



Antecedentes geológicos para implementación de mejoras en la estimación de largo y mediano plazo mina Coca-cola I y II.

Patricio Alex Artillería Aguilera

Profesor Guía: MsC. Abraham Elías González Martínez.
Profesores Comisión: Dra. Fernanda Carolina Alvarez Amado
Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra.

Resumen

Minera del Valle, propietaria del yacimiento Talcuna, actualmente explota minerales de cobre y plata en sus minas subterráneas Coca-Cola I y Coca-Cola II. Se ha identificado la necesidad de complementar y mejorar el sistema actual de estimación de recursos minerales a largo y mediano plazo incorporando antecedentes tanto geológicos, litológicos como estructurales que permitan zonificar, acotar y guiar de manera más precisa estas estimaciones. Esto con el objetivo de mejorar la planificación, las proyecciones de extracción de cobre y plata, y brindar una mayor certeza al plan económico de la compañía, además de actualizar el modelo geológico con los antecedentes recopilados durante los últimos años de explotación y perforación.

En este trabajo se describe el contexto geológico general del distrito y del yacimiento vetiforme y estratoligado de Talcuna. Además, se presentan las zonas o unidades geológicas definidas con sus principales características geológicas, que permiten diferenciarlas entre sí. Las unidades geológicas definidas se basan principalmente en características estructurales y estratigráficas, que permiten establecer límites duros entre unidades. Como resultado final de este trabajo, se generaron modelos tridimensionales de las diferentes zonas, así como modelos tridimensionales de las principales fallas y los niveles estratigráficos límites.

Palabras claves: Quebrada Marquesa, estratoligado de Cu, estimación de recursos.

1. Introducción

1.1 Ubicación

El Distrito Minero Talcuna, y en particular Minera del Valle, se encuentra ubicado en la Región de Coquimbo, al este de la ciudad de La Serena y al oeste de la ciudad de Vicuña. Está situado entre las Quebradas Marquesa y Quebrada Las Cañas, a 15 km hacia el interior de la localidad de Marquesa. Políticamente, pertenece a la Comuna de Vicuña, en la Provincia de Elqui (Fig. 1).

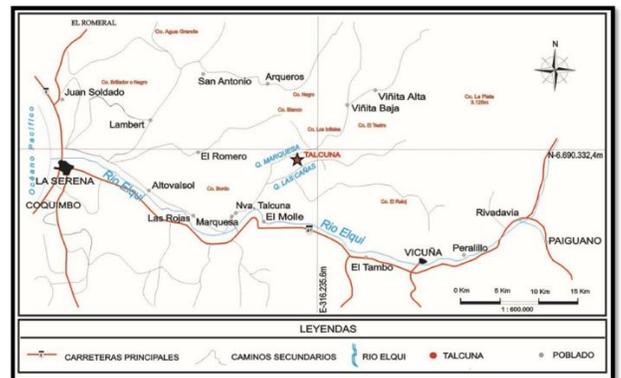


Figura 1. Ubicación y acceso distrito minero Talcuna.

1.2 Objetivo general

Incorporar antecedentes geológicos que permitan la definición y creación de unidades geológicas con características específicas y diferenciables que a su vez permitan ajustar, limitar y mejorar la estimación de recursos de largo y mediano plazo. Por último, se busca obtener un modelo litológico, estructural 3D que mejore el diseño de caserones y galerías.

1.3 Objetivos específicos

-Generar un modelo geológico 3D contemplado los principales rasgos litológicos y estructurales del yacimiento.

-Generar modelo de unidades geológicas, obteniendo límites duros que permitan guiar la estimación de recursos y mejorar el diseño de planificación.

-Unificar, revisar e incorporar información de sondajes y galerías que permitan darle características geológicas específicas a cada zona y que a su vez permita la actualización futura de las mismas.

-Establecer límites duros que permitan diferenciar zonas con potencial mineral de Cu y Ag de zonas estériles.

1.4 Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a Minera del Valle por permitirme las facilidades para la realización e implementación de este trabajo además autorizar la publicación de este mismo.

2. Definición del problema

El cálculo de recursos a mediano y largo plazo ha adquirido una importancia fundamental en el proceso minero, los cuales, junto con la precisión y exactitud de estas, son fundamentales para generar planes de explotación efectivos y sostenibles desde el punto de vista económico a mediano plazo, así como una visión adecuada a largo plazo. En este sentido, se ha reconocido la importancia de mejorar el cálculo de estos recursos y reservas mediante nuevas implementaciones, incluyendo las de índole geológico.

Actualmente los cálculos de estimación de recursos de largo plazo se generan utilizando indicadores, mientras que los cálculos de recursos de mediano y corto plazo se realizan mediante kriging ordinario o inverso de la distancia sin una incorporación de límites. Esto conlleva a la generación de áreas con sobrestimación de recursos principalmente en zonas con poca información de sondajes, esta desviación en gran parte se produce por la falta de una adecuada incorporación de límites geológicos que guíen y delimiten este cálculo.

En el transcurso de los años, se ha acumulado una gran cantidad de información histórica geológica en bases de datos de mapeos de sondajes, que en total suman más de 150.000 metros, mapeos de galerías, secciones y otros datos de interés geológico. Sin embargo, esta información ha sido escasamente interpretada. A pesar de que la definición de un modelo geológico vetiforme y estraligado ha sido descrita en varios trabajos (Payne, 1995; Boric, 1985; Toledo, 2003), hasta el día de hoy no existe una interpretación concreta de las unidades geológicas o un modelo geológico en 3 dimensiones que pueda utilizarse para mejorar el cálculo de recursos o los diseños de caserones y galerías. Esto se debe principalmente a varios factores, como la gran cantidad de información que debe unificarse y la heterogeneidad de las interpretaciones geológicas realizadas por diferentes equipos geológicos a lo largo de los años, lo que ha producido que la integración de esta información en un modelo sea difícil de ejecutar.

Por lo tanto, se ha vuelto primordial contar con un modelo base litológico y estructural que nos permita a su vez definir unidades geológicas, las cuales establezcan límites duros a la distribución mineralización y en consecuencia mejorar el cálculo de recursos y los diseños de caserones y galerías.

3. Metodología

3.1 Recopilación de información: en esta etapa, se busca, chequea y revisa la información geológica generada durante los años de explotación subterránea de las minas Coca-cola I y II como son base de datos de sondajes, mapeos de galerías, mapas de superficies, fotografías, informes geológicos entre otros antecedente.

3.2 Procesamiento de la información: corresponde al trabajo de gabinete con el fin de unificar criterios, códigos y estandarización de la información recopilada, el objetivo es generar una base de datos compacta que permita ser ingresada y trabajada en un software de modelamiento geológico.

3.3 Incorporación de nueva información: ante la poca claridad en los mapeos principalmente de estructuras y de las nuevas unidades definidas se realizó una revisión fotográfica y remapeos de una

serie de sondajes diamantinos, para definir estructuras principales de la mina y otros componentes litológicos que a su vez se complementaran con mapeos de galerías interior mina.

3.4 Definición unidades Litológicas y estructuras mayores: definición de principales unidades litológicas y estructurales que presenten rasgos relevantes en la distribución de la mineralización y que presentan características específicas para ser modeladas en software geológico.

3.5 Generación de modelo geológico y unidades geológicas: información trabajada en software de modelamiento geológico, creando solidos de fallas mayores y diques principales además de límites litológicos y mineralógicos como son superficies de techo y piso de la mineralización.

4. Marco Geológico.

4.1 Marco geológico distrital

Los yacimientos del Distrito Minero Talcuna, están emplazados en los registros del cretácico inferior al terciario de la Cordillera de la Costa en el denominado cuadrángulo Quebrada Marquesa, la geología de este cuadrángulo fue descrita y definida originalmente por Aguirre y Egert (1965), la cual se encuentra conformada por unidades volcánicas y volcano-sedimentarias cuyas edades van desde el Cretácico temprano al Terciario temprano (Figura 2, anexo). Estas se encuentran intruidas por granitoides con edades radiométricas K/Ar en el rango 108-93 Ma (Boric, 1985).

De base a techo las unidades estratificadas son:

-Formación Arqueros (cretácico inferior): Formación definida por una alternancia de niveles volcánicos y sedimentarios marinos cuyos afloramientos se observan principalmente en el sector noroeste del cuadrángulo (Fig. 2). Subyace a la Formación Quebrada Marquesa El techo es concordante con la Formación Quebrada Marquesa y su base se expone hacia el oeste en el cuadrángulo Lambert (Aguirre y Egert, 1970; Emparán y Pineda, 2000). Según Aguirre y Egert (1965) esta formación puede ser subdividida en cinco miembros, de base a techo son:

Miembro 1 (Ka1): Lavas andesíticas porfídicas con una potencia aproximada de 330 m.

Miembro 2 (Ka2): Calizas, areniscas calcáreas, chert y brechas sedimentarias con matriz calcárea. Su espesor total aproximado es de 150 m.

Miembro 3 (Ka3): Lavas andesíticas similares a las del Miembro 1, con intercalación de caliza. Tiene una potencia promedio de 150 m.

Miembro 4 (Ka4): Areniscas calcáreas, calizas, brechas y conglomerados, con una potencia estimada de 105 m.

Miembro 5 (Ka5): Lavas andesíticas con una intercalación de 12 m de areniscas volcánicas rojas que contienen lentes de manganeso. Su espesor es muy variable estimándose entre 112 a 465 m.

La fauna fósil encontrada en los miembros 2 y 4 permitieron datarla como Hauteriviano-Barremiano Tardío (Aguirre y Egert, 1965).

-Formación Quebrada Marquesa. Esta unidad fue definida por Aguirre y Egert (1962) Formación caracterizada por secuencias volcánicas y sedimentarias continentales con una intercalación marina en la base. Sus afloramientos se observan a lo largo de todo el cuadrángulo. Se dispone en concordancia sobre la Formación Arqueros, no obstante Pineda y Emparán (1997) proponen una relación de contacto por falla. La cual en la zona se puede observar por el de contacto generado por la falla distrital de La Liga.

Aguirre y Egert (1965) subdividieron esta formación en cuatro miembros concordantes, que de base a techo son:

Miembro 1 (Kqm 1): Brechas sedimentarias, lavas, areniscas, tobas, conglomerados y lutitas. Presentan una potencia que varía entre 700 y 1200 m.

Miembro 2 (Kqm 2): Areniscas calcáreas, calcilutitas, calizas, lentes de yeso y lavas andesíticas a riolíticas. Su potencia varía entre 40 a 100 m.

Miembro 3 (Kqm 3): Conglomerados, brechas, tobas, areniscas, lutitas, calizas y chert. Presenta un manto de manganeso cerca de la base. Su potencia varía entre 50 a 250 m.

Miembro 4 (Kqm 4): Lavas andesíticas y basálticas, con dos intercalaciones de areniscas. Su potencia varía de 50 a 350 m.

El contenido fósil de edad Hauteriviano en intercalaciones marinas de la parte inferior de la formación indican una edad máxima hauteriviana para los niveles inferiores (Aguirre y Egert, 1962).

Dataciones U-Pb en circones de los niveles superiores arrojan una edad de 107.0 ± 0.6 Ma, indicando que el rango de edad para la Formación Quebrada Marquesa es Hauteriviano a Albiano medio (Charrier et al., 2007)

-Formación Viñita: Corresponde a una secuencia de lavas andesíticas, tobas y brechas. Se ubica en el sector oriental del cuadrángulo y se dispone en discordancia sobre la Formación Quebrada Marquesa. Su techo se encuentra en contacto concordante con la Formación Los Elquinos, cuyos afloramientos se distribuyen al este del cuadrángulo (Aguirre y Egert, 1965).

Puede ser dividida en tres miembros, que de base a techo son:

Miembro 1 (Kv 1): Conglomerados medios a gruesos gris rojizo con matriz de arenisca volcánica. Presenta un espesor aproximado de 520 m.

Miembro 2 (Kv2): Lutitas, areniscas, calcilitas y calizas. Tiene un espesor aproximado de 285 m.

Miembro 3 (Kv3): Lavas andesíticas, tobas y brechas de igual composición. Se estima una potencia de 650 m. Gastrópodos mal conservados de calizas basales del Miembro 2, permitieron asignar a esta formación una edad tentativa Albiano tardío - Coniaciano temprano a medio (Aguirre y Egert, 1965).

-Rocas Intrusivas: Los afloramientos de rocas intrusivas del cuadrángulo Quebrada Marquesa se ubican principalmente como franjas NS en los bordes occidental y oriental del mismo (Fig. 2).

En la sección occidental del cuadrángulo existen abundantes afloramientos de granodiorita y en menor medida de diorita y granito, pertenecientes a la Franja Central de intrusivos. Sus edades K-Ar van desde el Aptiano/Albiano (108 Ma; Cretácico temprano) a Turoniano (93 Ma; Cretácico Tardío) (Moscoso et al., 1982). Los afloramientos se presentan con alteración hidrotermal y la superficie expuesta a la intemperie ha sido erosionada y meteorizada, por lo que muchos de estos afloramientos están cubiertos por una delgada capa de suelo.

En la sección oriental del cuadrángulo aflora la Franja Oriental, compuesta de stocks dioríticos y en menor proporción granodioritas, cuyas dataciones indican una edad en el rango Paleoceno-Eoceno ($50-56 \pm 15$ Ma) (Moscoso et al., 1982). Estos cuerpos

intrusivos no evidencian halos de alteración importantes en la roca caja y la meteorización ha afectado en menor intensidad a estos afloramientos.

-Estructuras: Sobre la base de relaciones de campo y correlaciones estructurales con otras áreas se han definido tres episodios de fallamiento (Oyarzún y otros, 1998). El primero corresponde a un evento de fallamiento normal de dirección N a NNW, probablemente del cretácico inferior; el segundo episodio compuesto por pequeñas fallas inversas de rumbo EW, corta las estructuras anteriores. Finalmente, un evento de fallamiento normal lístrico de dirección NW a NNE de edad terciaria, provocaría grandes desplazamientos de más de 2 km. (Aguirre y Egert, 1965). Este último evento podría estar relacionado a una reactivación de las estructuras de dirección N a NNW. Un sistema de fallas de rumbo NS y manteo al E, cuya estructura principal denominada Falla La Liga de aproximadamente 25 km de largo, pone en contacto rocas de las Formaciones Arqueros y Quebrada Marquesa (Emparán y Pineda, 1997).

4.2 Geología yacimiento

Generalidades: El área donde se encuentra las minas de Cu y Ag, Coca-cola I y II corresponden al sector denominado cerro Tambor, el que geológicamente pertenece a la Formación Quebrada Marquesa, varios autores han definido su geología durante los años, siendo los principales y aún vigentes el estudio de Kamono y Boric (1982) llamado "Inventario Poli metálico y estudio Geológico de DMT", encargado por CORFO, y que dio origen al trabajo de Boric (1985), sobre la estratigrafía, estructura y mineralización del Distrito minero Talcuna a escala 1:5.000. Posteriormente importantes casas de estudios del país, tales como la Universidad de La Serena y la Universidad de Concepción, realizan publicaciones sobre el DMT. Entre ellos destacan los estudios, de carácter regional y estructural, realizados por Camus (1986) y Moscoso y Mpodozis (1988), y el de geología distrital de Ruiz y Peebles (1983). A partir del año 1990, el número de publicaciones e informes realizados por las compañías mineras de la zona, se incrementan, aunque estas más bien poseen orientaciones productivas de extracción mineral de Cu y Ag . La

elaboración del mapa geológico a escala 1:2.000 de Payne (1995), constituye un valioso instrumento para determinar los recursos económicos y la definición de las unidades mayores en el área del cerro Tambor y alrededores (anexo Figura 3).

Desde el año 2000 a la fecha, los trabajos de carácter local apuntan principalmente a la determinación de recursos mineros, dentro de estos se encuentra los trabajos de Toledo (2003, 2004), quien principalmente se enfoca en la descripción y definición de las unidades mineralizadas explotables. En general, las últimas definiciones de unidades litológicas del cerro Tambor se encuentran basadas en el trabajo de Payne (1995) las que han sido modificadas a través del tiempo para que se adapten de mejor forma a los objetivos geológicos operacionales de explotación. Un resumen de la evolución de las clasificaciones litológicas se muestra en la tabla 1 (anexo).

4.2.1 Unidades Litológicas. A continuación, se describen las principales unidades litológicas de mina definidas para este trabajo las cuales están basadas tanto en la información histórica como en la incorporación de nuevos antecedentes geológicos.

-Areniscas superiores: Unidad con un espesor de hasta 30 m. Está formada por areniscas medias a gruesas de color rojo-café y conglomerados con fragmentos heterolíticos de composición principalmente andesítica. Comúnmente, cerca del techo de areniscas rojas, la unidad presenta intercalaciones de areniscas finas de 1 a 3 m de espesor en planos estratificados lenticulares. Su color varía de gris rojizo a rojo parduzco.

-Areniscas y Fangolitas Rojas o techo Rojo: Esta unidad presenta un espesor variable entre centimétrica a 6 m. Consiste en limolitas, fangolitas y areniscas finas de color rojo intenso, en algunos sectores posee niveles menores de impregnación de óxidos de Hierro y toman tonalidades que van del negro y gris-amarillo a café oscuro. Esta unidad generalmente se encuentra bien estratificada y fuertemente hematitizada lo que le da su característica principal. Esta unidad determina el límite superior del yacimiento desde el punto de vista económico, es decir que en contadas ocasiones se han detectado pequeñas concentraciones minerales sobre este techo las que no superan la calificación de

subeconómicas debido a que su escasa porosidad forman un nivel impermeable para la mineralización de cobre.

-Manto Delirio: Unidad de hasta 40 m de espesor, el cual disminuye hacia el norte. Está constituido por andesita a andesita basáltica, con textura afanítica en las cuales un 10 a 20% de su volumen lo ocupan amígdalas de hasta 2 cm rellenas principalmente por calcita, siendo menos abundante clorita, cuarzo, zeolita y localmente sulfuros de Cu.

La mineralización metálica se presenta en amígdalas (en la periferia o rellenándolas totalmente), localmente se observan vetillas de menos de 1 mm de espesor (Kamono y Boric, 1982)

Los minerales de mena hipógenos presentes son bornita y calcopirita. Al microscopio, se identifican pequeñas cantidades de calcosina y covelina. crisocola y malaquita aparecen reemplazando a los sulfuros en los afloramientos superficiales del manto. El mineral de ganga más abundante es calcita. Al microscopio y mediante difracción de rayos X, se reconoce baritina, prehnita, albita, epidota, zeolita (analcima y analcima-wairakita) y hematita. Todos los minerales de ganga aparecen junto a los de mena relleno de las amígdalas y las vetillas. (Palma, 2018)

-Manto Talcuna: El Manto Talcuna posee un espesor de 1 a 22 m de acuerdo a las interpretaciones y mapeos de galerías de interior mina, este manto, según se ha observado no posee una extensión continua en toda el área de yacimiento, siendo más potente en el sector norte y gradualmente desaparece hacia los sectores más al sur donde solo se puede observar manto Delirio, esta transición se ha observado mediante un engranaje horizontal. El manto consiste en tobas de lapilli fina a gruesa de composición andesítica muy bien estratificada. Los fragmentos son predominantemente angulosos, bien seleccionados y afaníticos. La matriz está dominada por calcita, que es más abundante en las capas mejor seleccionadas. Este nivel corresponde al nivel estratoligado con mineralización económica de Cu y Ag. Los minerales de mena presentes son principalmente calcopirita y bornita, y en menor proporción otros minerales metálicos y de ganga como calcosina, galena, esfalerita, digenita, covelina, pirita, magnetita y hematita. Esta mena aparece distribuida en el cemento de las rocas, rodeando los clastos o también en pequeñas vetillas de 1 mm de

espesor. La ganga no metálica corresponde principalmente a calcita y en menor grado a clorita. Peebles (1966) subdividió esta subunidad en 3 niveles estratigráficos debido a la heterogeneidad en la mineralización metálica, de base a techo estas son:

Manto Ilusión. Consiste en una alternancia de areniscas y tobas de lapilli con mineralización intermedia, caracterizadas por su color verde a verde oscuro. En general es un manto de baja ley de cobre 0,2 a 0,5% CuT y cuya mineralización metálica es principalmente calcopirita, pirita y galena.

Manto Intermedio. Areniscas finas con intercalaciones escasas de tobas de lapilli. Mineralización débil en general es considerado un nivel estéril ya que en la mayoría de su extensión presenta leyes menores de 0,2% de CuT, esto debido principalmente, al ser niveles de granulometría más fina presentan una baja porosidad y matriz que permitan la permeabilidad de los fluidos mineralizados.

Manto Castellano. Alternancia de tobas de lapilli y areniscas tobáceas laminadas de color gris verdoso a rojiza se caracterizaría por poseer una mayor porosidad con una mayor cantidad de matriz de calcita, lo que permitió una mayor permeabilidad de los fluidos mineralizados por consecuencia posee una mayor mineralización con bornita, calcopirita y con menores cantidades de pirita galena y otros sulfuros de cobre, en general posee leyes económicas sobre 0,7% CuT.

-Tobas Andesíticas: Tobas cristalinas, tobas líticas de fragmentos andesíticos polidimensionales y brechas y/o aglomerados volcánicos de fragmentos de composición andesítica. El diámetro medio de los fragmentos líticos es 20 mm, encontrándose hasta de 100 mm (Toledo, 2003). La alteración es baja y en general corresponde a una leve alteración clorítica, asociada a un metamorfismo de enterramiento. Esta roca es poco receptiva debido a su baja porosidad, aunque al estar asociado a las zonas de debilidad estructural aledaña a las estructuras mayores se alojan la mayor cantidad de zonas vetiformes con mineralización de cobre. En general esta zona unidad abarca una potencia que.

-Areniscas Rojas o Piso Rojo: Nivel inferior considerado piso del yacimiento, consiste en un nivel bien estratificado formado por areniscas y areniscas finas con fuerte impregnación de óxidos de hierro, al igual que el techo rojo genera un nivel impermeable debido a su baja porosidad, provocando una estrangulación de vetas y mineralización. Actualmente es considerado el límite de separación de los niveles mineralizados superiores de los niveles estériles inferiores.

4.2.2 Estructuras Mayores: Estructuras definidas como principales, la cuales por su importancia y desplazamiento de bloques juegan un papel relevante en la distribución geológica del yacimiento (Fig. 4).

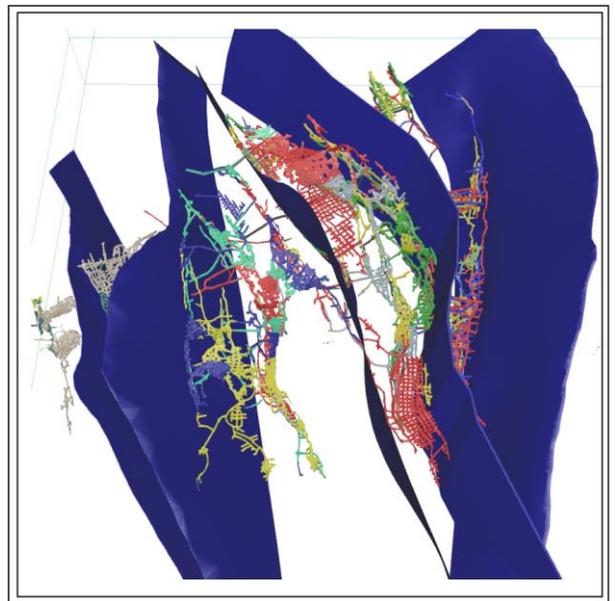


Figura 4: Estructuras mayores modeladas en 3D, descritas en este trabajo y topografía mina Coca-cola I y II.

-Falla Septiembre: Estructura principal del yacimiento la cual separa el bloque oeste mineral del bloque este estéril, es una falla mayor normal con evidencias de reactivación por correlación de diques. Su interpretación actual es de falla normal dextral con un desplazamiento aún desconocido en la vertical y un desplazamiento horizontal de 20 m aproximadamente. Su manto es de carácter lístrico en niveles de cota superiores es de 75° a 65° y en niveles inferiores se ha mapeado un manto de 50 a 55° SW, su potencia es variable y va desde los 1 a 10 m con zona de roca cizallada y fuertemente fracturada.

-Falla Protectora: Estructura mayor con rumbo variable que va de NS a N30°W y manteo de 70 °SW, esta estructura separa principalmente la zona de vetas asociadas a la falla Septiembre y da inicio a un sector mixto donde se observan niveles estratoligados y vetiformes.

-Falla Chilena: Estructura mayor que divide las minas Coca-cola I y II, posee un rumbo y manteo de N35°W/80SW, con un desplazamiento vertical de aproximadamente 40 m. Su importancia radica en su desplazamiento vertical el que separa 2 grandes bloques mineralizados del yacimiento bloque Oeste y bloque Este.

-Falla Andacollo: Estructura mayor de rumbo N20°y manteo 75°NE, se considera el límite Oeste de la mina Coca-cola I y posee un desplazamiento vertical de aproximadamente 40 m, su importancia radica que al este de esta falla los sistemas vetiformes son de menor cuantía y profundidad, tomando una mayor relevancia el sistema de estratoligado.

-Falla San Antonio: estructura mayor de rumbo y manteo N35°W/75-80 NE, esta estructura posee un desplazamiento vertical de 20 m y separa las minas Emelina de la mina San Antonio.

4.2.3 Cuerpos Vetiformes. Los cuerpos vetiformes con mineralización de Cu-Ag del Distrito Minero Talcuna, según Kamono y Boric (1982), corresponden a vetas o sistemas de vetillas que en gran parte rellenan fisuras o zonas de fallas. Estos cuerpos tendrían un rumbo variable N10°W a N40°W, con una mayor concentración en las direcciones N30°W a N40°W. En general vetas menores subparalelas y vetillas de algunos centímetros forman cuerpos mineralizado de hasta 35 m de potencia, lo que corresponden a los cuerpos de veta económicamente explotable (Martínez, 1995). Martínez (1995) relaciona espacialmente la geometría de los cuerpos vetiformes mineralizados (sistema de vetillas o vetas), con las fallas de dirección N-W y N-S. Salgado (2004) reconoce 2 tipos de eventos en las vetas mineralizadas, vetas con texturas bandeadas que serían el resultado de varios eventos extensionales de pequeña magnitud, representados por cada una de las bandas que la conforman; y las vetas con textura de brechas

hidráulicas que serían formadas durante un importante evento extensional, provocando un importante paso de fluidos a alta presión. La mayoría de las vetas tiene una combinación de ambos eventos. Observando las estructuras mineralizadas es posible reconocer que las vetas con relleno bandeado son anteriores a las de brechas hidráulicas Salgado (2004).

5.Resultados

Para efectos de modelamiento y estimación de recursos geológicos, y basado en los datos anteriormente descritos, se definieron 9 unidades geológicas (Fig. 5).

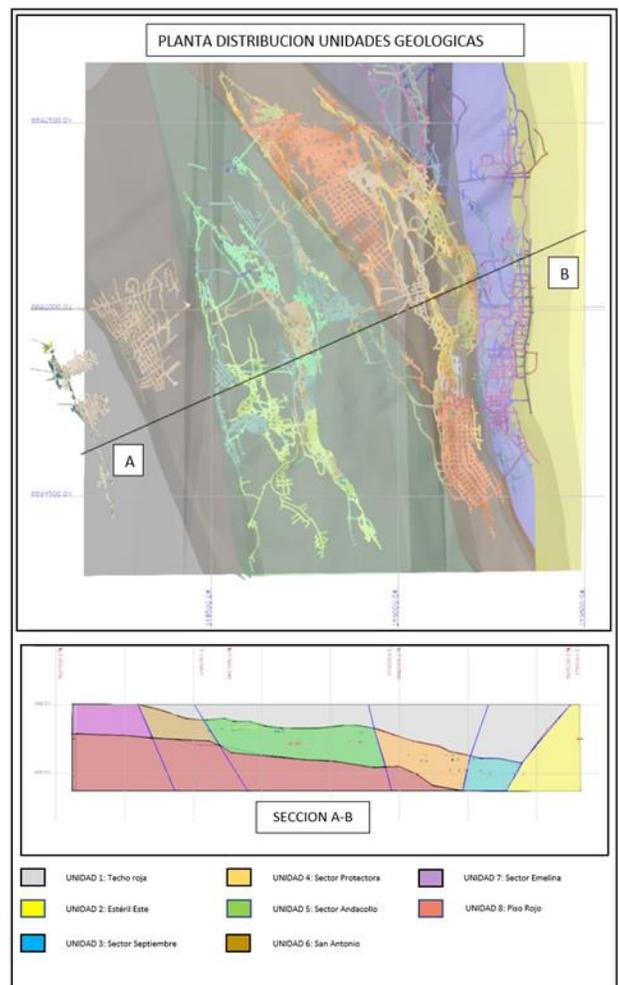


Figura 5: Planta y sección A-B con distribución de unidades geológicas, modeladas en 3D, definidas en este trabajo

Unidad 1: Denominada techo rojo, corresponde al límite superior de la zona mineralizada económica. Se define como el nivel impermeable que actúa como techo de los fluidos mineralizados.

Unidad 2: Denominada estéril este, corresponde al sector ubicado al este desde la falla Septiembre. Aunque mediante sondajes ha sido posible definir pequeñas intersecciones mineral, estas han sido de carácter subeconómico, por lo que se considera una unidad estéril.

Unidad 3: Denominada unidad Septiembre, corresponde a la zona ubicada entre las fallas Septiembre y Protectora. Se caracteriza por ser una zona de alta ley con importante mineralización de bornita y ausencia de niveles de manto mineralizado, por lo que es un sector de vetas donde se producen las vetas de mayor potencia y altura del yacimiento hasta 120 m.

Unidad 4: Denominada unidad Protectora, corresponde a la zona delimitada por la falla Protectora al este y la falla Chilena al oeste. Se caracteriza por ser una zona con buen desarrollo de mantos tipo estratoligados principalmente Manto Talcuna en el sector centro-norte y manto Delirio en el sector sur. Las vetas son desde el punto de vista económico importantes con mineralización de bornita mayor a calcopirita, con potencias de hasta 10 m y alturas que en promedio alcanzan los 100 m.

Unidad 5: Denominada unidad Andacollo, Corresponde a la zona delimitada por la falla Chilena al este y la Falla Andacollo al oeste. Se caracteriza por ser un sector con importantes desarrollos de manto Talcuna, por lo que corresponde a los sectores explotados más antiguos del yacimiento. El desarrollo de vetas es menor, las cuales poseen una altura promedio que no supera los 60 m y donde la mineralización de calcopirita es dominante, por lo que es de menor ley que las unidades 3 y 4 en las que la bornita es el mineral principal.

Unidad 6: Denominada unidad San Antonio corresponde a la zona delimitada por las Fallas Andacollo al Este y la falla San Antonio al Oeste. Es principalmente un sector de manto Talcuna donde el sistema vetiforme es de menor cuantía con alturas que no superan los 30 m y mineralización rica

en calcopirita, piritita y galena. El nivel estratoligado corresponde a tobas de lapilli (Manto Talcuna) puede alcanzar una potencia de 20 m.

Unidad 7: Denominada unidad Emelina, corresponde al sector delimitado por la falla San Antonio al este y la superficie. Es el sector más al oeste del yacimiento y en consecuencia el sector más superficial. Corresponde a un sector de explotación antigua sin antecedentes de sondajes, por topografía y registro históricos. Corresponde a un sector de manto Talcuna con una nula o muy débil presencia de vetas.

Unidad 8: Denominada Piso rojo, corresponde al límite inferior de la zona mineralizada económica. Este nivel formado principalmente por arenisca con una fuerte impregnación de óxido de hierro. Tanto en este nivel como bajo este, la mineralización observada es vetiforme y centimétrica por lo que adquiere un nivel subeconómico. Es considerado el límite inferior del yacimiento.

Unidad 9: Denominada Diques, corresponde a unidad estéril formada por diques de grano fino a afaníticos microdioríticos (Romero, 2008). Estos poseen una tendencia de rumbo Noreste y en su mayoría subverticales. Se consideran intrusiones postminerales de carácter estéril, su potencia es de hasta 3 m por lo que su importancia del punto de vista productiva radica en el diseño de producción de corto plazo y en una cuantía menor en el cálculo de reservas.

6. Discusión

En base a lo anteriormente descrito y a lo mencionado en este trabajo, se puede mencionar que a diferencia de otros autores como Payne (1995), quien definió las principales unidades geológicas del cerro Tambor o Toledo (2004) quien definió las principales unidades que abarcan la explotación minera, se logró mediante la unificación y revisión de antecedentes geológicos, definir los límites superiores e inferiores que separan los niveles económicamente mineralizados de los niveles considerados estériles en el yacimiento. Independientemente de lo anterior se logró definir una serie de unidades geológicas nuevas que involucran tanto factores litoestratigráficos como

estructurales con características particulares que permiten mejorar la estimación de recursos de largo y mediano plazo, guiándola y limitándola según estos rasgos geológicos.

Además, como objetivo principal y a diferencia de autores anteriores se logró generar cuerpos modelados 3D (Figura 6) de cada una de las unidades geológica y estructuras principales o mayores, lo que permite una serie de trabajos en software de modelamientos y estimación.

En la tabla 2 se muestran los estadígrafos principales de muestras de sondajes diamantinos y de sondajes de corto plazo compositas a 2 m de cada unidad geológica generada en este trabajo, donde se pueden observar que las unidades definidas como piso (Unidad 8) y techo rojo (Unidad1), además de la Unidad 2 estéril este, presentan leyes de cobre relativamente más bajas que las demás unidades (Gráfico 1). Además, se observa que las unidades definidas como minerales Unidad 3 a 6 presentan una disminución de ley media de Este a Oeste lo que concuerda con la transición de mineralogía de bornita a calcopirita mencionada en el trabajo de Palma (2008) (Figura 7).

Tabla 2: Estadígrafos Cobre total por unidad geológica.

Estadígrafos Muestras compositas 2 metros								
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8
N° Muestras	1569	2484	31738	30808	21643	4439	279	1583
Mínimo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Máximo	3.04	6.06	15.9	13.1	9.25	7.9	3.7	6.8
Media	0.14	0.18	0.49	0.46	0.41	0.35	0.33	0.19
Desv. Est.	0.24	0.36	0.69	0.65	0.56	0.57	0.48	0.36
Varianza	0.06	0.13	0.48	0.42	0.31	0.32	0.23	0.13

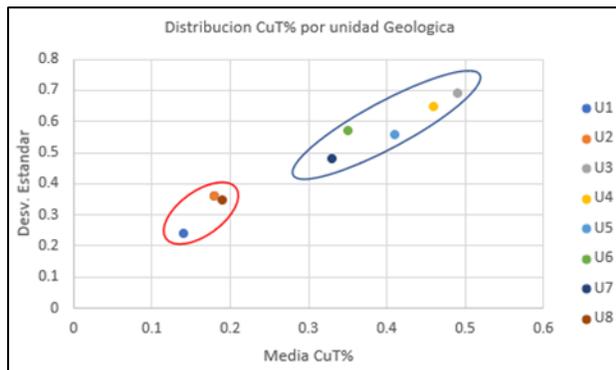


Gráfico 1: Estadígrafos de muestras compositas por unidad geológica.

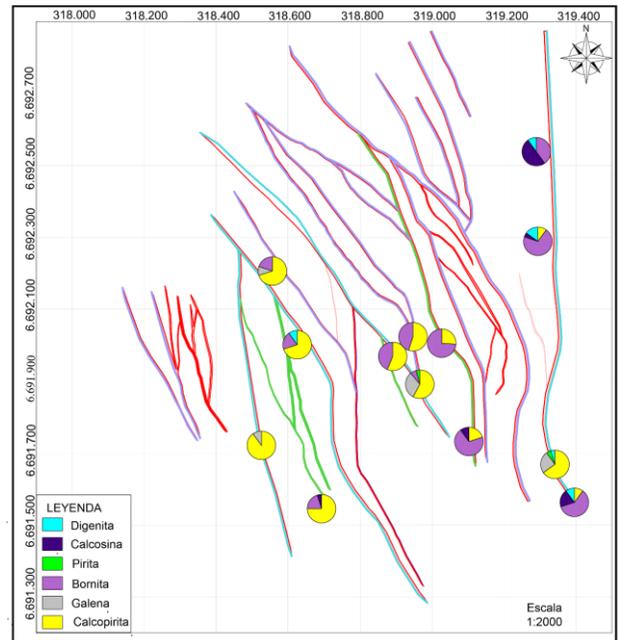


Figura 7: Plano vetas principales mina Coca-cola I y II indicando distribución porcentual de sulfuros. (Palma 2008).

7. Conclusion

La definición de litologías de las minas Coca-cola I y II históricamente se ha realizado con fines geológicos y en algunos casos diferenciando niveles estratoligados económicamente rentables, sin incorporar las demás variables geológicas que afectan estos niveles. En el presente trabajo se realizó un primer intento de generar límites estratigráficos y estructurales que permitan generar zonas concretas para la estimación.

Por otro lado, se logró una actualización de las unidades litológicas previamente definidas por Toledo (2003), mediante un trabajo de revisión, unificación y estandarización de información histórica, lo que se tradujo en la incorporación de nuevos niveles que limitan la zona mineralizada.

Esta nueva definición de 9 unidades geológicas basados en rasgos estructurales, litológicos y de mineralización, permiten establecer límites duros y diferenciables para una mejora en la estimación de recursos y diseños de ingeniería.

Se genera el modelamiento y generación de cuerpos 3D de las nuevas unidades geológicas definidas, además, de un modelo geológico 3D de las principales fallas consideradas como mayores del yacimiento.

Las nuevas unidades definidas pueden validarse mediante los estadígrafos (Tabla 2) basados en información de muestras de sondajes compositadas. Como recomendación se puede indicar la importancia de continuar con la actualización de la información geológica, manteniendo una base unificada que permita seguir ajustando y de ser necesario incorporar nuevas estructuras o unidades geológicas. Además, se recomienda trabajar en definir unidades geológicas acotadas y específicas del nivel estratoligado las que actualmente se encuentran principalmente en sectores de explotación antigua por lo que su información es escasa.

8. Referencias

- Aguirre, L., Egert, E. 1962. Las formaciones manganesíferas de la región de Quebrada Marquesa, Provincia de Coquimbo. *Rev. Minerales*, año XVII, no. 76, Santiago, Chile.
- Aguirre, L., Egert, E. 1965. Cuadrángulo Quebrada Marquesa. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile. Carta Geológica de Chile 1:50.000. no. 15, p. 92.
- Aguirre, L., Egert, E. 1970. Cuadrángulo Lambert, (La Serena) Provincia de Coquimbo, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile. Escala 1:50.000; 28 p.
- Boric, R. 1985. Geología y yacimientos metálicos del Distrito Talcuna, IV Región de Coquimbo. *Revista Geológica de Chile*, no. 25-26, pp. 57-75.
- Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En: Moreno, T., Gibbons, W. (Eds.). *The Geology of Chile*. The Geological Society. pp. 24-114.
- Emparán, C., Pineda, G. 1999. Área Condoriaco-Rivadavia, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile. Mapas Geológicos no. 12, escala 1: 100.000.
- Emparán, C., Pineda, G. 2000. Área La Serena - La Higuera, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile. Mapas Geológicos no. 18, escala 1:100.000.
- Kamono, H., Boric, R. 1982. Inventario Polimetálico y estudio geológico, distrito minero de Talcuna. SERNAGEOMIN, Santiago, 144 p.
- Marquardt, C; Ponce, E; Hohf, M; 2007. Informe de Avance N°3. Evaluación Preliminar Recurso Potencial 10 MT. Compañía Minera Talcuna, Informe Interno, 22 pp. La Serena. Chile.
- Marquardt, C; Ponce, E; Hohf, M; 2008. Recursos Inferidos en Cerro Tambor. Distrito Minero Talcuna. Región de Coquimbo. Informe Interno, 54pp. La Serena, Chile.
- Moscoso, R., Nasi, C., Salinas, P. 1982a. Geología de la Hoja Vallenar y parte Norte de la Hoja La Serena. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Carta Geológica de Chile, no. 55.
- Oyarzún, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. y Oyarzún, J. 1998. Cu, Mn and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts. *Mineralium Deposita* no. 33; pp. 547-559
- Palma, X. 2018. Alteración y mineralización en sistemas de vetas de minas coca-cola I y II: implicancias para la Genesis de depósitos estratoligados en distrito minero Talcuna, (inédito) Chile. Universidad Andrés Bello. Tesis de Grado. p.265.
- Payne, J. 1995. Geology Progress Report on the Talcuna District Region III, Chile. Informe Interno.
- Peebles, F. 1966. Estudio geológico del distrito cuprífero de Talcuna. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago; 100 p.
- Pineda, G., Emparán, C. 1997. Nuevos antecedentes de la estratigrafía y geocronología cretácica del norte del río Elqui: Evidencias de Tectónica extensional. In VIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta. Vol 1, pp. 215-219.
- Pineda, G., Emparán, C. 2006. Geología del área Vicuña-Pichasca, Región de Coquimbo. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica no. 97, Escala 1:100.000.
- Romero, M. 2008. Caracterización litogeoquímica del Distrito Minero Talcuna IV Región de Coquimbo. (inédito), Universidad de Chile. Tesis de grado p. 89.
- Salgado, C. 2004. El sistema estructural de los yacimientos del Distrito Minero de Talcuna, Provincia del Elqui, IV región de Coquimbo. Chile (inédito). Universidad de Concepción, Chile. Tesis de Grado. p. 100.
- Toledo, A. 2004 Modelo Geológico Estructural con aplicación a la actividad minera en las minas Coca-Cola I y II. Distrito Minero de Talcuna IV Región de Coquimbo, Chile (inédito). Universidad de Concepción. Chile. Tesis de Grado.

ANEXOS

Tabla1: Cuadro Resumen unidades litoestratigráficas propuesta por distintos autores.

Aguirre y Egert, 1962	Kamono y Boric, 1982	Payne, 1994	Toledo, 2003.	Este trabajo
Miembro 2	U4 , Areniscas calcáreas y lutitas	U4 , Rx. Volcanoclástica, areniscas y fangolitas.		Ar. Sup Areniscas, medias rojas
Miembro 1	U3-1 , Areniscas calcáreas y lutitas rojas	U3 , Fangolita y niveles ricos en manganeso.	Tv (Fe-Mn) . Toba andesítica rojas con óx. de Fe y Mn.	Techo Rojo: Fangolitas y arenisca rojas
	U3-2 , Areniscas y lutitas rojas de Fe-Mn			
	U2-2 , nivel volcanoclástico, andesitas amigdaloidal lenticulares	U2b, Manto Delirio , Flujo de lavas andesíticas	Vo , Lacolito microdiorítico amigdaloidal	Vo , andesitas rojas amigdaloidales y lenticular
	U-2-1 , Horizonte volcanoclástico Este nivel contiene un nivel de areniscas tobaceas y tobas de lapilli, denominado Manto Talcuna	U2a, Manto Talcuna , tobas andesíticas de grano fino a grueso con matriz de calcita y mineralización de bornita y calcopirita diseminada.	Tc , tobas de lapilli gruesa Manto Castellano .	MC , Toba de lapilli de clasto rojo
			Ai , Areniscas finas, Manto intermedio .	AI , Manto intermedio arenisca fina
U1 , tobas brechosas, tobas de lapilli y andesitas	U1 , Secuencia de tobas y tufitas con domos intercalados	Tc-A , tobas de lapilli y arenisca fina, Manto Ilusión	MI , tobas de lapilli y arenisca. Manto Ilusión	
		Tv , tobas andesíticas, brechas andesíticas	TV , Tobas andesíticas	
				Piso rojo: Areniscas rojas

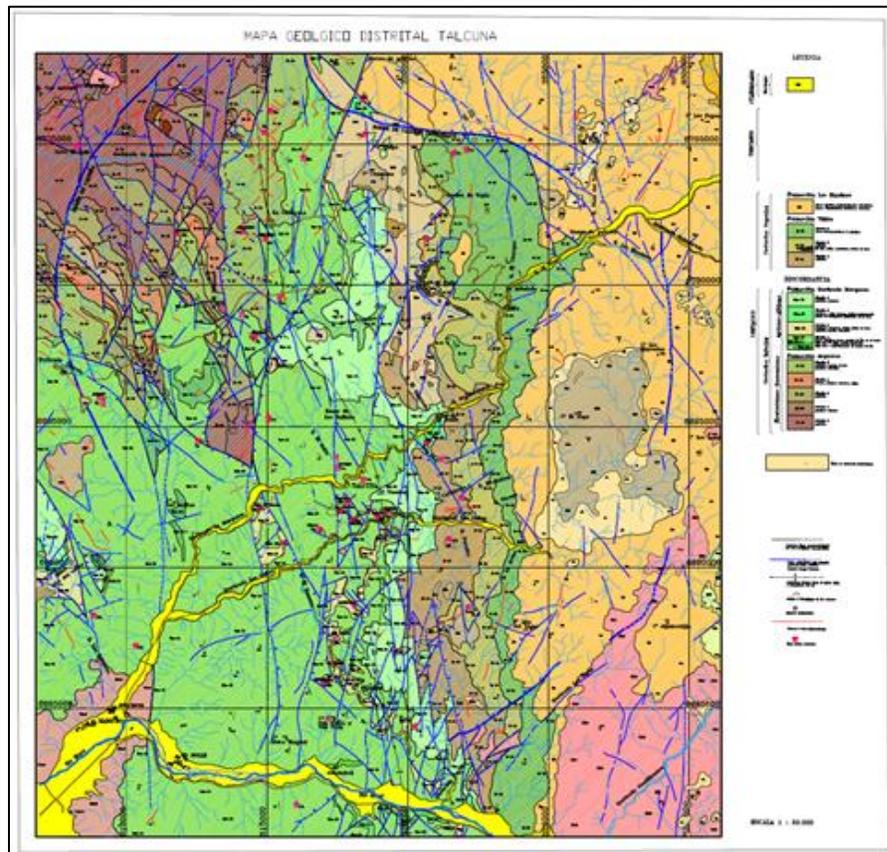


Figura 2: Mapa Geológico Distrito Talcuna, (modificado de Aguirre y Egert 1965).

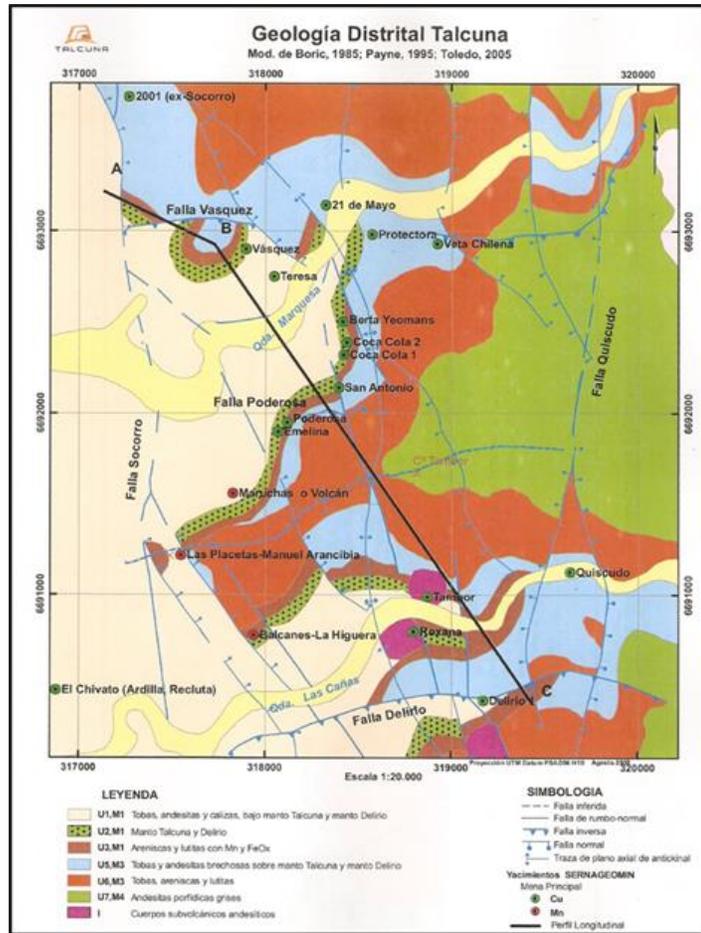


Figura 3: Mapa geológico distrito Talcuna, Modificado de (Boric 1985, Payne 1995 y Toledo 2005).

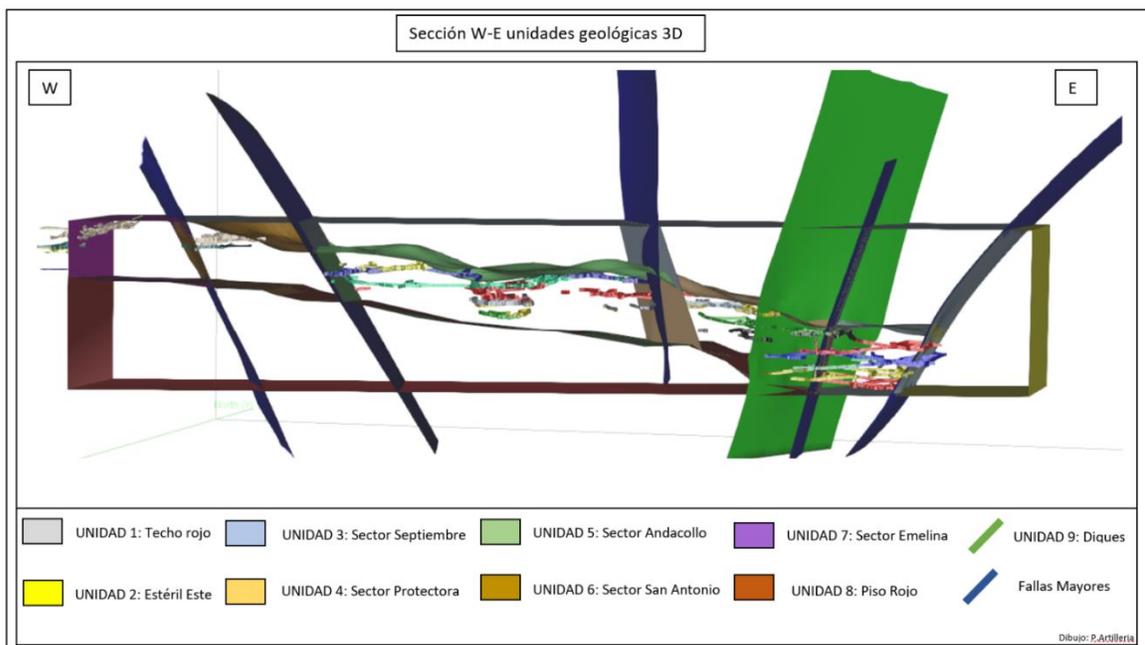


Figura 6: Sección Oeste-Este, área mina Coca-cola I y II, mostrando galerías explotadas, unidades geológicas y estructuras mayores definidas en este trabajo.