martínez

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

Resumen

El Distrito Minero El Toqui, abarca un área 24 km² y contiene cuerpos mineralizados de Zn-Pb-Au-Ag alojados en la parte basal de la Formación Toqui, la cual corresponde a rocas carbonatadas fosilíferas del Cretácico Inferior, que es denominada “Manto Principal”. El Toqui es un depósito polimetálico tipo Skarn. La mineralización se originó en dos eventos. Primero, metasomatismo y reemplazo de sus minerales originales. Granate y piroxeno corresponden a los silicatos de alteración más abundantes, mientras que la asociación esfalerita-pirrotina-galena es la principal mineralización metálica de esta etapa. El segundo evento corresponde a una alteración retrógrada con anfíbol-clorita sobreimpuestos a la primera. A este episodio está relacionada la mineralización de Au, la cual se correlaciona con un aumento de arsenopirita rica en cobalto, glaucodot, cobaltita y telururos y sulfosales de Bi-Pb, Bismuto nativo y bismutinita. Se construyen modelos numéricos combinados de los principales minerales de alteración de ambos eventos en el Manto Principal del sector Mina Estatuas, una de las tres minas que se explota actualmente en la zona, con el objetivo de adquirir una nueva herramienta para la búsqueda de Zn y Au en este sector, pudiendo expandirse su uso en la exploración del distrito.

Palabras Claves: Manto Principal, Skarn, metasomatismo, Reemplazo, alteración retrógrada, modelo numérico combinado, Mina Estatuas.

1 Introducción

1.1. Ubicación y Marco Teórico

El Distrito Minero El Toqui se ubica 1.350 km al sur de Santiago, en la Región de Aysén, entre las coordenadas 45°03'-45°01' Latitud Sur y 71°59'-71°56' Longitud Oeste (Figura 1).

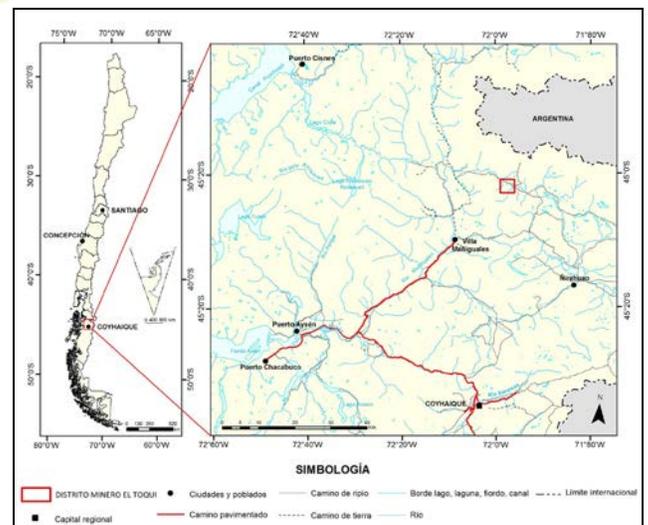


Figura 1. Ubicación Distrito Minero El Toqui (tomado de Sáez, 2016).

El Toqui es un depósito polimetálico de Zn-Pb-Au-Ag, de mineralización tipo Skarn de Zn, abarca una zona de 24 km² y desde los años '60 se han descubierto y explotado 7 minas. De más antigua a más reciente, el descubrimiento y la explotación de éstas ha sido: Afloramientos de Cerro Estatuas, Vetas de Antolín y Zúñiga, San Antonio, Mallín Mónica, Doña Rosa, Estatuas y Concordia.

La mineralización económica de estas minas se encuentra alojada en un horizonte de calizas con fósiles que tiene potencias que varían entre 7 y 40 m. Este estrato se ubica en la base de la Formación Toqui y ha sido históricamente denominado "Manto Principal", a excepción de las Vetas de Antolín y Zúñiga, las cuales se emplazan en rocas de la Formación Ibáñez.

Desde 1976 a 2018 se han perforado 2.516 sondajes de diamantina (DDH), equivalentes a 418.229,53 metros. Históricamente, el diseño de las campañas de sondajes de exploración se realizó utilizando mallas regulares de DDH subverticales de 50 m por 50 m. El largo de los pozos desde superficie varía entre 250 y 800 m, debido a que el horizonte de interés buza 25° al SE en el borde suroriental del distrito y 25° al NW en el noroccidental. El uso de este método tan estructurado significó que parte de la inversión económica destinada a la perforación de sondajes terminara perdiéndose, debido a que numerosos pozos cortaban el Manto Principal, sin mineralización económica. Además, la abrupta topografía y el clima sólo permiten perforar durante 6 o 7 meses de cada año. La razón tonelada descubierta versus metro perforado, empleando esa metodología, era de 60 ton/m.

Hasta el año 2015, se construía el modelo geológico solamente del "Manto Principal", con una parte de toda la información que se mapeaba en los sondajes: litología, estructuras mayores y leyes. En base a él, se realizaba la estimación de recursos y el cálculo de reservas. Este proceso se elaboraba dos veces al año, junio y diciembre, para obtener el reporte de recursos y reservas de la compañía.

A partir de 2016 se comienzan a efectuar modificaciones al trabajo geológico, el objetivo de estas modificaciones fue desarrollar un modelo geológico del yacimiento, no sólo de la unidad

mineralizada, y poder utilizar la información de mineralización, alteración y estructuras colectada desde los sondajes, y desde los túneles, en la explotación y exploración del distrito. Ese año también se cambia la forma de realizar el mapeo geológico de interior mina, comenzando a confeccionarse plantas de los túneles a 1,5 m del piso con el registro de la litología, detalle de las estructuras, mineralización y alteración. Como resultado se obtiene que existen estructuras que actuaron como canales para los eventos de alteración-mineralización y que existen otras que no lo hicieron, y como producto de esto el Manto Principal contiene mineralización económica en las zonas cercanas a las estructuras alimentadoras, y si no existe ninguna cercana a él, el Manto Principal es estéril.

El 2017 se confecciona una base de datos en software Access, donde se compila toda la información de los sondajes: litología, alteración, mineralización, estructuras, geoquímica, geotecnia, logística, topografía, etc. También se incorpora el uso del software LeapfrogGeo, lo cual permitió que el proceso de modelamiento geológico fuera más rápido y dinámico.

Al continuar ingresando al modelo la información geológica de los sondajes y del mapeo de interior mina, la cual se obtiene diariamente, el proceso de interpretación se hizo más eficiente y de uso diario, semanal y mensual, para la confección de planes mineros con mayor soporte para el avance de las minas.

Por otro lado, el año 2016 se realizó la confección y análisis mineralógico petrocalcográfico de 75 secciones transparente-pulidas de diferentes sectores de las minas que actualmente están en producción: Doña Rosa, Estatuas y Concordia. El 2017 este estudio fue complementado con difracción de rayos X (XRD) y Qemscan. Este trabajo mejoró el conocimiento acerca de la composición elemental de las distintas fases mineralógicas presentes en el yacimiento, aumentó el entendimiento de la caracterización geoquímica del depósito y de la distribución de los elementos en sus distintos cuerpos mineralizados (Suazo *et al.*, 2018).

1.2. Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo de título es elaborar un modelo de exploración para Mina Estatuas, que permita optimizar los recursos económicos destinados a la perforación de DDH, utilizando los datos existentes en las DB y los antecedentes obtenidos en los estudios mineralógicos realizados.

1.3. Objetivos Específicos

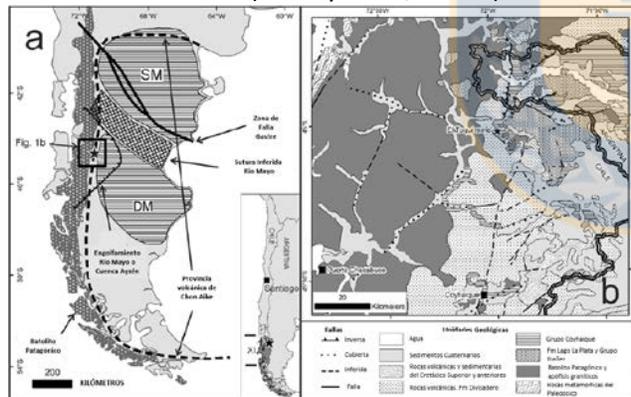
Como objetivos específicos se pretende:

- Construir un modelo de exploración para el Zn.
- Desarrollar un modelo de exploración para el Au.

2 Marco Geológico

2.1 Geología Regional

El Distrito Minero El Toqui se emplaza en los Andes Norpatagónicos a la latitud 45°S; su mineralización se hospeda en rocas sedimentarias de la Cuenca Aysén, al este del eje del Batolito Patagónico (Figura 2). La Cuenca Aysén o Engolfamiento Río Mayo corresponde a la parte norte de la Cuenca Austral la cual se desarrolló sobre una secuencia de rocas volcánicas del Jurásico Superior, conocida como Provincia Chon Aike (Bussey *et al.*, 2010a).



La estratigrafía de la Cuenca Aysén incluye de base a techo: Grupo Ibáñez (Jurásico Superior), Grupo Coyhaique (Cretácico Inferior) y rocas volcánicas Alto Coyhaique (Terciario Superior) (Bussey *et al.*, 2010b). El Grupo Ibáñez está compuesto principalmente por rocas volcánicas ácidas calcoalcalinas (Suárez *et al.*, 2007). Subyace en concordancia al Grupo Coyhaique y en discordancia angular al Grupo Divisadero.

El Grupo Coyhaique está constituido por rocas sedimentarias marinas y continentales. Representa facies marinas de aguas someras a profundas, de base a techo incluye a las formaciones Toqui, Katterfeld y Apeleg (Figura 3). La Formación Toqui está conformada por areniscas y limolitas volcanoclasticas verdes con menores fragmentos de fósiles. Tiene capas delgadas de areniscas intercaladas con unidades de grano más fino, también tobas de lapilli menores a 0,1 m, areniscas tobáceas, depósitos de debris flow y calizas con fósiles de ostras (Suárez *et al.*, 1996 en Bussey *et al.*, 2010a). Se depositó en un ambiente marino de aguas someras cerca de volcanes activos.

El Grupo Coyhaique está constituido por rocas sedimentarias marinas y continentales. Representa facies marinas de aguas someras a profundas, de base a techo incluye a las formaciones Toqui, Katterfeld y Apeleg (Figura 3). La Formación Toqui está conformada por areniscas y limolitas volcanoclasticas verdes con menores fragmentos de fósiles. Tiene capas delgadas de areniscas intercaladas con unidades de grano más fino, también tobas de lapilli menores a 0,1 m, areniscas tobáceas, depósitos de debris flow y calizas con fósiles de ostras (Suárez *et al.*, 1996 en Bussey *et al.*, 2010a). Se depositó en un ambiente marino de aguas someras cerca de volcanes activos.

El Grupo Coyhaique está constituido por rocas sedimentarias marinas y continentales. Representa facies marinas de aguas someras a profundas, de base a techo incluye a las formaciones Toqui, Katterfeld y Apeleg (Figura 3). La Formación Toqui está conformada por areniscas y limolitas volcanoclasticas verdes con menores fragmentos de fósiles. Tiene capas delgadas de areniscas intercaladas con unidades de grano más fino, también tobas de lapilli menores a 0,1 m, areniscas tobáceas, depósitos de debris flow y calizas con fósiles de ostras (Suárez *et al.*, 1996 en Bussey *et al.*, 2010a). Se depositó en un ambiente marino de aguas someras cerca de volcanes activos.

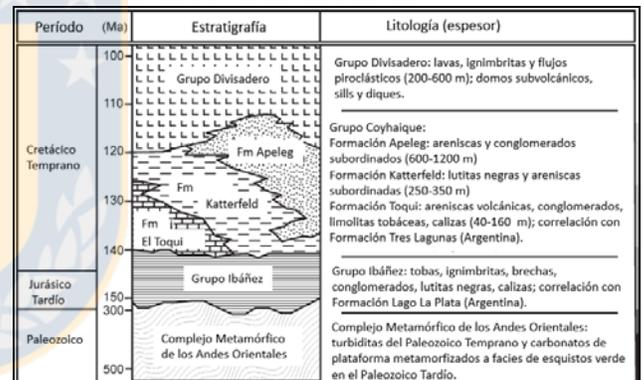


Figura 3. Columna estratigráfica para el sector de El Toqui (modificado de Bussey *et al.*, 2010a).

La Formación Katterfeld sobryace en conformidad e interdigita a la Formación Toqui. Corresponde a una secuencia de lutitas marinas negras fosilíferas con horizontes menores de areniscas y areniscas calcáreas (Ramos, 1981 en Bussey *et al.*, 2010a), que representan la profundización de la Cuenca Aysén.

Las Formación Apeleg (Ploszkiewicz y Ramos, 1981 en Bussey *et al.*, 2010a) se dispone sobryaciendo en conformidad e interdigita a la Formación Katterfeld. Fue depositada en una plataforma marina abierta de aguas someras que representa el relleno final de la cuenca y está compuesta de areniscas, limolitas y horizontes menores de conglomerados. Su distribución y espesor sugieren que la plataforma

La estratigrafía de la Cuenca Aysén incluye de base a techo: Grupo Ibáñez (Jurásico Superior), Grupo Coyhaique (Cretácico Inferior) y rocas volcánicas Alto Coyhaique (Terciario Superior) (Bussey *et al.*, 2010b). El Grupo Ibáñez está compuesto principalmente por rocas volcánicas ácidas calcoalcalinas (Suárez *et al.*, 2007). Subyace en concordancia al Grupo Coyhaique y en discordancia angular al Grupo Divisadero.

marina se rellenó progresivamente de este a oeste (Bussey *et al.*, 2010a).

El Grupo Coyhaique no es concordante con las rocas volcánicas del Grupo Divisadero, el cual está descrito como una sucesión de rocas volcánicas y piroclásticas subaéreas, de composición riolítica, dacítica y andesítica. Incluye cuerpos intrusivos hipabisales y algunos niveles sedimentarios continentales. Se depositó en un ambiente volcánico subaéreo con calderas y estratovolcanes, que incluyen ocasionalmente ambientes fluviales y lacustres (Suárez *et al.*, 2007).

2.2 Geología Local

El Toqui es un depósito tipo Skarn de Zn, alojado en calizas fosilíferas situadas en la base de la Formación Toqui, denominadas Manto Principal (Figura 4). La potencia de este nivel tabular varía entre 7 y 40 m. En el sector NW del distrito las capas buzaban al NW 25° y en la parte SE, buzaban 25° al SE (Figura 5). En Mina Estatuas los estratos presentan un buzamiento general de 15° al NE.

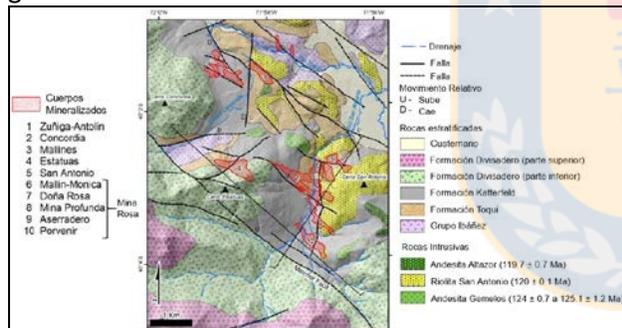


Figura 4. Geología de Superficie (modificado de Bussey *et al.*, 2010b).

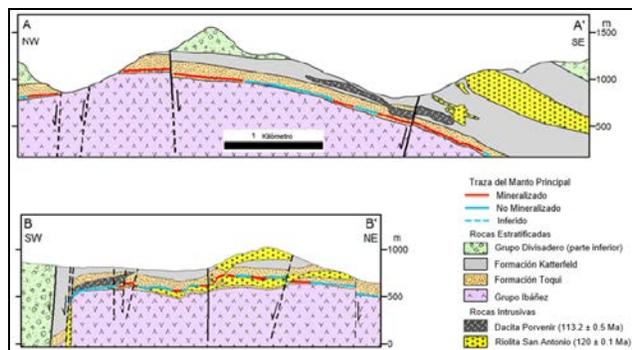


Figura 5. Perfiles A-A' y B-B' de la figura 4. (modificado de Bussey *et al.*, 2010b).

El Manto Principal corresponde a un paquete de horizontes sedimentarios que varían entre 0,3 a 2 m de espesor, separados por niveles centimétricos de

tobas cineríticas y tobas de lapilli de hasta 0,5 m. Los estratos sedimentarios corresponden a calizas con fósiles de ostras en su parte superior hasta niveles de areniscas medias a finas con escaso contenido fosilífero, en la parte inferior, en una secuencia progradacional. A la parte inferior del Manto Principal, también se le ha llamado "Areniscas Inferiores" (Bussey *et al.*, 2010a).

Cuerpos intrusivos hipabisales cortan la secuencia volcanosedimentaria del distrito. De más antiguo a más reciente, corresponden a: Andesita Gemelos, Andesita Altazor, Riolita San Antonio, Dacita Porvenir y Diques-Sills Andesíticos (Figuras 6 y 7).

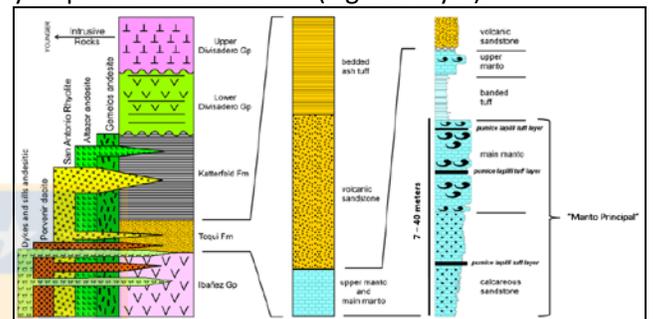


Figura 6. Relaciones estratigráficas generales entre las rocas intrusivas y las unidades volcanosedimentarias en el distrito El Toqui. También se muestra la subdivisión de la Formación Toqui y el detalle de las litologías en las calizas basales, principal hospedador de mineralización (modificado de Bussey *et al.*, 2010b).

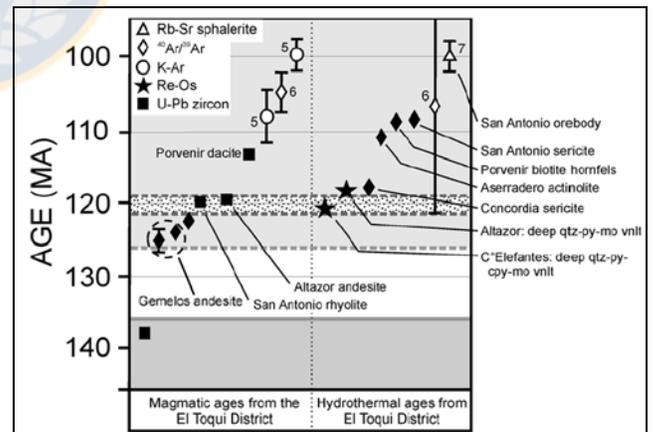


Figura 7. Dataciones radiométricas en el distrito El Toqui. Las sericitas de las muestras de San Antonio y Concordia se tomaron desde horizontes de tobas de lapilli que separan los estratos que componen el Manto Principal. La muestra de hornfels de biotita de Porvenir se encuentra encima del Manto Principal y la actinolita de Aserradero al interior del Manto Principal en ese sector (tomado de Bussey *et al.*, 2010a).

En la Mina Estatuas, el Manto Principal es intruído por un cuerpo afanítico de composición andesítica. Este cuerpo ha sido llamado anteriormente como Toba Cristalina. En general, se presenta como un sill, por lo que divide al Manto Principal en dos partes. En la parte SW de la Mina tiene una potencia aproximada de 10 m, y la intrusión es pseudo concordante con la disposición de los estratos. En esta zona, esto ha permitido la explotación de los niveles de Manto sobre y bajo el cuerpo subvolcánico, dejando al sill andesítico como “puente” entre ambos niveles. Hacia el NW de la mina, este cuerpo disminuye su potencia hasta 2 m y corta la secuencia de estratos de manera más brusca; además genera halos de alteración y pequeñas brechas de intrusión en los contactos.

En el distrito las estructuras más antiguas corresponden a aquellas de rumbo NS. Las vetas de la Minas Antolín y Zúñiga tienen esta disposición, así como las fallas Oso, Cristal, Marlin, San Antonio Este. El tren estructural NW-SE es el siguiente en contemporaneidad y es el más presente en la zona (Figura 4 y 8). Ejemplos de estas estructuras son las fallas Melchor o Chica, Alerce, 4, 8, San Antonio, Concordia, Tortuga, Límite, Mística, Javier, etc. Existe un trend estructural posterior NE-SW, a este corresponden las fallas Canelo, Fortuna, Inicio, Estatuas, Puma, Calafate, entre otras. El sistema estructural en general es de movimiento sinistral. En fallas con estas tres direcciones preferenciales se puede encontrar mineralización metálica, pero estas vetas son menores a 1 m de potencia al interior del Manto Principal, salvo en Mina Concordia donde esta unidad geológica tiene una composición menos permeable y aloja cuerpos vetiformes de hasta 7 m de ancho (Veta 251, Veta 346).

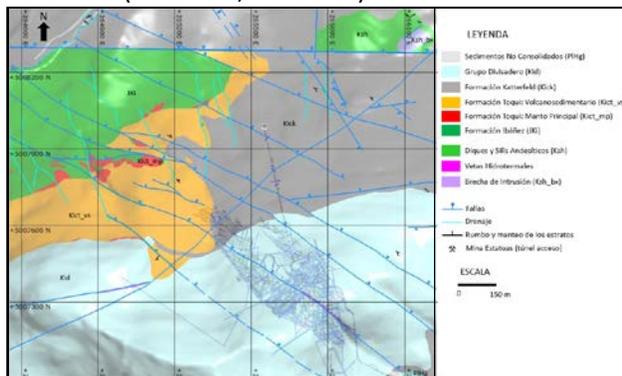


Figura 8. Geología de superficie sector Mina Estatuas. (SCMET, Inédito, 2018).

La mineralización en la unidad Manto Principal se originó en dos eventos, en donde el primero provocó metasomatismo de la roca original y reemplazo de sus minerales primarios, por silicatos de alteración (granate, piroxeno, feldespato potásico, cuarzo) y por sulfuros (esfalerita, pirrotina, calcopirita, pirita, galena y localmente magnetita). El segundo evento corresponde a una alteración retrógrada con anfíboles y cloritas sobreimpuestos a los silicatos de la primera etapa. A este segundo evento está relacionada la mineralización de Au que existe en el distrito.

3 Metodología

Se normalizaron las nomenclaturas de los porcentajes de estimaciones visuales de los minerales de alteración y mineralización metálica en la unidad “Manto Principal” colectadas desde los sondeos y se ingresaron estos datos a la BD DDH (Tabla 1). Para el sector Mina Estatuas, se ingresaron 502 datos.

Tabla 1. Codificación para la estimación visual de porcentajes de minerales de alteración y mineralización en DDH.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
0	Sin Presencia	$1 < X$
1	Leve	$1 \leq X < 10$
2	Moderado	$10 \leq X < 20$
3	Alto	$20 \leq X < 30$
4	Muy Alto	$30 \leq X$

Teniendo en cuenta las asociaciones de silicatos de alteración relacionados a la mineralización de Zn y aquellos vinculados a la mineralización de Au, determinadas con los estudios petrográficos, de XRD y Qemscan de 75 muestras del yacimiento (Suazo *et al.*, 2018), se construyeron modelos numéricos con un interpolador RBF en el software LeapfrogGeo. Un interpolador RBF (Radial Basic Function) elabora isosuperficies para vincular valores idénticos y son ideales en la exploración de objetivos donde existe una buena comprensión de lo que está controlando la mineralización (Seequent-Geoestima, 2018).

Utilizando los datos de los minerales de alteración en la unidad “Manto Principal” del sector Mina Estatuas, se crearon modelos numéricos para cada uno de ellos y luego se desarrollaron modelos combinados para aquellas asociaciones de éstos que pertenecen al mismo evento de alteración-mineralización.

Para el modelo numérico de alteración relacionado a la mineralización de Zn, se usó la misma tendencia del modelo de bloques del sector, el cual tiene una orientación general para la unidad Manto Principal: Dip Azimut 48,48°; Dip 10,78° y Pitch 43,78°.

Para el modelo numérico de alteración relacionado a la mineralización de Au se empleó un trend estructural Dip Azimut 152,5°; Dip 85,04° y Pitch 90°, el cual fue obtenido a partir de dos tendencias preferenciales de las estructuras en Mina Estatuas. Estos dos trends preferenciales se acotaron a partir de toda la información estructural disponible en la zona (Nelson, 2006), dado que esta mineralización se encuentra más acotada a estos patrones.

Para ambos modelos se utilizaron interpoladores esféricos dado que los datos son numéricos y, posteriormente, se procedió a comparar los modelos numéricos con los análisis químicos de Zn y Au en las muestras del “Manto Principal” a partir de los sondeos y de las muestras de avances de las galerías de la mina, buscando una buena correlación de los datos.

4 Resultados

Los modelos numéricos obtenidos para las alteraciones Gt-Px y Anf-Chl se muestran a continuación junto con las leyes de Zn y Au, que se encuentran relacionados a ellas, respectivamente. Las leyes de Zn y Au corresponden a muestras de los DDH y a muestras de los avances de las frentes de producción de los túneles de Mina Estatuas.

4.1 Modelo Numérico Combinado Granate-Piroxeno relacionado a la mineralización de Zn.

4.1.1 Alteración

En el distrito, granates (Gt) y piroxenos (Px) cálcicos componen la asociación de alteración más abundante relacionada a la mineralización metálica de esfalerita. Andradita-Grosularia y Hedenbergita-Diópsido son los tipos de granates y piroxenos, respectivamente, con algunos contenidos variables de Mn, Johansenita y Spessartina (Suazo *et al.*, 2018). Cuarzo, calcita y feldespato potásico suelen estar también asociados con granates y piroxenos (Figura 9 y 10). Otros minerales de alteración presentes en el yacimiento como vesuvianita, prehnita y escapolita se relacionan con zonas de altos contenidos de esfalerita.

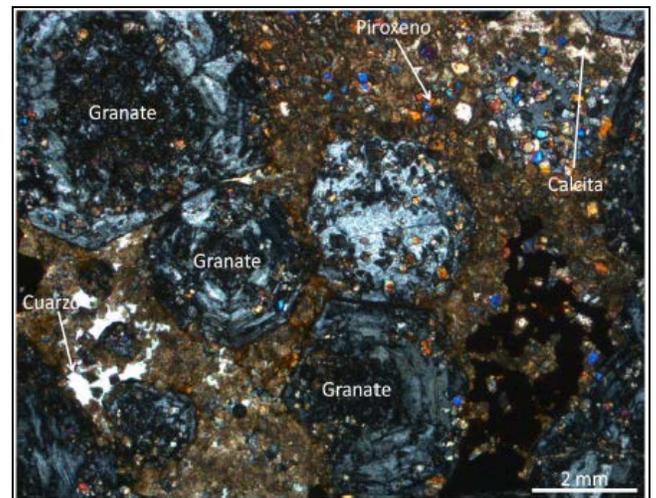


Figura 9. Principales minerales del primer evento de alteración del yacimiento (tomado de Suazo *et al.*, 2018).

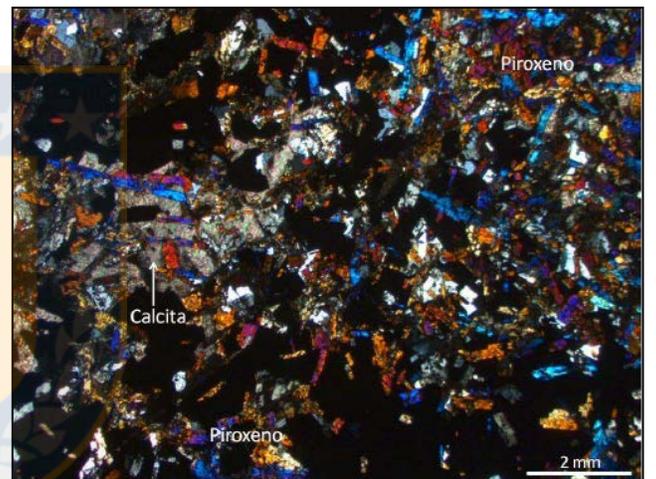


Figura 10. Principales minerales de alteración del yacimiento (tomado de Suazo *et al.*, 2018).

La Figura 11 muestra el modelo numérico combinado RBF de Gt-Px en la unidad Manto Principal.

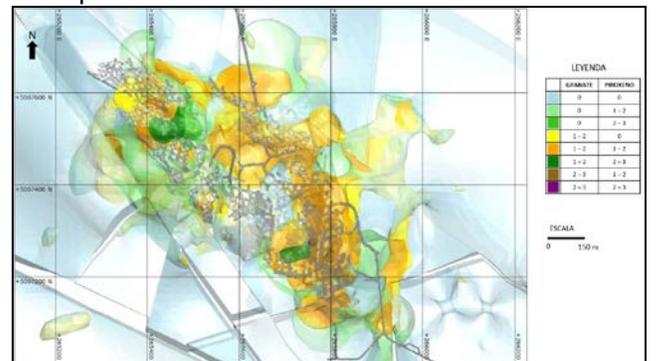


Figura 11. Modelo numérico RBF de la alteración Granate-Piroxeno de la unidad Manto Principal.

4.1.2 Mineralización

La mineralización más abundante del yacimiento (Figura 12) corresponde a la asociación esferita-pirrotina-galena con menor cantidad de pirita, calcopirita, arsenopirita y marcasita (Suazo *et al.*, 2018).

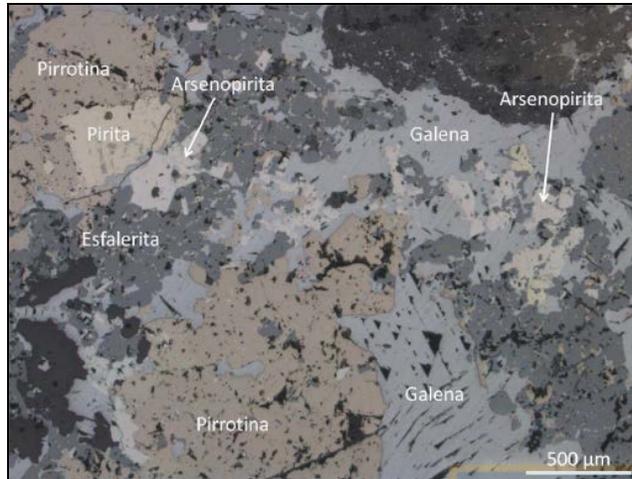


Figura 12. Minerales metálicos del yacimiento (tomado de Suazo *et al.*, 2018).

Las Figuras 13, 14 y 15 muestran las leyes de Zn >3%, >5% y >10%, en conjunto con el modelo de alteración Gt-Px.

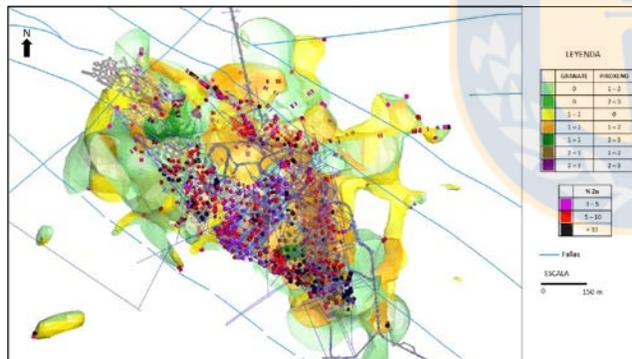


Figura 13. Modelo numérico combinado RBF de alteración Granate-Piroxeno con leyes de Zn >3% de muestras DDH y de mina en la Unidad Manto Principal.

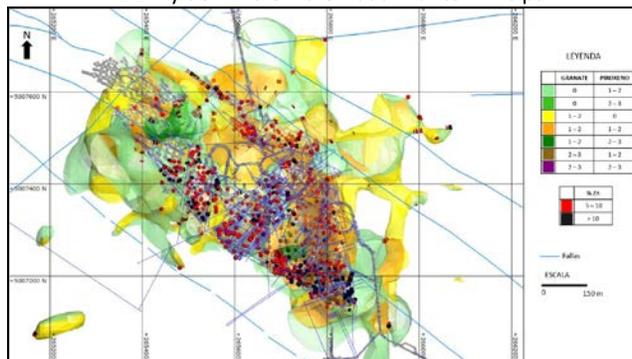


Figura 14. Modelo numérico combinado RBF de alteración Granate-Piroxeno con leyes de Zn >5% de muestras DDH y de mina en la Unidad Manto Principal.

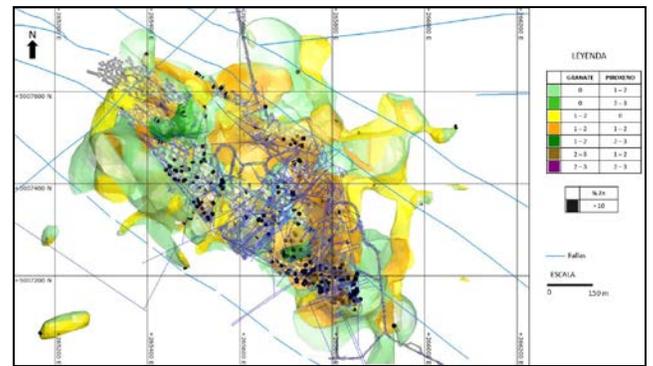


Figura 15. Modelo numérico combinado RBF de alteración Granate-Piroxeno con leyes de Zn >10% de muestras DDH y de mina en la Unidad Manto Principal.

Las Figuras 16 y 17 son secciones de azimuth N316°, separadas por 100 m, que contienen esos mismos datos.

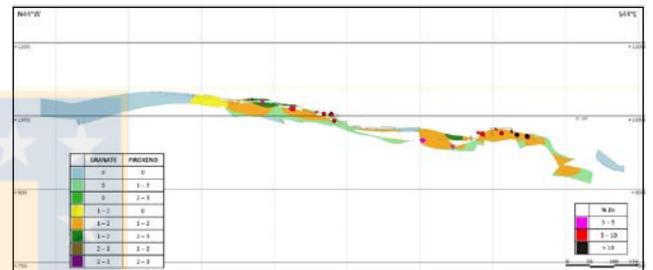


Figura 16. Sección 5 azimuth N316°.

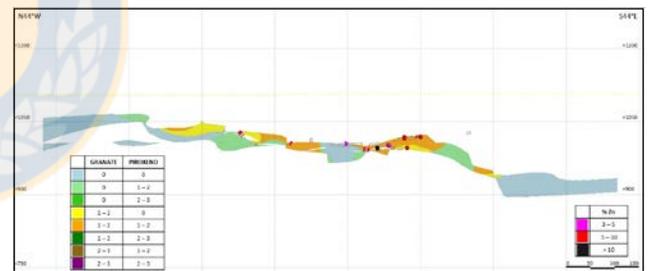


Figura 17. Sección 7 azimuth N316°.

4.2 Modelo Numérico Combinado Anfíbol-Clorita relacionado a la mineralización de Au.

4.2.1 Alteración

La mineralización de Au se encuentra asociada a una alteración de baja temperatura sobrepuesta a la alteración de Gt-Px (Figura 18), que consiste de anfíboles cálcicos (Anf), clorita (Chl) y phengita-muscovita (Suazo *et al.*, 2017).

Con los datos de estimación porcentual de los minerales Anf y Chl de la BD de DDH, se confeccionó el modelo numérico combinado para esta alteración (Figura 19).



Figura 18 Alteración Anfíbol-Clorita sobrepuesta a piroxenos.

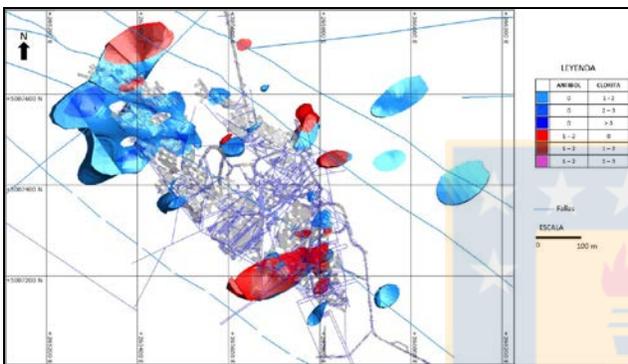


Figura 19. Modelo numérico RBF combinado para la alteración Anfíbol-Clorita.

4.2.2 Mineralización

La mineralización de Au se correlaciona con un aumento de arsenopirita rica en cobalto, glaucodot, cobaltita y telururos y sulfosales de Bi-Pb, además de Bismuto nativo y bismutinita (Suazo *et al.*, 2018).

4.3 Modelos Numéricos Combinados Gt-Px y Anf-Chl relacionados a la mineralización de Au.

Dado que la mineralización de Au se encuentra asociada a una alteración de baja temperatura Anf-Chl sobrepuesta a la alteración de Gt-Px, se construye el modelo combinado con los dos tipos de alteraciones y se compara con las leyes de Au del sector (Figuras 20 y 21). La primera con leyes >3 gpt Au y la segunda con leyes >5 gpt Au.

5 Discusión

El modelo numérico combinado obtenido para la alteración Gt-Px es correlacionable con las leyes geoquímicas de Zn de la Mina Estatuas. En los sectores donde el contenido de Gt y Px está en los rangos de leve a moderado, o mayor, hay leyes de Zn

≥5%. También se da esta correlación donde no hay contenidos de Gt pero si de Px, moderado a alto, lo que puede apreciarse en la Figura 14. En los sectores donde el modelo muestra porcentajes más bajos de la alteración Gt-Px, las leyes de Zn son más bajas también (Figuras 12, 13, 14, 15 y 16).

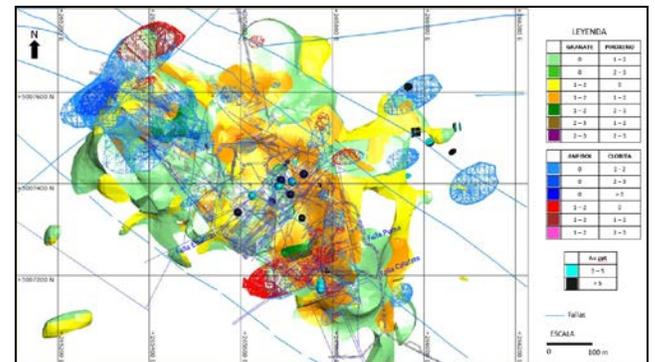


Figura 20. Modelo numérico RBF combinado de alteraciones Gt-Px y Anf-Chl con leyes de Au >3 gpt en la Unidad Manto Principal.

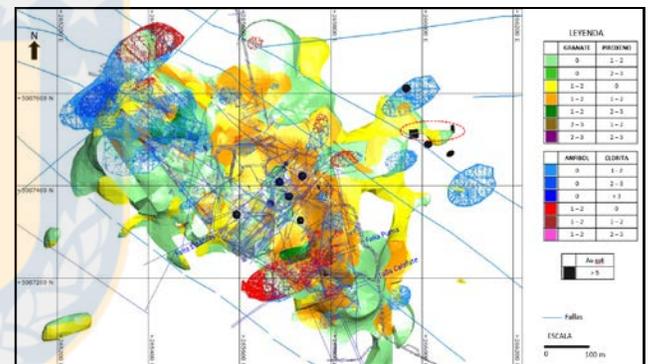


Figura 21. Modelo numérico RBF combinado de alteraciones Gt-Px y Anf-Chl con leyes de Au >5 gpt en la Unidad Manto Principal. La elipse de línea punteada roja, muestra el DDH perforado en 2017 con altas leyes de Au.

El modelo de alteración anteriormente desarrollado en el distrito por Bussey *et al.* (2010a), mostraba para el sector Mina Estatuas Gt>25% en la zona oriental y Px>Gt para el resto; este modelo fue construido generalizando las asociaciones de los minerales de alteración de la parte superior del Manto Principal (Figura 22).

El modelo numérico combinado de Gt-Px construido en este trabajo utiliza la información de los minerales de alteración mapeada desde los sondeos en la zona en que cortan el Manto Principal. Se aprecia además que las leyes de Zn se disponen sobre los lineamientos estructurales principales de la

mina (NW-SE). Esto implica que se debe emplear la información estructural en conjunto con los modelos numéricos de alteración en los programas de exploración.

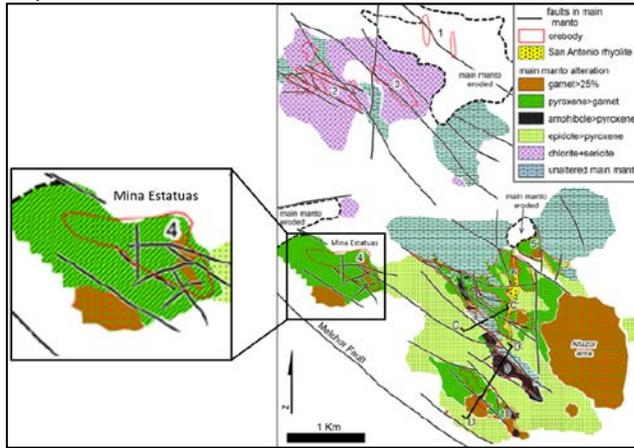


Figura 22. Modelo de alteración en el Manto Principal del Distrito El Toqui (tomado de Bussey *et al.*, 2010a). El número 4 corresponde al sector de Mina Estatuas, aumentado en la ventana de la izquierda.

El modelo numérico combinado formulado para la alteración Anf-Chl, muestra una buena correlación con las leyes de Au en la parte sur de la Mina Estatuas.

Cabe señalar que en los trabajos Bussey *et al.* (2010a y b), no se menciona la existencia de esta alteración ni de mineralización de Au en Mina Estatuas. En el borde oriental de la zona, estos trabajos sólo indican epidota (Figura 22).

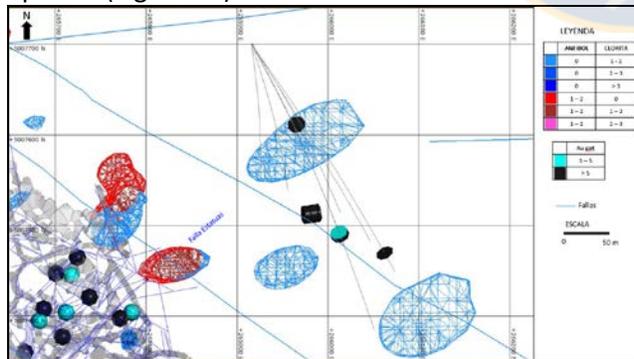


Figura 23. Traza de sondajes al este de Estatuas, con modelo de Anf-Chl.

Kakarieka (2003) menciona la presencia de actinolita y clorita en la Mina Estatuas, también de Bi y Au, pero indica que los valores máximos para este último son 250 ppb. Sin embargo, en los sectores 4 y 8 de esta mina, existen muestras con leyes mayores a 5 gpt Au. Al igual que en un sondaje perforado en 2017, en el cual se cortó un intercepto de Manto

Principal con leyes de 20 gpt, 300 m al este de Estatuas (elipse de línea segmentada de color rojo en Figura 21). Durante 2018 se realizaron varios sondajes con los que se buscaba cortar este intercepto.

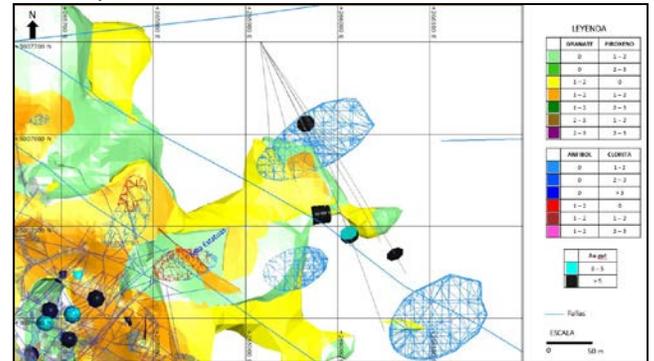


Figura 24. Traza de sondajes realizados al este de Estatuas, con 2 modelos numéricos.

En las Figuras 23 y 24 se muestran los sondajes de 2018 sobre el modelo de Anf-Chl y sobre ambos modelos juntos (Gt-Px, Anf-Chl).

Las leyes de Au no se correlacionan tan claramente, lo cual puede deberse a que aún no está el 100% de los datos en la BD y/o a que exista una tercera variable estructural que pueda modificar el trend utilizado.

6 Conclusiones

Como parte final del presente trabajo se concluye que es posible elaborar un modelo de exploración para el sector Mina Estatuas, mediante el procesamiento de los datos de los minerales de alteración presentes en el Manto Principal junto con los datos obtenidos de los estudios petrocalcográficos realizados en el área. Este modelo permitirá disminuir los costos de la compañía asociados de las campañas de prospección, aumentando la razón actual de toneladas descubiertas versus metro de sondaje perforado.

Que existe una buena correlación entre el modelo numérico combinado de alteración Gt-Px y las leyes de Zinc económicas del yacimiento, por lo que su uso sería una buena herramienta para la exploración de Zn, en conjunto con los datos estructurales.

El modelo combinado de las alteraciones Gt-Px y Anf-Chl del sector Mina Estatuas muestra una menor

correlación con las leyes de Au presentes en el sector, lo cual puede deberse a la falta de datos que aún no se ingresan a la BD o a algún patrón estructural no ingresado en el trend utilizado en el modelo. Se recomienda terminar de ingresar todos los datos a la BD, continuar con el mapeo de detalle de las estructuras y realizar estudio del cuerpo hipabisal afanítico de Estatuas (petrografía, inclusiones fluidas y datación radiométrica). Además, comparar este modelo con el nuevo modelo de bloques para el Au que se debe desarrollar para el sector.

La metodología utilizada en este trabajo puede extenderse para la obtención de modelos de exploración similares para los otros sectores del distrito (Concordia, Doña Rosa, Mallines, etc), por lo que se recomienda continuar realizando el mapeo de los minerales de alteración de la forma estandarizada durante 2018, finalizar de incorporar los datos antiguos del mapeo de minerales de alteración y de mineralización metálica en la base de datos creada en 2017, ampliar la BD de muestras de mina con los datos históricos anteriores a 2010 y no abandonar la metodología de trabajo geológico implementada durante los últimos 3 años.

7 Referencias

- Bussey, S.D.; Kakarieka, A. & Meinert, L.D. 2010a. Geology of the Toqui Zn-Au skarn district, Aysen Region, Chile. Geological Society of Nevada Symposium 2010: Great Basin Evolution and Metallogeny: 179-200. Nevada.
- Bussey, S.D.; Kakarieka, A. & Meinert, L.D. 2010b. Skarn, porphyry, vein, and replacement mineralization in the Toqui District, Southern Chile. Special Publication N° 15, Vol. II, Ca. 22: 399-420.
- Kakarieka, A. 2003. Exploración y descubrimiento del depósito de Zn Estatuas. Distrito Toqui, Aysén-Chile. Congreso Geológico Chileno N° 10. Actas 2: 1-10. Concepción.
- Nelson, E. 2006. Structural geological análisis of El Toqui district and Estatuas Mine, Chile. Breakwater Resources Ltd. Company. Informe Interno (Inédito): 22 pp. Toronto.
- Saez, E. 2016. Caracterización de relaves de la Mina El Toqui y recomendaciones de extracción de elementos de valor económico, XI Región de Aysén, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción: 139 pp. Concepción.
- Suárez, M.; De La Cruz, R. & Bell, M. 2007. Geología del área Ñireguao-Baño Nuevo, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 108: 56 pp. Santiago.
- Suazo, H.; Veloso, O. & Belmar, M. 2017. Mineralogical Associations of the Gold-Silver-Lead ores from El Toqui deposit, Aysén, Chile. Seminario Internacional Geomin-Mineplanning N° 5. 5 pp. Santiago.
- Suazo, H.; Montimer, J.; Veloso, O. & Belmar, M. 2018. Gold associated Cobalt mineralization in El Toqui Mine deposit, Aysén, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 15. Actas 2: 909-911. Concepción.
- Seequent-Geoestima. 2018. Curso Leapfrog Geo. (Inédito): 246 pp. Santiago.
- Wellmert, F.W.; Reeve, E.J.; Wentzlau, E. & Westenberger, H. 1983. Geology and ore deposits of the Toqui district, Aysén, Chile. Economic Geology, Vol. 78: 1.119-1.143.