



## “ACTUALIZACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO DE CU(AG) MINA DOÑA ELBA, TALTAL, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE”.

**Erwin Richard Wettke Duhalde**

**Profesor Guía: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra**

**Profesores Comisión: Msc. Abraham Elías González Martínez**

**Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn**

### Resumen

Este estudio geológico de mina Doña Elba (Figura 1.1) tiene como finalidad determinar la presencia de mineralización económica de sulfuros, alojada en el entorno de las estructuras Avioneta, Sur, y Humberto, localizadas al W de un complejo intrusivo diorítico, subvertical, que actúa como barrera, limitando la mineralización hacia el SE, para definir los reales controles de la mineralización, comprobar la continuidad en profundidad de los cuerpos explotados en el pasado, y la búsqueda en profundidad de nuevos cuerpos mineralizados de interés económico.

El objetivo es realizar una actualización geológica de subsuperficie del yacimiento, así como evaluar y reconocer el potencial de mineralización de interés económico de sulfuros, que permita orientar futuros trabajos, basados en una campaña de 14 sondajes diamantinos, perforados desde labores subterráneas de Mina Doña Elba durante 2016, alcanzando un total de 2.700 m.

Los resultados obtenidos permiten reconocer la posición, correlación espacial y control estructural de los principales cuerpos minerales de bornita-calcosina, de alta ley de Cu (Ag), entre las cotas 800 y 300 m s.n.m., y una zona mineralizada continua a partir de la cota 550 m s.n.m., estimando un potencial de 0,5 Mton con 1,2% CuT, como Recursos Inferidos.

**Palabras Claves:** Mineralización económica, estructuras

### 1 Introducción

#### 1.1 Ubicación

Mina Doña Elba se ubica en la comuna de Taltal, extremo sur de la Región de Antofagasta, a 33 km al SSE de la ciudad de Taltal y a 15 km al NNE de Mina Las Luces. Este depósito de Cu-Ag está emplazado en rocas volcánicas de la Formación Aeropuerto (Jurásico Superior).

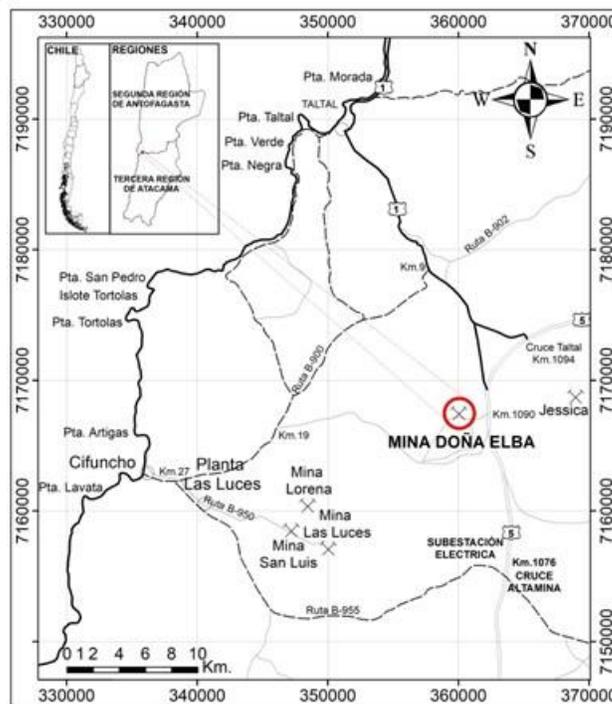


Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso a mina Doña Elba

## 1.2 Objetivo General

Realizar una actualización de los antecedentes geológicos del yacimiento Doña Elba, caracterizando la geología, el emplazamiento de la mineralización cuprífera, y del mismo modo, evaluar y reconocer el potencial de mineralización de interés económico de sulfuros localizados bajo los bloques explotados por minera Las Cenizas entre los años 2006 y 2010, de tal manera que permita orientar los futuros trabajos a desarrollar en el depósito.

## 1.3 Objetivos Específicos

- Actualización del modelo lito-estructural
- Determinar la morfología y actualizar el modelo de mineralización
- Actualizar el modelo de sub-zona mineral
- Determinar las asociaciones de minerales de alteración que acompañan la mineralización de mena.

## 2 Marco Geológico

### 2.1 Marco Geológico Regional

Desde el punto de vista regional, las rocas que afloran en el entorno del área de estudio comprenden edades desde el Paleozoico hasta el Neógeno. El Paleozoico se manifiesta en una franja aproximadamente N-S en la cordillera de la Costa, constituida por rocas metasedimentarias pertenecientes a la Formación Las Tórtolas, de edad Devónico a Carbonífero (Ulriksen, 1979 en Naranjo y Puig, 1984), las cuales son intruidas por granitoides del Grupo Plutónico Cifuncho del Pérmico (Naranjo y Puig, 1984). El Triásico está representado por la Formación Cifuncho (García, 1967), que contiene tanto rocas volcánicas como continentales. Durante el Jurásico se depositan sedimentitas de la Formación Pan de Azúcar (Hettangiano-Sinemuriano) sobre las cuales yace concordantemente un importante volumen de andesitas y brechas pertenecientes a la Formación La Negra (García, 1967), cortada por cuerpos intrusivos pertenecientes al Grupo Plutónico Matancilla (Naranjo y Puig, 1984). Los afloramientos cretácicos están determinados por rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación Aeropuerto (Ulriksen, 1979 en Naranjo y Puig, 1984), por los intrusivos pertenecientes al Grupo Plutónico Cerro Pingo (Ulriksen, 1979 en Naranjo y Puig, 1984) y por cuerpos hipabisales antesíticos (Arcos y otros, 2006). Todas estas unidades se encuentran afectadas por el

Sistema de Falla de Atacama, el cual posee una componente transcurrente sinistral (Amand y Allen, 1960 en Naranjo y Puig, 1984). La erosión de estas rocas ha dado origen a un gran volumen de sedimentos semiconsolidados y no consolidados correspondientes a las Gravas de Atacama (Mortimer, 1973) y, en menor proporción, a gravas y arenas que conforman el relleno actual de quebradas y planicies (Figura 2.1).

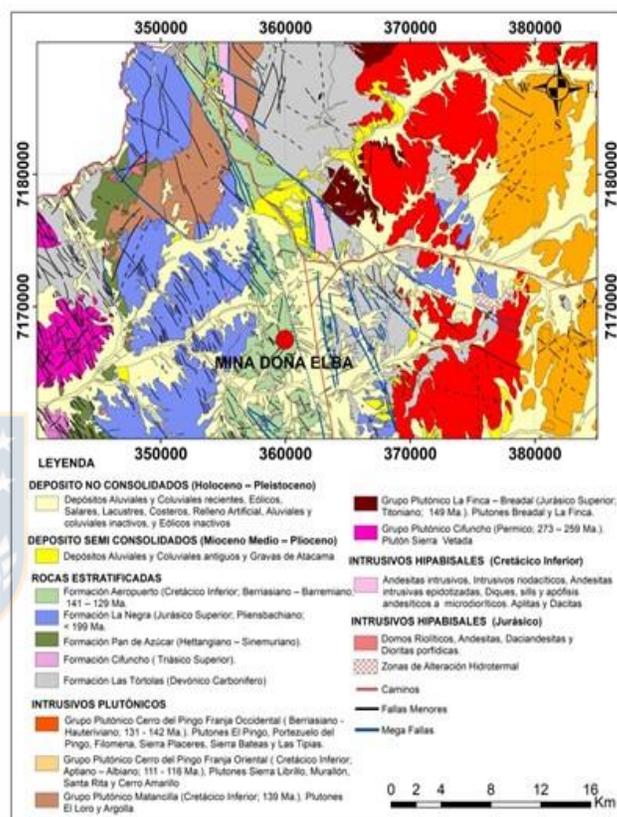
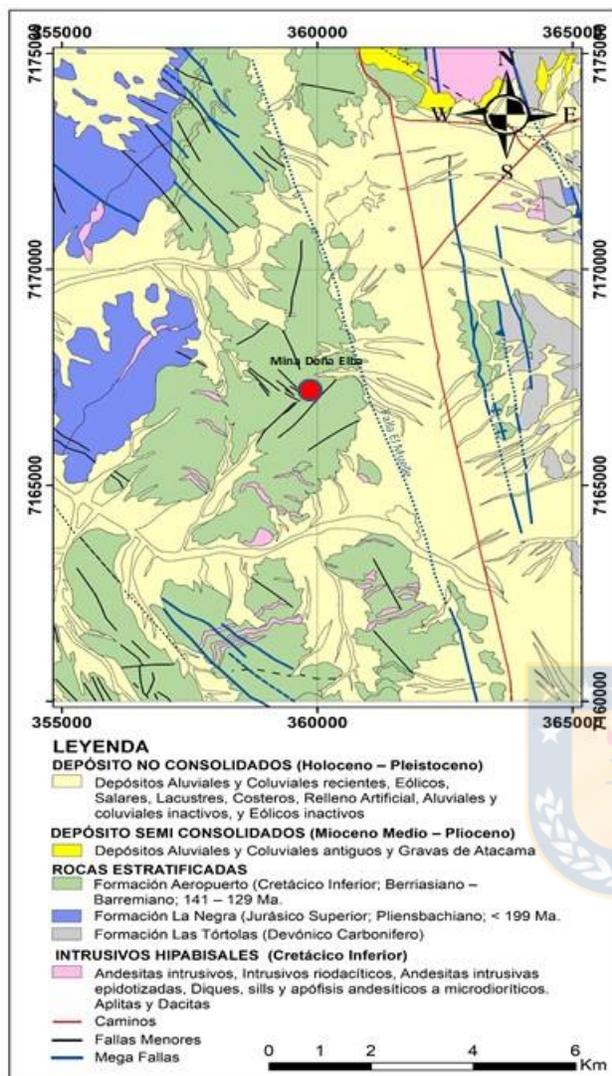


Figura 2.1: Geología regional desde Taltal a Cerro Del Pingo (modificado de Arcos y otros, 2006).

### 2.2 Marco Geológico Distrital

El área se encuentra representada principalmente por secuencias de rocas de origen volcano-sedimentario, asignadas a la Formación Aeropuerto, las que de acuerdo con Arcos y otros (2008) y a Espinoza y otros (2014) pertenecen al miembro superior de la Formación La Negra, que aflora desde Taltal, hasta la quebrada Pan de Azúcar, como una franja continua de orientación N-S, de lavas andesíticas y andesitas basálticas, porfídicas, vesiculares y amigdaloidales, con intercalaciones de estratos de brechas volcánicas y areniscas subordinadas, así como rocas

sedimentarias clásticas y carbonatadas. que tienen un ancho variable entre 8 a 18 km (Figura 2.2).



**Figura 2.2:** Geología distrital del entorno de la mina Doña Elba (basado en Arcos y otros, 2008).

### 2.2.1 Rocas Estratificadas Formación La Negra

Se caracterizan por su composición intermedia a básica, con predominio de andesitas, andesitas basálticas y, en menor grado, basaltos y brechas volcánicas, que se intercalan en capas de potencia variable entre 3 y 20 m. Los contactos entre estas unidades no siempre son claros, correspondiendo más bien a variaciones texturales de las coladas volcánicas emitidas durante el Jurásico.

#### A) Andesitas Afaníticas

Las andesitas afaníticas se caracterizan por ser compactas, de color gris oscuro y gris-anaranjado

debido a la presencia de limonitas. Se intercalan con andesitas porfídicas en capas de potencia variable. Su textura es afanítica con escasos fenocristales de plagioclasa (3%), alterados a arcillas y clorita, con sobreimpresión de calcita. Se identifican pequeñas amígdalas rellenas por cuarzo, calcedonia, clorita y calcita.

#### B) Andesitas Porfídicas

Los afloramientos de andesitas porfídicas, de composición andesítica-basáltica a basáltica, son los de mayor distribución areal y se encuentran intercalados con andesitas afaníticas, basaltos y brechas volcánicas. Poseen tonalidades pardas a pardo-anaranjadas producto de los óxidos de hierro y, generalmente, tienen un aspecto brechoso, debido a la conexión de amígdalas a través de venillas de cuarzo y/o calcita.

#### C) Basaltos Amigdaloidales

Las rocas más básicas del área de estudio se localizan en el sector S y corresponden a basaltos amigdaloidales con textura porfídica. Poseen glomerocristales, fenocristales de plagioclasa y abundante olivino, contenidos en una masa fundamental de textura intergranular gruesa, con abundantes cavidades de desgasificación amigdaloidales, ocupadas por cuarzo y albita en los bordes. Estas rocas comúnmente tienen porcentajes variables (5%-15%) de amígdalas, con formas generalmente redondeadas a ovaladas en la dirección del flujo de lava. El relleno consiste en albita en los bordes y en el centro cuarzo de baja cristalinidad.

#### D) Brechas Volcánicas

Se distribuyen principalmente en el sector N y, de manera subordinada, en una franja central orientada en dirección NW-SE. Presentan composición andesítica-basáltica y se caracterizan por sus clastos rojizos de composición andesítica, con bordes difusos y tamaños que varían entre unos milímetros y 10 cm. Los clastos se encuentran hematitizados, lo cual les confiere la tonalidad rojiza.

#### E) Depósitos Semiconsolidados y no Consolidados

Corresponden a la Unidad Gravas de Atacama, la cual está constituida por sedimentos tamaño arena gruesa conglomerádica, con clastos subangulosos de andesitas porfídicas.

Los depósitos no consolidados, de tipo aluvial y coluvial, corresponden a sedimentos clásticos no consolidados, constituidos por gravas, arenas y limos mal seleccionados., asociados a flujos aluviales depositados durante el Holoceno.

### 2.2.2 Rocas Subvolcánicas: Sills, Diques y Apófisis Andesíticos a Microdioríticos

Consisten en cuerpos tabulares menores de andesitas porfídicas a microdioritas de piroxeno, concordantes (sills o filón manto) y discordantes (diques), con la estratificación y, en menor proporción, cuerpos irregulares (apófisis), que se emplazan en la Formación La Negra, especialmente al sur de la mina Doña Elba.

#### A) Diques

Se concentran en el sector S del área y se orientan en dirección aproximada E-W. Composicionalmente corresponden a andesitas de piroxeno que cortan a las secuencias volcánicas del Jurásico y a las rocas hipabisales (apófisis y filón manto) del Cretácico.

#### B) Sills o Filón Manto

Cuerpos hipabisales de composición intermedia, emplazados entre los estratos de la Formación La Negra. En base a la similitud con los cuerpos hipabisales que intruyen a las rocas de la Formación Aeropuerto (Arcos y otros, 2006) es posible asignarle una edad Cretácico Inferior. Son clasificados como pórfidos andesíticos de grano fino, con textura porfídica fina, formada por fenocristales de plagioclasa y relictos de piroxenos, mayormente lixiviados, que le imprime una textura porosa de color gris claro.

#### C) Apofisis Andesíticos a Microdioríticos

Cuerpos irregulares que afloran en el sector W y NW de la zona de estudio. Se caracterizan por su color gris verdoso, debido a la presencia de cúmulos de epidota y clorita. En las labores subterráneas, es factible reconocerlo en contacto por falla con las andesitas. Es clasificado como un pórfido andesítico de grano fino, con cristales tabulares de plagioclasa.

## 2.3 Geología Local

El yacimiento Doña Elba se emplaza en secuencias de rocas de origen volcano-sedimentario, asignadas a la Formación Aeropuerto, las que de acuerdo con Arcos

y otros (2008) y a Espinoza y otros (2014) pertenecen al miembro superior de la Formación La Negra (Figura 2.3).

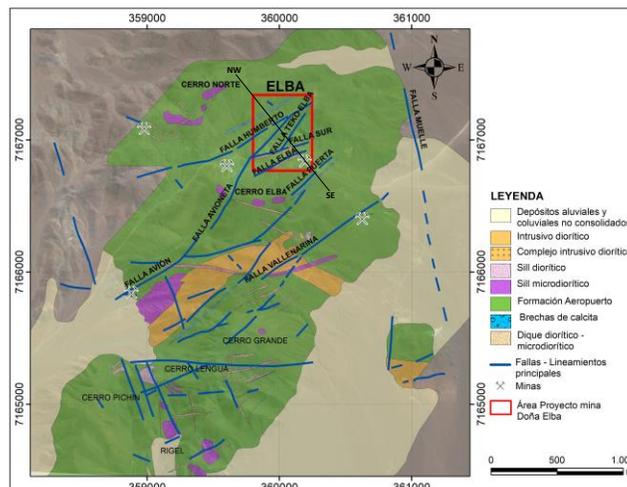
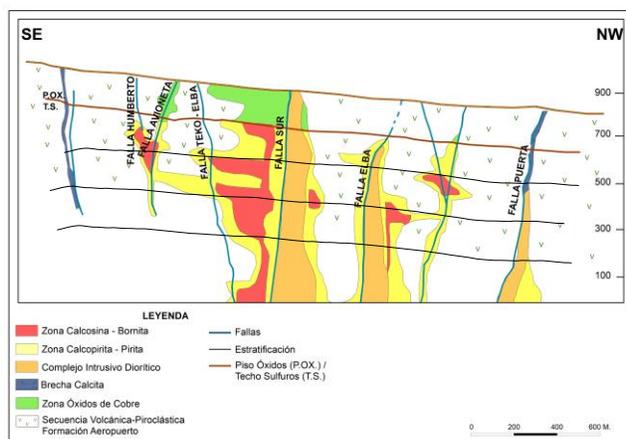


Figura 2.3: Geología de superficie entorno a mina Doña Elba

Las rocas constituyen una franja continua de lavas andesíticas, compuesta por una secuencia de andesitas y andesitas-basálticas, homogéneas, porfídicas, vesiculares y amigdaloidales, de color gris oscuro y pardo-verdoso, con intercalaciones de capas de brechas volcánicas, rocas epiclásticas, así como rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas, dispuestas en dirección NE-SW, con inclinación de 10° a 20° al SSE, las cuales se encuentran intruidas por cuerpos hipabisales de composición intermedia (stocks, cuerpos tabulares, filones mantos), afectados por un sistema de fallas N30°-80°E con manteos subverticales, que estarían controlando, localmente, la intrusión de cuerpos dioríticos pre-minerales y sus posteriores reactivaciones estructurales, conductoras de fluidos hidrotermales con mineralización cupro-argentífera (Cu-Ag), que dan origen depósitos mineralizados del tipo estrato-ligado (Figura 2.4).

En la mina, esta secuencia o franja, la componen andesitas porfídicas del tipo "ocoita" y andesitas porfídicas finas, ambas con sus techos amigdaloidales o vesiculares, con intercalaciones de brechas aglomerádicas.

Cubriendo a las unidades antes mencionadas, se reconocen depósitos no consolidados de tipo aluvial y coluvial.



**Figura 2.4:** Mina Doña Elba, sección tipo mineralización. Destaca mineralización de oxidados de Cu y cuerpo mayor de sulfuros de Cu zonado, bajo la cota 700 m s.n.m., entre las estructuras NE-SW Avioneta, Teko-Elba y Sur (modificado de Olivares y otros, 2016).

## 2.4 Geología Estructural

El elemento estructural más relevante, de escala regional, distrital y local es el “Sistema de Fallas de Atacama” (SFA), de orientación NNW-SSE, el cual se extiende por 4 km en la localidad de Taltal, alcanzando hasta 1 km de ancho.

Asociadas al SFA, existen fallas y pliegues subsidiarios de trazas kilométricas y orientación NW-SE y manteos subverticales, que afloran como fallas y fallas mineralizadas, que se exponen en la zona al W de la Rama Occidental del SFA (Falla El Muelle), donde desplazan principalmente los afloramientos de la Formación Aeropuerto y, en menor medida, de la Formación La Negra, que se exponen a lo largo de la Depresión Intermedia.

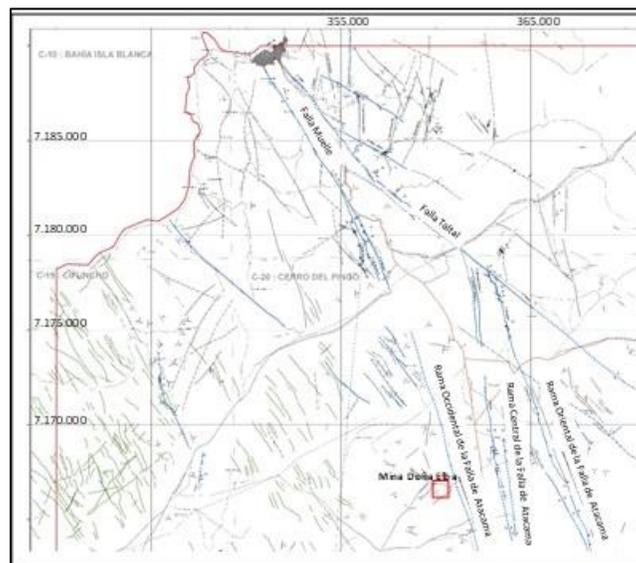
Según Arcos y otros (2006) las estructuras del SFA se pueden agrupar en tres rama, en este sector: Rama Occidental, Rama Central y Rama Oriental (Figura: 2.5).

## 3 Metodología

### 3.1 Gabinete I

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2017 se efectuó la recopilación y revisión de la información geológica del área de estudio. Se consultaron los antecedentes bibliográficos existentes en las oficinas de Producción y Exploración de la Compañía Minera Las Cenizas de Taltal, donde se dispone de informes

inéditos relacionados con la Geología Regional, y con el yacimiento Doña Elba.



**Figura 2.5:** Estructuras del área de estudio (tomado de Arcos y otros, 2006).

### 3.2 Terreno

Consistió en un reconocimiento de superficie y de sub-superficie de los distintos tipos litológicos, labores mineras, zonas mineralizadas y estructuras principales del yacimiento y su entorno inmediato.

El foco de este trabajo estuvo centrado en la revisión y descripción escala 1:100 de los 14 sondajes diamantinos perforados el año 2016, con énfasis en los sondajes que tuvieron interceptos más favorables, DDH16EB06, DDH16EB09, DDH16EB13 y DDHEB14.

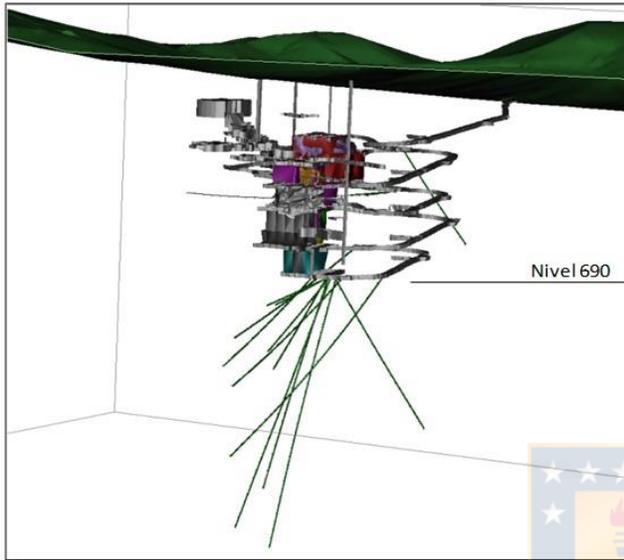
### 3.3 Gabinete II

Finalmente, con la información de campañas de los años 2001, 2005, 2006, 2015 y 2016, se realizó el análisis de la información contrastándola con el modelo geológico existente, concluyendo con el procesamiento de la información, preparación de las figuras y redacción del texto de este trabajo.

## 4 Resultados

Debido a la necesidad de disponer mineral de cobre sulfurado de mina Doña Elba el año 2018, se programa una campaña de exploración de 2.700 m de sondajes diamantinos, perforados desde labores subterráneas, con el objetivo de definir los reales controles de la mineralización, comprobar la

continuidad en profundidad de los cuerpos explotados en el pasado, y la búsqueda en profundidad de nuevos cuerpos mineralizados de interés económico. Los sondajes fueron proyectados bajo el Nivel 690, tomando en consideración: conocimiento geológico, límites de la propiedad minera, existencia de galerías dañadas, niveles de producción, caserones. (Figura 4.1).



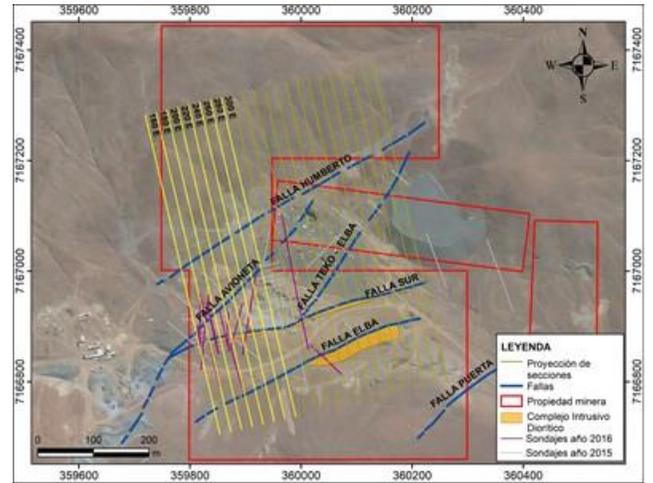
**Figura 4.1:** Isométrico mina Doña Elba con sondajes campaña 2016 perforados bajo el nivel 690. (Tomado de Olivares y otros, 2015).

El mapeo geológico de detalle se efectuó escala 1:100, regido por el procedimiento de trabajo de la Superintendencia de Geología Exploraciones, de Minera Las Cenizas, utilizando la información de los sondajes perforados entre los años 2015 y 2016 (Figura 4.2).

#### 4.1 Secciones Litología-Estructuras

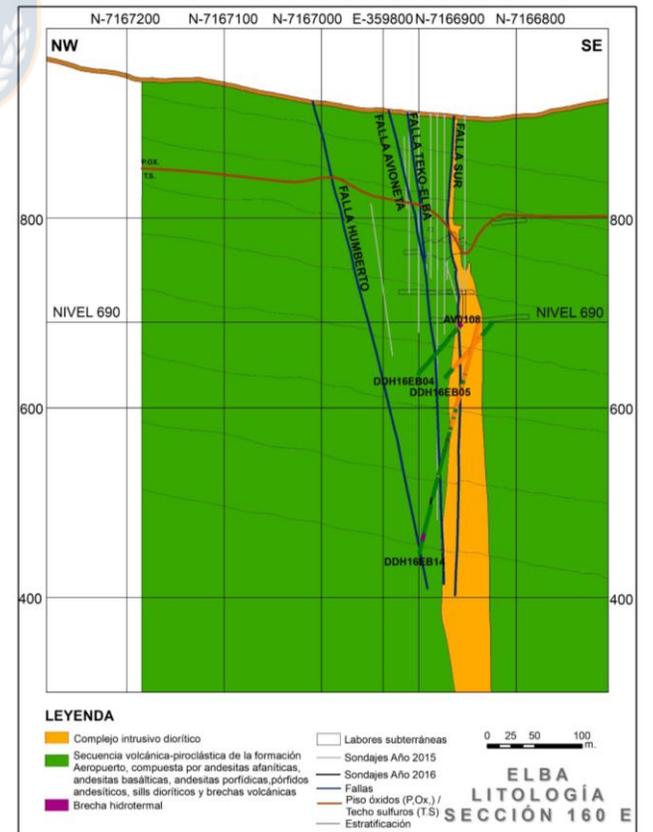
Se interpretaron 6 secciones separadas cada 20 m de litología-estructura (secciones 160 a 260).

La unidad litológica de mayor distribución en el sector de mina Doña Elba, corresponde a una secuencia volcánica de color gris oscuro a pardo verdoso conformada por andesitas brechosas, andesitas afaníticas y porfídicas, vesiculares y amigdaloidales, autobrechas, brechas volcánicas y sills microdioríticos, con una actitud espacial de  $N60^{\circ}-70^{\circ}E/15^{\circ}-20^{\circ}SE$ , asignada a la Formación La Negra de edad Jurásico.



**Figura 4.2:** Área proyecto mina Doña Elba, destacando la propiedad minera, estructuras NE, intrusivos dioríticos, traza de secciones y sondajes perforados el año 2015 y 2016. (Modificado de Olivares y otros, 2015).

Se encuentra intruida por dos complejos dioríticos, subverticales, constituidos por dioritas de grano fino y medio (Diorita Elba), con una orientación preferencial  $N50^{\circ}-70^{\circ}$  con la unidad volcánica (Figura 4.3 y Figura 4.4).



**Figura 4.3:** Sección 160 E Litología/Estructuras mina Doña Elba

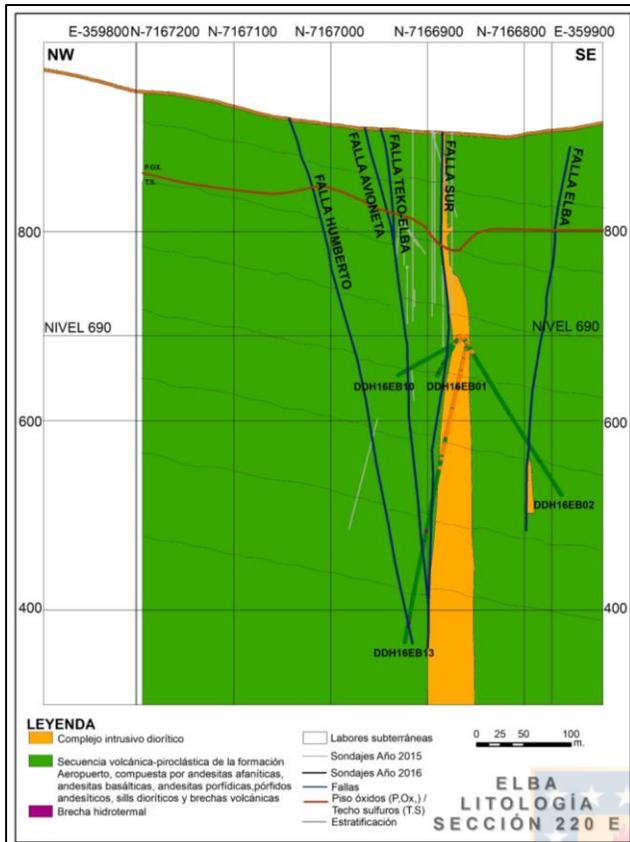


Figura 4.4: Sección 220 E Litología/Estructuras mina Doña Elba

Restringidamente se interceptaron bajo el nivel 690 m, reducidos cuerpos de brechas hidrotermales (color magenta), en general menores a 3 m, con mineralización de sulfuros, y leyes variables de cobre entre  $<0,1\%$  a  $>5,0\%$ , llegando hasta al 10%, localizados en las cercanías de las estructuras noreste Humberto, Avioneta y Sur.

Si bien estos cuerpos de brechas son de reducidas dimensiones, en ocasiones se interceptan dos o tres niveles de brechas hidrotermales, con andesitas intercaladas (sondaje DDH16EB13), originando un manto mineralizado de interés económico de hasta 20 m de potencia.

#### 4.2 Secciones Alteración-Estructuras

Se generaron 4 secciones separadas cada 20 m de litología-estructura (secciones 160 a 220).

En base a los datos capturados en la presente campaña de sondajes, las asociaciones de minerales de alteración que acompañan la mineralización de mena pueden agruparse en tres frentes de alteración

principal: Clorita-Celadonita, Epidota-Clorita y Albita-Sílice-Calcita, cuya disposición y ocurrencia representan el halo más externo al más interno, respectivamente (Figura 4.5).

##### 4.2.1 Alteración Clorita-Celadonita

Se define en base a la presencia dominante de clorita (Clo)-celadonita (Cld), con intensidades variables de albita (Alb en plagioclasas), calcita (Cal), magnetita (Mt), especularita (Esp), hematita (Hem) y cuarzo (Qz). Representa el halo más externo, en donde la textura original de las rocas es altamente preservada (casi en un 100%).

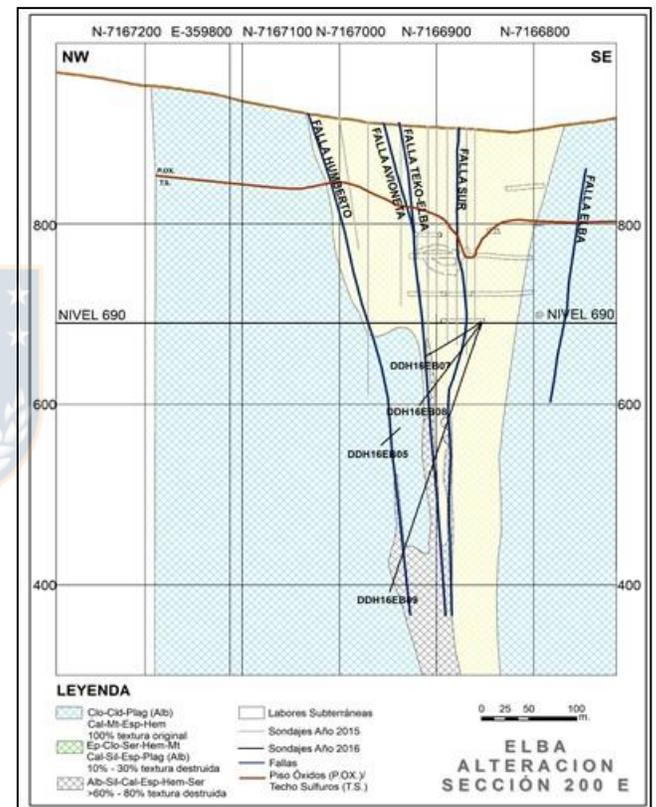


Figura 4.5: Sección 200 E Alteración/Estructuras mina Doña Elba

Se encuentra fuera del área de influencia de las fallas Humberto, Avioneta, Tecko-Elba y Sur, y parcialmente traspasa a la falla Humberto. En este ámbito ocurre calcopirita en concentraciones de 100 a 200 ppm., y es considerada como roca fresca para el presente modelo.

##### 4.2.2 Alteración Epidota-Clorita

Caracterizada principalmente por la existencia de epidota (Ep)-clorita (Clo) y ocurrencia variable de sericita (Ser), hematita (Hem), magnetita (Mt), calcita

(Cal), sílice (Sil), especularita (Esp), y albita (Alb en plagioclasas). Se presenta relleno de vesículas, alterando la masa fundamental y/o como reemplazo selectivo y en vetillas.

La textura original de la roca es parcialmente destruida (10 a 30%) y se asocia a mineralización de bornita y/o calcopirita con intensidades de moderada-débil a trazas. Sus concentraciones son normalmente sub- económicas.

#### 4.2.3 Alteración Albita-Sílice-Calcita

Se reconoce por tener cantidades moderada a altas de albita (Alb)-sílice (Sil)-calcita (Cal) y variables de especularita (Esp), hematita (Hem) y sericita (Ser), además de una obliteración moderada de la textura original de la roca (60%).

Se dispone en el entorno inmediato de las fallas Humberto, Avioneta-Tecko Elba y Sur. Bajo la cota 550 se observa que afecta de manera penetrativa a pervasiva a las rocas y en constituye pequeñas vetillas en la porción más externa, con potencias variables de 2 a 25 m, y tendencia a mayor expresión, principalmente bajo el nivel 400 m. Se asocia a los cuerpos principales de mineralización representados por bornita-calcosina-digenita y bornita, con intensidad moderada a fuerte.

### 4.3 Secciones-Plantas zona mineral-Estructuras-Leyes

Se construyeron 8 secciones separadas cada 20 m de zona mineral-estructuras-leyes (secciones 160 a 300), y 3 plantas (plantas 780, 740 y 700) con información de campañas de sondajes anteriores.

En las plantas entre las plantas 780 y 700 se observa que el control estructural y litoestratigráfico de la mineralización sulfurada, va gradando a un control más estructural en profundidad, junto a una notable disminución del tamaño del cuerpo de interés económico de calcosina-bornita, y de calcosina hacia el nivel 700, incrementándose la zona de calcopirita-pirita.

Bajo el nivel 690 la mineralización corresponde esencialmente a sulfuros de Cu(Ag), en estrecha relación con las principales estructuras reconocidas en mina Doña Elba, tales como las fallas Humberto, Avioneta, Tecko-Elba, Sur, y Elba.

Los principales cuerpos mineralizados se desarrollan y localizan entre los niveles 550 y 300 (límite inferior de confianza del cuerpo modelado), afectando tanto a estratos andesíticos finos como porfídicos, vesiculares-amigdaloidales y brechosos, con potencias variables de entre 2 m y 30 m.

La mineralización de mena de sulfuros hipógenos, localizados principalmente bajo el nivel 800, están afectados por una notable zonación lateral entorno al emplazamiento de las estructuras principales, tal como a continuación se resume (Figura 4.6).

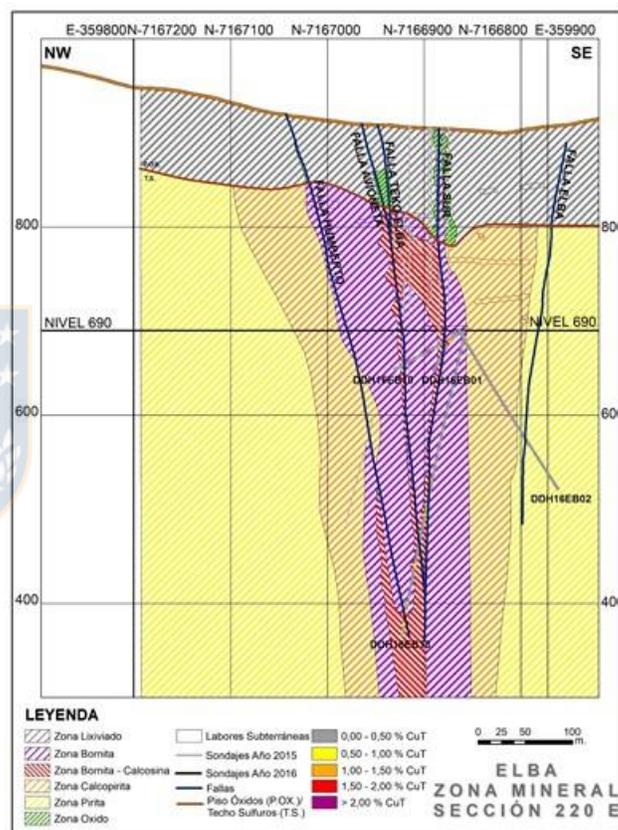


Figura 4.6: Sección 220 E Zona mineral/Estructuras/Leyes mina Doña Elba

#### 4.3.1 Mineralización Central

Corresponde a una zona de bornita >calcosina, y <digenita, con espesores variables entre 10 a 70 m, cuyo mayor desarrollo de interés económico se intercepta bajo la cota 550 m, entre las secciones 180 E a 240 E. Su disposición es vetiforme y está controlada por las estructuras principales. La intensidad y ocurrencia de la mineralización de bornita-calcosina se encuentra relacionada con la

alteración albíta-sílice-calcita, pervasiva y menor sericita, especularita/hematita.

#### 4.3.2 Halo Intermedio

Representado por una zona de bornita y/o calcopirita, alrededor del núcleo de bornita-calcosina “mineralización central”. Ocurre principalmente diseminada en la roca de caja volcánica, en concentraciones subeconómicas. Se asocia a los minerales de ganga, principalmente epidota-clorita-albíta, menor sericita-calcita-sílice, y trazas a débil de hematita/especularita, magnetita-rutilo.

#### 4.3.3 Halo Externo

Se caracteriza por la ocurrencia, débil a trazas, de calcopirita y/o piritita, cuyas concentraciones no son económicas. Corresponde a la envolvente que limita la extensión lateral de la mineralización, entorno a las estructuras principales y que se hospeda principalmente en la roca de caja volcánica e intrusivos dioríticos. La mineralización de ganga está dada por la presencia, moderada a débil, de celadonita-clorita, menor albíta (plagioclasas), moderada a fuerte calcita, y trazas de magnetita-especularita/hematita y cuarzo. Los principales interceptos mineralizados de cobre-plata, obtenidos mediante la campaña de sondajes diamantinos del año 2016, perforados bajo el nivel 690 m, se pueden observar en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Interceptos mineralizados Cu-Ag, mina Doña Elba campaña 2016. En color amarillo, tramos >10 m y sobre 1,0% CuT.

PRINCIPALES INTERCEPTOS MINERALIZADOS Cu - Ag MINA ELBA CAMPAÑA SONDAJES 2016							
REC.	SONDAJES	DESDE (m)	HASTA (m)	LARGO (m)	CuT %	CuS %	Ag ppm
RES08	DDH16EB01	10	20	10	1,51	0,21	2,70
RES11	DDH16EB03	20	22	2	1,22	0,12	4,20
RES11	DDH16EB03	44	50	6	0,29	0,06	1,53
RES01	DDH16EB04	8	24	16	0,92	0,07	1,63
RES01	DDH16EB04	52	56	4	1,34	0,14	2,10
RES02	DDH16EB05	70	74	4	1,04	0,06	1,20
RES02	DDH16EB05	100	110	10	1,74	0,07	1,60
RES04	DDH16EB06	188	216	28	1,00	0,05	2,81
RES03	DDH16EB07	18	34	16	1,23	0,07	1,38
RES03	DDH16EB07	52	54	2	0,96	0,05	1,30
RES03	DDH16EB07	64	68	4	0,38	0,05	1,45
RES20	DDH16EB08	46	54	8	2,22	0,07	1,40
RES20	DDH16EB08	84	88	4	3,77	0,10	5,05
RES21	DDH16EB09	110	122	12	1,34	0,04	1,02
RES21	DDH16EB09	132	136	4	0,63	0,05	0,40
RES21	DDH16EB09	162	190	28	1,12	0,08	6,98
RES21	DDH16EB09	262	284	22	1,13	0,08	4,92
RES21	DDH16EB09	294	308	14	1,06	0,09	2,99
RES05	DDH16EB10	16	24	8	1,28	0,11	1,93
RES16	DDH16EB12	78	86	8	0,89	0,06	3,35
RES16	DDH16EB12	110	112	2	1,15	0,08	6,20
RES23	DDH16EB13	146	148	2	1,06	0,07	7,50
RES23	DDH16EB13	162	166	4	0,78	0,06	8,00
RES23	DDH16EB13	192	212	20	0,45	0,15	3,24
RES23	DDH16EB13	254	256	2	0,66	0,14	6,10
RES23	DDH16EB13	296	322	26	1,03	0,08	20,14
RES22	DDH16EB14	114	118	4	0,42	0,06	3,40
RES22	DDH16EB14	128	132	4	1,34	0,06	9,05
RES22	DDH16EB14	144	146	2	0,66	0,04	4,00
RES22	DDH16EB14	228	242	14	5,61	0,15	19,56

## 5 Conclusiones

Se corrobora la presencia de mineralización económica alojada en el entorno de las estructuras principales, con desarrollo discontinuo en la vertical y horizontal de las fallas Avioneta, Sur, y Humberto, localizadas al oeste de un complejo intrusivo diorítico subvertical, el cual actúa como barrera, limitando la mineralización hacia el sureste.

La mineralización económica oxidada y sulfurada de Cu(Ag), se dispone tanto de manera mantiforme como vetiforme. La mineralización mantiforme, se localiza sobre el Nivel 690 m, y los espesores mineralizados llegan a potencias medias de 50 a 60 m.

Bajo el Nivel 690, la mineralización corresponde esencialmente a sulfuros de Cu (Ag), en estrecha relación con las principales estructuras reconocidas, tales como las: fallas Avioneta, Sur, Humberto y Elba.

Los principales cuerpos mineralizados se desarrollan y localizan entre las cotas 550 m y 300 m (límite inferior de confianza del cuerpo modelado), afectando tanto a estratos andesíticos finos como a porfídicos, vesiculares-amigdaloidales y brechosos, con potencias variables desde un par de metros hasta 30 m.

Las asociaciones de minerales de alteración que acompañan la mineralización de mena pueden agruparse en tres frentes o zonas de alteración principal, desde el centro hacia la periferia:

- Albíta-Sílice-Calcita: relacionada a los cuerpos principales de mineralización representados por bornita-calcosina-digenita;
- Epidota-Clorita: zona intermedia de bornita-calcopirita de intensidad moderada a débil, y
- Clorita-Celadonita: zona distal con concentraciones no económicas de calcopirita y/o piritita.

La mena hipógena muestra una zonación estrechamente asociada al emplazamiento de estructuras principales: Mineralización Central: zona económica de bornita-calcosina y menor digenita; Halo irregular intermedio: zona de intensidad moderada a débil de bornita-calcopirita y, Halo

externo: con ocurrencia débil a trazas de calcopirita y/o pirita en concentraciones no económicas.

La intensidad y ocurrencia de la mineralización de bornita y calcosina reconocida bajo la cota de 550 m s.n.m., se asocia con la presencia de cuerpos de brechas hidrotermales, y a la intensidad de alteración de albita-sílice-calcita en estrecha relación con las estructuras (NE-SW/subverticales), como Falla Avioneta, Falla Sur, y Falla Humberto.

El factor estructural también es crítico en la génesis de este yacimiento, pues a pesar de que la mineralización se dispone siguiendo estratos favorables, los fluidos hidrotermales portadores de la mineralización requirieron de conductos que permitieran su ascenso. Estos conductos corresponderían a un sistema de estructuras sub verticales de orientación N30° a 80° E, caracterizado por las fallas Humberto, Sur, Elba y Avioneta, a lo largo de las cuales se encuentran importantes manifestaciones de oxidados de Cu, que han sido explotadas artesanalmente.

Esto sugiere, que el sistema ENE-WSW es el que controla la circulación de las soluciones mineralizadoras, generadas probablemente a partir del enfriamiento de los cuerpos subvolcánicos, favoreciendo así el desplazamiento de los fluidos hidrotermales hacia la roca caja, a través de niveles más permeables, originando el yacimiento Doña Elba.

El grado de conocimiento ha permitido reconocer la posición, correlación espacial y control estructural de los principales cuerpos minerales de bornita-calcosina, de alta ley de Cu-Ag, entre las cotas 800 y 300 m s.n.m. (límite de confianza). Los resultados han demostrado, hasta ahora, que la continuidad en profundidad tiene una disminución importante de potencia bajo la cota 600 m s.n.m. Por otra parte, los sondeos más profundos han mostrado la existencia de una zona mineralizada continua a partir de la cota 550 m s.n.m., desconociéndose a la fecha su desarrollo vertical completo.

Los antecedentes del nuevo hallazgo respecto a su corrida, profundidad y potencia reconocidas sólo permiten estimar de manera preliminar 0,5 Mton con 1,2% CuT, en la categoría de Recursos Inferidos. Sin embargo, el cuerpo está abierto en corrida y

profundidad estimando un potencial de mineralización de 2 Mton con 1,5 % CuT con contenidos de Ag, cuya extensión al suroeste se encuentra limitado por propiedad minera de terceros y abierto al noreste de la sección 240E.

## 6 Referencias

- Alarcón, B., Vergara, M. (1964). Nuevos antecedentes sobre la geología de la quebrada El Way. Inst. Geol. Univ. Chile, Santiago. Publ. N°26. An.Fac.Cienc.Fis. y Mat., Vol. 20-21. p.107-128.
- Arabasz, W. (1971). Geological and Geophysical studies of the Atacama Fault Zone in Northern Chile. Ph.D. Thesis. California Institute of technology. Pasadena USA. p.264
- Arcos, R., Gardweg, M., Jorquera, J., Arévalos, C. (2006). Geología de la Cordillera de la Costa, entre Taltal y Cerro del Pingo (25°24'-25°40'S; 70°36'W), II Región de Antofagasta, Chile. Informe inédito. P. 139.
- Arévalo, C., Grocott, J. y Welkner, D., 2003. The Atacama Fault System in the Huasco Province, southern Atacama desert, Chile. Proceedings 10th Congreso Geológico Chileno, Concepción.
- Bell, C. (1982). The Lower Paleozoic metasedimentary basement of the coastal ranges of Chile between 25°30' and 27°S. Revista Geológica de Chile, N°17, p.21-29.
- Berg, K., Breitzkreuz, C., Damm, K., 1983. The north Chilean Coast Range -an example for the development of an active continental margin. Geol. Rundsch, Vol. 72, No. 7, p. 715-731.
- Boric, R., Díaz, F. y Maksaev, V., 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Boletín 40.
- Brown, M., Díaz, F. y Grocott, J., 1993. Displacement history and tectonic significance of the El Salado segment of the Atacama Fault System, Northern Chile. GSA Bulletin, 105, 1165-1174.
- Covacevich, V. (1982). Informe paleontológico interno N°31. Serv. Nac. Geol. Min. Inédito. p.13.
- Davidson, J., Mpodozis, C., Rivano, S, (1981). Paleozoico de Sierra Almeyda, al oeste de Monturaqui, Alta Cordillera de Antofagasta, Chile. Rev. Geol. Chile. N°12. p.3-23.
- Emparan, C. y Pineda, G., 2000. Área La Serena-La Higuera, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Santiago, Chile, Mapas Geológicos 18, escala 1:100.000.

- Empanan, C. y Pineda, G., 2005. Geología del Área Andacollo-Puerto Aldea, Región de Coquimbo, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Santiago, Chile, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 96, escala 1:100.000.
- Ferraris, F. (1978). Hoja Tocopilla, Región de Antofagasta. Inst. Invest. Geol., mapas Geol..Prelim. Chile, N°3. P.19.
- Ferraris, F., Di Biase, F. (1978). Hoja Antofagasta. Región de Antofagasta. Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile. N°30. P.48.
- Frutos, J., Oyarzun, R., Pincheira, M. (1985). Geología y recursos minerales de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Concepción. Chile. Tomo II. p.923.
- Galaz, G., Álvarez, P., Pinto, K., Zamora, A., Moya, C., Knabe J., Olivares, I., Bravo, F., Faúndez, V., Brantt, J. (2015). Informe Geológico-Estructural (1:5000) Área Elba-Vallenarina-Aviún, Avioneta. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.
- García, F. (1967). Geología del Norte de Chile. In Symposium sobre el Geosinclinal Andino, Vol.3: Santiago, Sociedad Geológica de Chile. P.138.
- García, C., 1991. Geología del sector quebrada El Teniente, Región de Coquimbo. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.
- Godoy, E. y Lara, L., 1998. Hojas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Seervicio Nacional de Geología Minería, Santiago, Chile, 1:1.000.000, 5-6.
- Harrington, H. (1961). Geology of parts of Antofagasta and Atacama Provinces of northern Chile. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull., Vol.45, N°2, p.169-197.
- Hervé, F., Godoy, E., Parada, M., Ramos, V., Rapela, C., Mpodozis, C. y Davidson, J.A., 1987. A general view of the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. In: Monger, J. y Francheteau, J. (eds) Circum-Pacific Orogenic Belts and the Evolution of the Pacific Ocean Basin. Geodynamics Series 18, 97-113.
- Maksaev, V., 1990. Metallogeny, geological evolution and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 26° south, and the origin of the major porphyry copper deposits. PhD thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Marinovic, N., Smoje, I., Maksaev, V., Hervé, M., Mpodozis, C., 1995. Hoja Aguas Blancas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Carta Geológica de Chile, 70.
- Mortimer, C. (1973). The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. Geol. Soc. Lond., J., Vol. 129, Part 5, p. 505-526.
- Muñoz, N.; Venegas, R.; Téllez, C. (1988). La Formación La Negra: Nuevos antecedentes estratigráficos en la Cordillera de la Costa de Antofagasta. In Congreso Geológico Chileno, N°5, Actas 1: p. A283 – A311.
- Naranjo, J. A. (1978). Geología de la zona interior de la Cordillera de la Costa entre los 26°00' y 26°20', escala 1:100.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Hoja N°34. p.46.
- Naranjo, J.A., Puig, A., Suarez, M., 1982. Nuevos antecedentes estratigráficos del Triásico Superior-Jurásico de la Cordillera de la Costa, sector meridional de la Región de Antofagasta, Chile. In Congr. Geol. Chileno, No. 3, Acta 1, p. A189-A206.
- Naranjo, J. A. y Puig, A. (1984). Hojas Taltal y Chañaral, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N°62-63. P. 140.
- Naranjo, J.A., 1987. Interpretación de la actividad cenozoica superior a lo largo de la Zona de Falla de Atacama, norte de Chile. Revista Geológica de Chile, 31, 43-55.
- Olivares, I., Moya, C., Bravo, F., Galaz, G., Knabe, J., Pinto, K., Zamora, A., Faúndez, V., Brantt, J. (2015). Informe Geológico Blancos Bloque Doña Elba. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.
- Olivares, I., Bello, J., Castro, M., Faúndez, V. (2016). Informe Proyecto Elba-Teko, Modelo Geológico-Exploratorio 3D. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.
- Saint. Amand, P., Allen, C. (1960). Strike-slip faulting in northern Chile. Geol. Soc. Am., Bull., (abstr.) Vol.71. p.1965.
- Sato, K. (1984). Manto type Copper Deposits in Chile-a Review. Bulletin of the Geological Survey of Japan, Vol.35, p.565-582.
- Scheuber, E., y González, G. (1999). Tectonics of de Jurassic-Early Cretaceous magmatic arco f the North Chilean Coastal Cordillera (22°-26° S) a story of cristal deformation along a convergent plate boundary. Tectonics 18. p.895-910.
- Segerstrom, K., 1968. Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Carta Geológica de Chile, 1:250.000.
- Soto, H., Dreyer, H. (1985). Geología de "Mina Susana". Un yacimiento novedoso en Carolina de Michilla. Actas IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, V. II, p.3-354 – 3-382.

Suarez, M., Naranjo, J.A., Puig, A., 1982. Volcanismo liásico inferior en la región costera de Antofagasta Meridional: piroclastitas en la Formación Pan de Azúcar e implicancias paleogeográficas. *Rev. Geol. Chile*, No. 17, p. 83-90.

Thiele, R. y Hervé, F., 1984. Sedimentación y Tectónica de antearco en los terrenos pre-andinos del Norte Chico, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 22, 61-75.

Thiele, R. y Pincheira, M., 1987. Tectónica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la Falla de Atacama, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 31, 77-94.

Ulriksen, C., 1979. Regional geology, geochronology and metalogeny of the Coastal Cordillera of Chile between 25°30' and 26°00' south. M.Sc. Thesis, Dalhousie Univ., 221 p. Canada.

Arcos, R.; Gardweg, M.; Jorquera, J. y Arévalos, C. 2006. Geología de la Cordillera de la Costa, entre Taltal y Cerro del Pingo (25°24'-25°40'S; 70°36'W), II Región de Antofagasta, Chile. Informe inédito: 139 pp. Santiago.

Galaz, G.; Álvarez, P.; Pinto, K.; Zamora, A.; Moya, C.; Knabe J., Olivares, I.; Bravo, F.; Faúndez, V. y Branttt, J. 2015. Informe Geológico-Estructural (1:5.000) Área Elba-Vallenarina-Avión, Avioneta. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas (Inédito): 50 pp. Taltal.

Olivares, I.; Bello, J.; Castro, M. y Faúndez, V. 2016. Informe Proyecto Elba-Teko, Modelo Geológico-Exploratorio 3D. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas (Inédito): 30 pp. Taltal.

Olivares, I.; Moya, C.; Bravo, F.; Galaz, G.; Knabe, J.; Pinto, K, Zamora, A.; Faúndez, V. y Branttt, J. 2015. Informe Geológico Blancos Bloque Doña Elba. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas (Inédito): 40 pp. Taltal.





**Universidad  
de Concepción**



# **ACTUALIZACIÓN GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO DE COBRE-PLATA DOÑA ELBA, COMUNA TALTAL, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE**

Defensa para optar al Título de Geólogo

**Erwin Richard Wettke Duhalde**

- **Profesor Guía:** Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra
- **Profesores Comisión:** Msc. Abraham Elías González Martínez

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

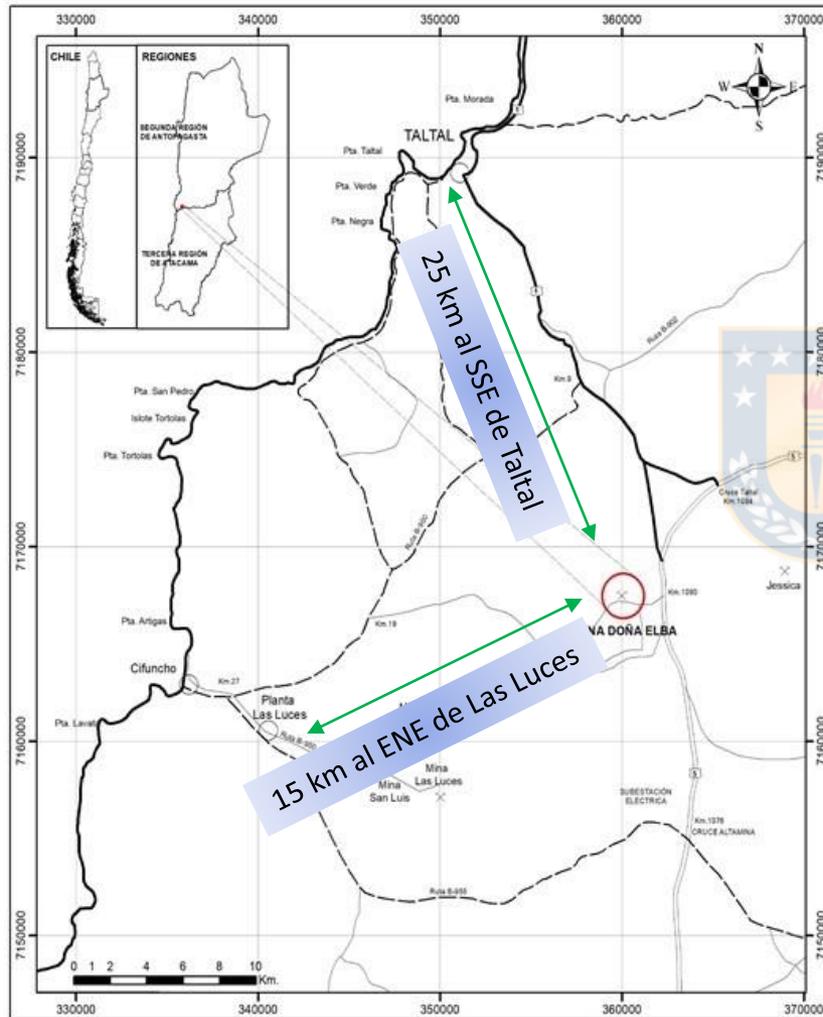
Concepción, Mayo 2020

Decreto U. DEC. N° 2017-085,  
Geología

# 1. Introducción

- Doña Elba es un **depósito estratoligado de Cu(Ag)**, perteneciente a la Compañía Minera Las Cenizas, ubicado en la comuna de Taltal, II Región de Antofagasta, localizado a 25 km al S-SE de la Ciudad de Taltal y 15 km al E-NE de mina Las Luces.
- Este yacimiento junto a la mina Las Luces, se ubican en el distrito minero La Isla. Las propiedades mineras Elba I, Elba II, Humberto, Definitiva I, II, III, IV, Vallenarina, Avioneta, Resguardo y La Puerta amparan al yacimiento Doña Elba.

# • Ubicación



Mapa de ubicación y acceso a mina Doña Elba

- **Objetivo General**

**Actualizar los antecedentes geológicos del yacimiento Doña Elba, con una nueva caracterización de la geología, y emplazamiento de mineralización cuprífera.**



**Evaluar y reconocer el potencial de mineralización de sulfuros localizados bajo el nivel 690, de tal manera que permita orientar los futuros trabajos a desarrollar en el depósito.**

- **Objetivos Específicos**

Determinar:

- **Asociaciones de minerales de alteración** que acompañan la mena.
- **Secuencia paragenética de mineralización sulfurada**, basada en estudios petrográficos y calcográficos.

Actualización de:

- **Modelo litológico – estructural**
- **Modelo de mineralización y sub-zona mineral**

## 2. Metodología

- Gabinete I

**Recopilación y revisión de la información geológica** del área de estudio en las oficinas de Producción y Exploración de la Compañía Minera Las Cenizas de Taltal, donde se dispone de informes relacionados con la geología regional, y con el yacimiento Doña Elba.

- Terreno

**Reconocimiento de superficie y de sub-superficie** de los distintos tipos litológicos, labores mineras, zonas mineralizadas y estructuras principales del yacimiento y su entorno inmediato.



El foco de este trabajo se centró en **la revisión y logeo escala 1:100 de los 14 sondajes diamantinos** perforados el año 2016, con énfasis en los sondajes que tuvieron interceptos más favorables, DDH16EB06, DDH16EB09, DDH16EB13 y DDHEB14.

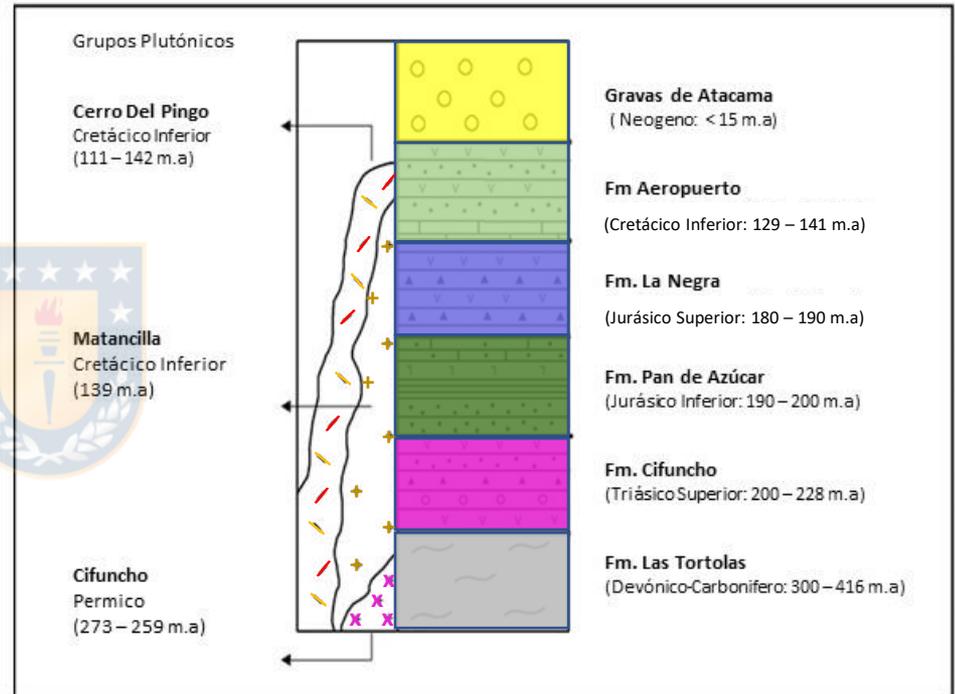
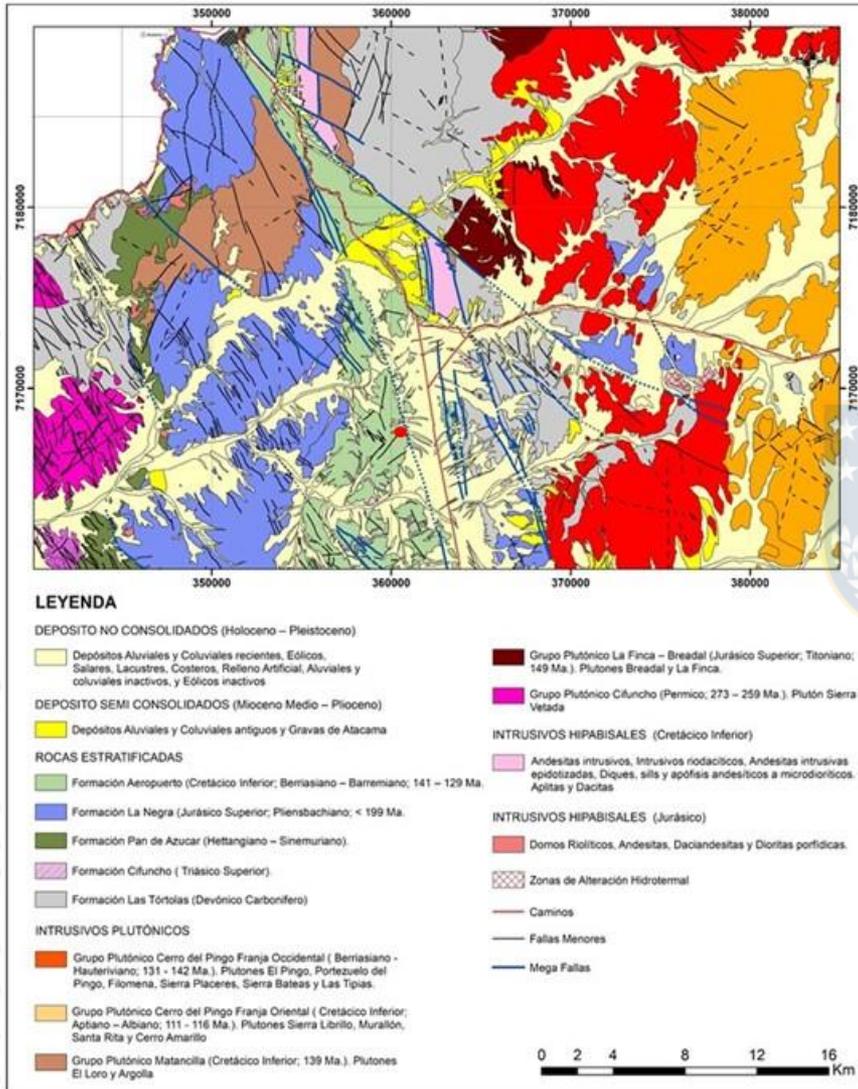
- **Gabinete II**

Generación de **secciones de litología, mineralización y alteración**, con la finalidad de **actualizar la información de los modelos lito-estructural, mineralización y subzona mineral**, y determinar las **asociaciones de minerales de alteración** que acompañan la **mineralización de mena**.

Estudios petrográficos y calcográficos para determinar la **secuencia paragenética de mineralización sulfurada**.

Procesamiento de la información, preparación de las figuras y redacción del texto de este trabajo.

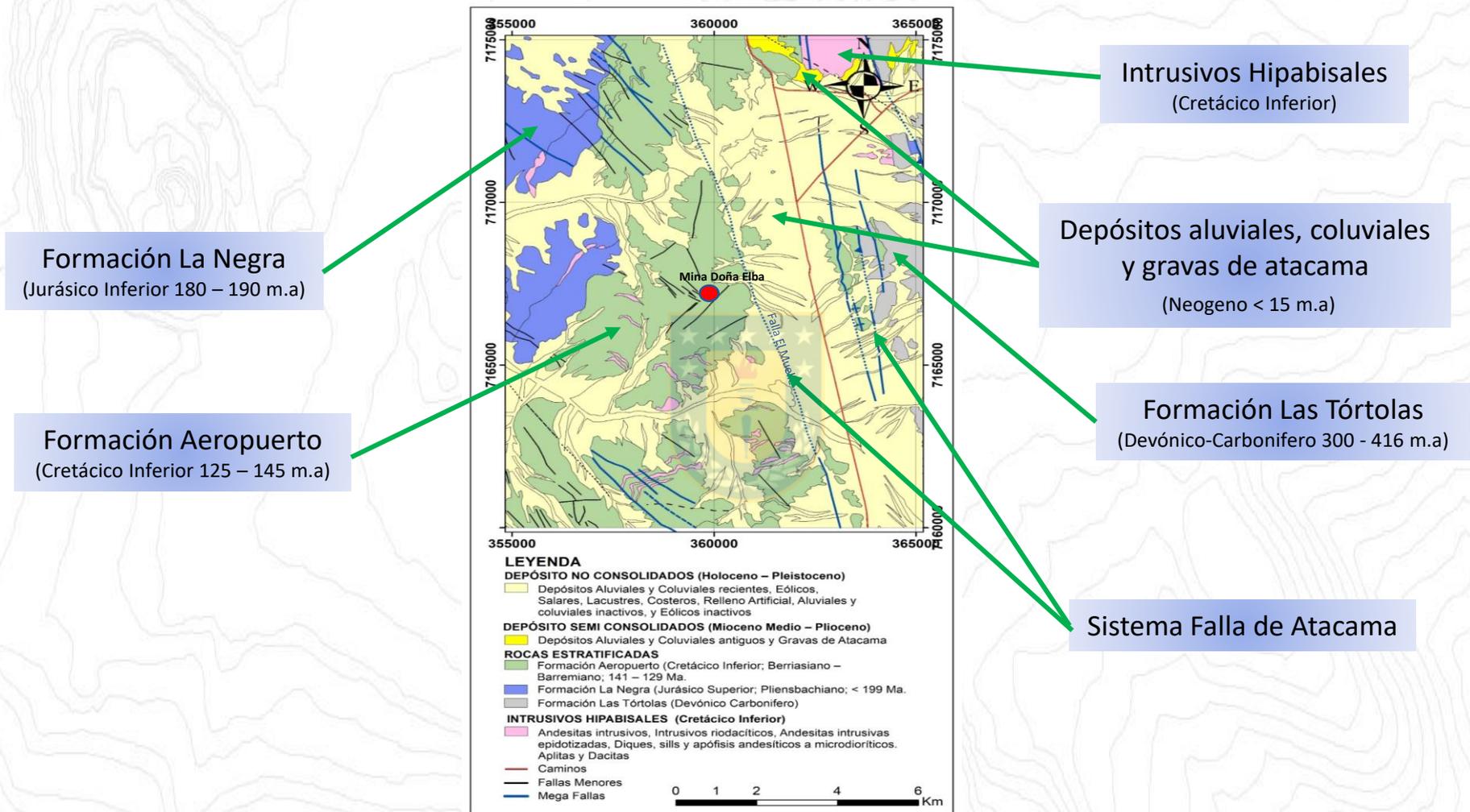
# 3. Marco Geológico Regional



Geología regional desde Taltal a Cerro Del Pingo (modificado de Arcos 2006)

Wettke, 2019. Actualización geológica mina Doña Elba

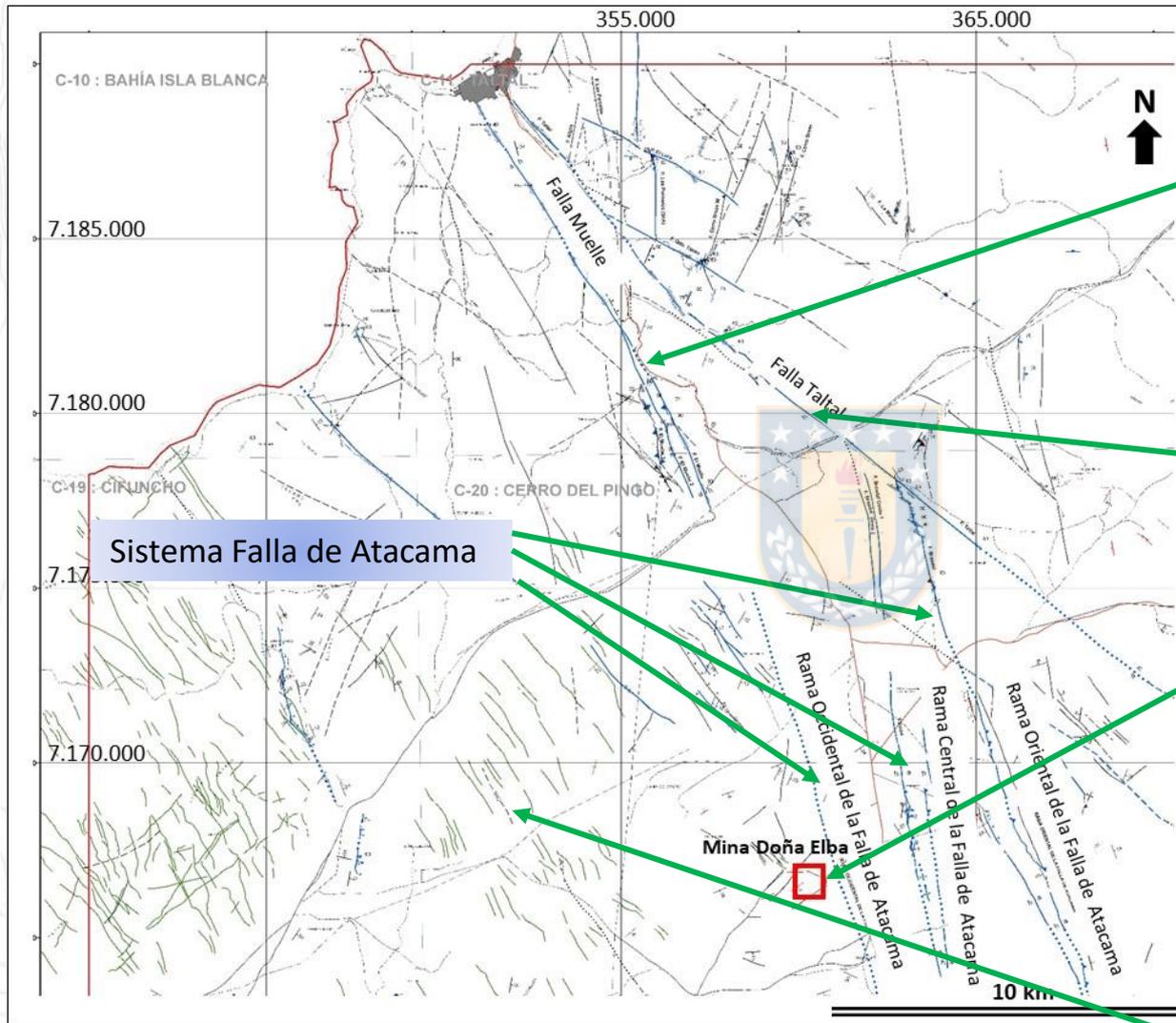
# Marco Geológico Distrital



Geología distrital del entorno de la mina Doña Elba. Tomado de Arcos 2008.

Wettke, 2019. Actualización geológica mina Doña Elba

# Estructuras



Falla El Muelle: Rasgo estructural de 1° orden a escala regional y distrital, N20°W, siniestral-inversa (borde occidental del Sistema de falla Atacama)

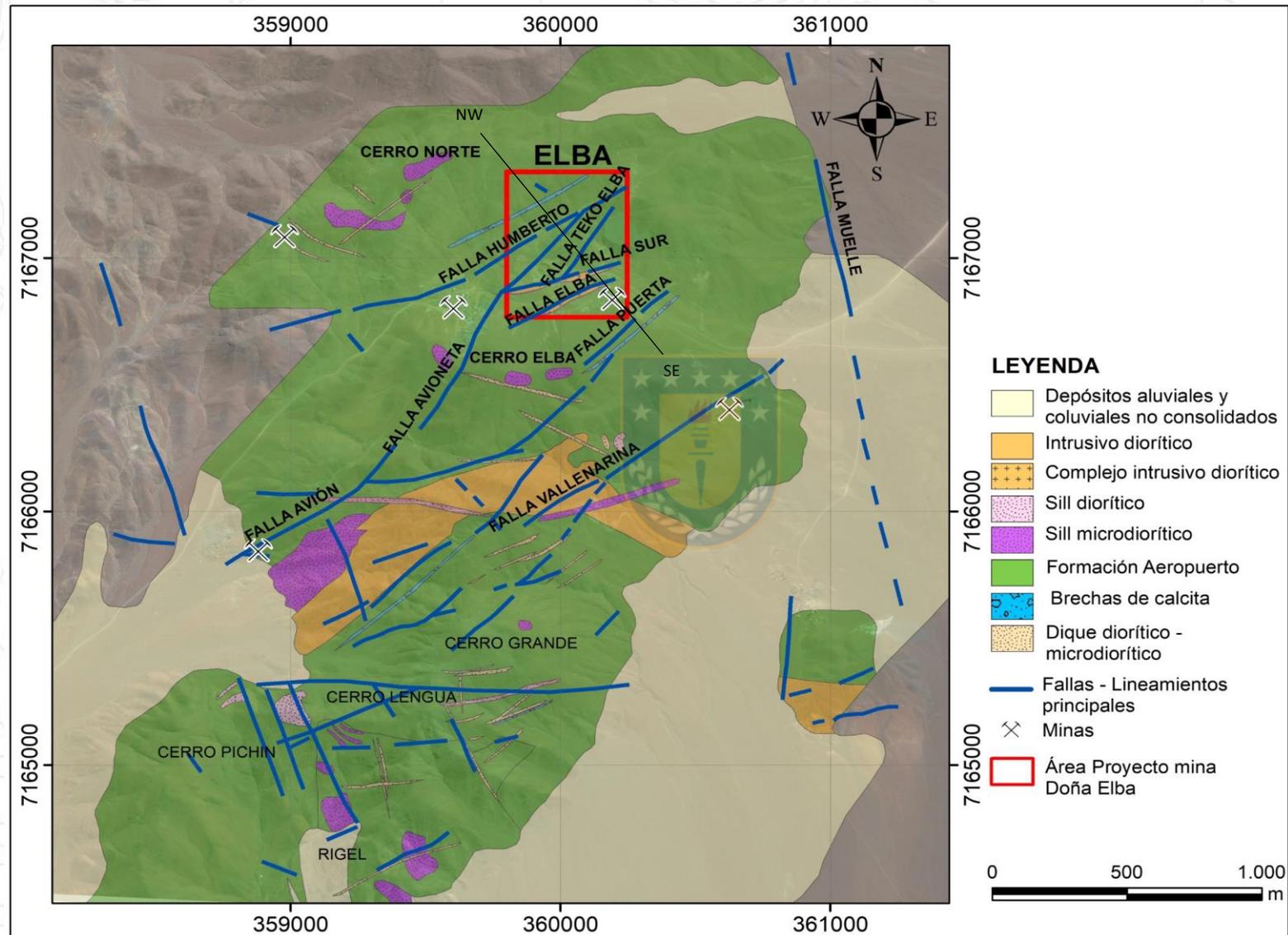
Falla Taltal: Estructura N60°-70°W, transversal a todas las estructuras del área.

Sistema N40°-60°E/70°-90° que favorable para la circulación de fluidos mineralizados dentro del área.

Estructuras conjugadas siniestras N40°-60°W/subverticales

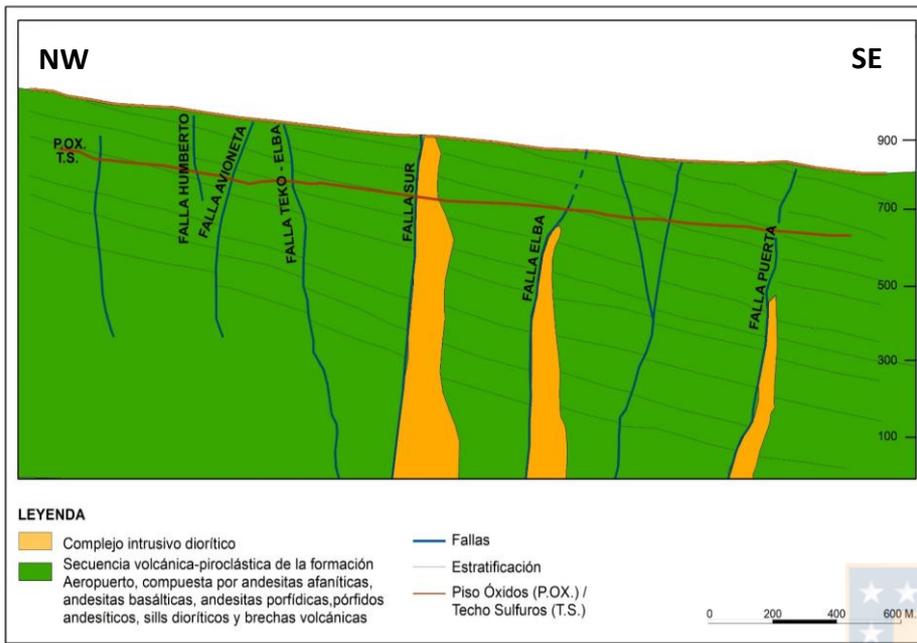
Estructuras entorno área de estudio. Tomado de Arcos 2008.

# Marco Geológico Local



Geología de superficie entorno a mina Doña Elba (Modificado de Galaz 2015)

Wettke, 2019. Actualización geológica mina Doña Elba

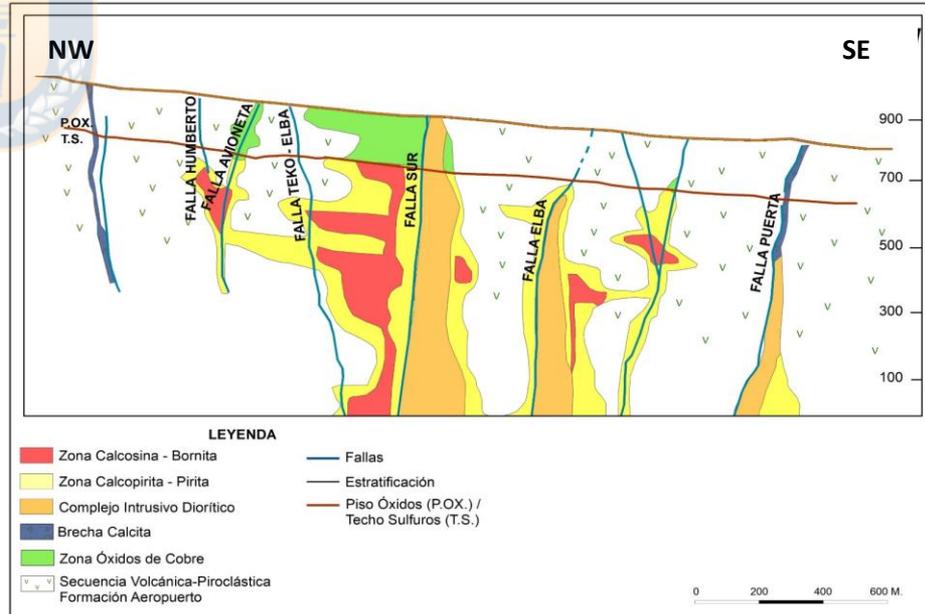


Estructuras orientadas N50°-70°E /80°S

Actitud espacial de N60°-70°E/15-20°SE.

Mina Doña Elba, sección tipo litología

Sección tipo de zonación mineral.



Mina Doña Elba, sección tipo mineralización

# Reseña Minera Mina Doña Elba

Entre los años 2006 y 2010, la operación estuvo a cargo de CMLC.

Durante este período se explotaron un total de 730 Mt toneladas de mineral sulfurado, con ley media de 1,45% CuT.

El año 2009, se realizó una estimación global de recursos, basada en la información de 232 sondajes y canaletas (19.844 m).

El estudio determinó 700 Mt de mineral con ley media de 1,76% CuT y 2,0 ppm AgT para el cuerpo de óxido, y 710 Mt de mineral con ley media de 1,79% CuT y 4,6 ppm AgT para el cuerpo de sulfuro.

Actualmente, la operación está en arriendo a Minera Los Portales S.A., quienes explotan sulfuros de cobre a un ritmo mensual entre 1.600–1.800 t de mineral con ley media de 1,6–1,8 %CuT .

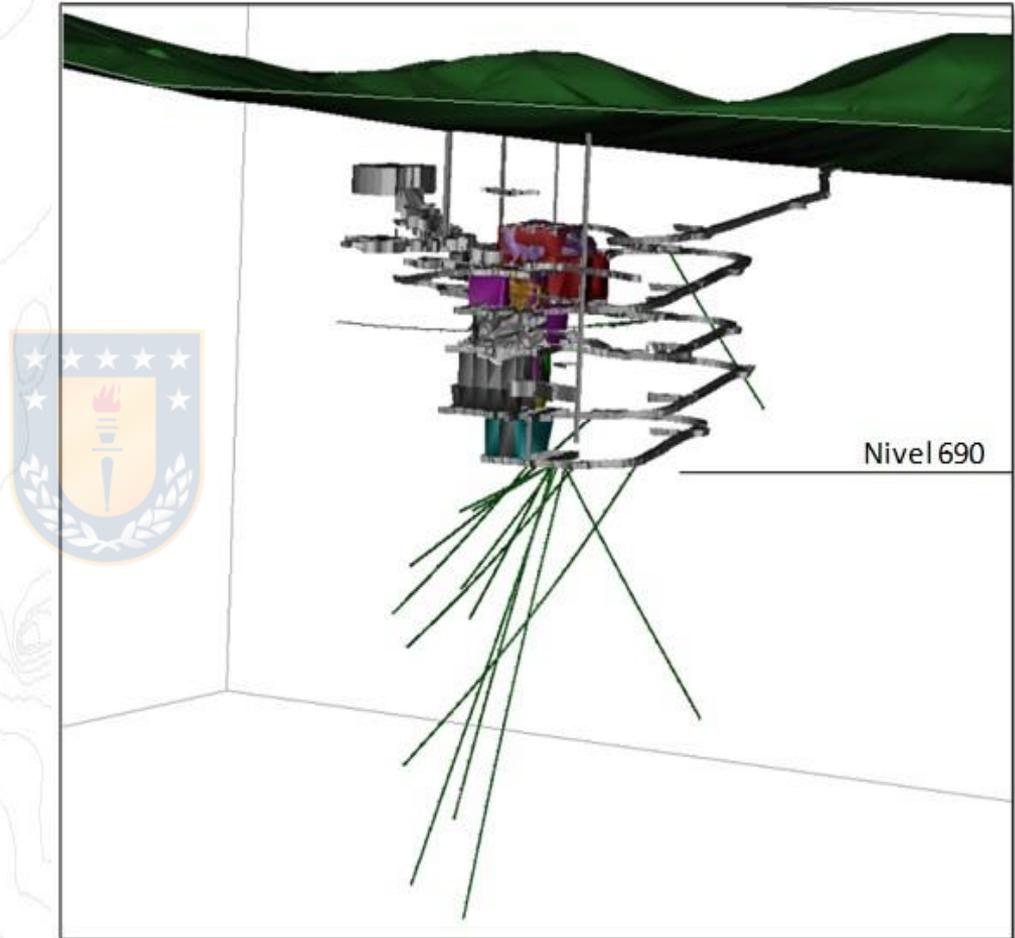
Este mineral es vendido a la planta concentradora de ENAMI en Taltal.



# 4. Resultados

El año 2016, en el entorno de mina Doña Elba, se realizó una campaña de **14 sondajes diamantinos** perforados desde labores subterráneas de la mina Doña Elba (nivel 690), alcanzando un total de **2700 m**.

El objetivo es efectuar una **actualización geológica del yacimiento**, definir los reales controles de la mineralización, comprobar la continuidad en profundidad de los cuerpos explotados en el pasado, y la búsqueda en profundidad de **nuevos cuerpos mineralizados de interés económico**.

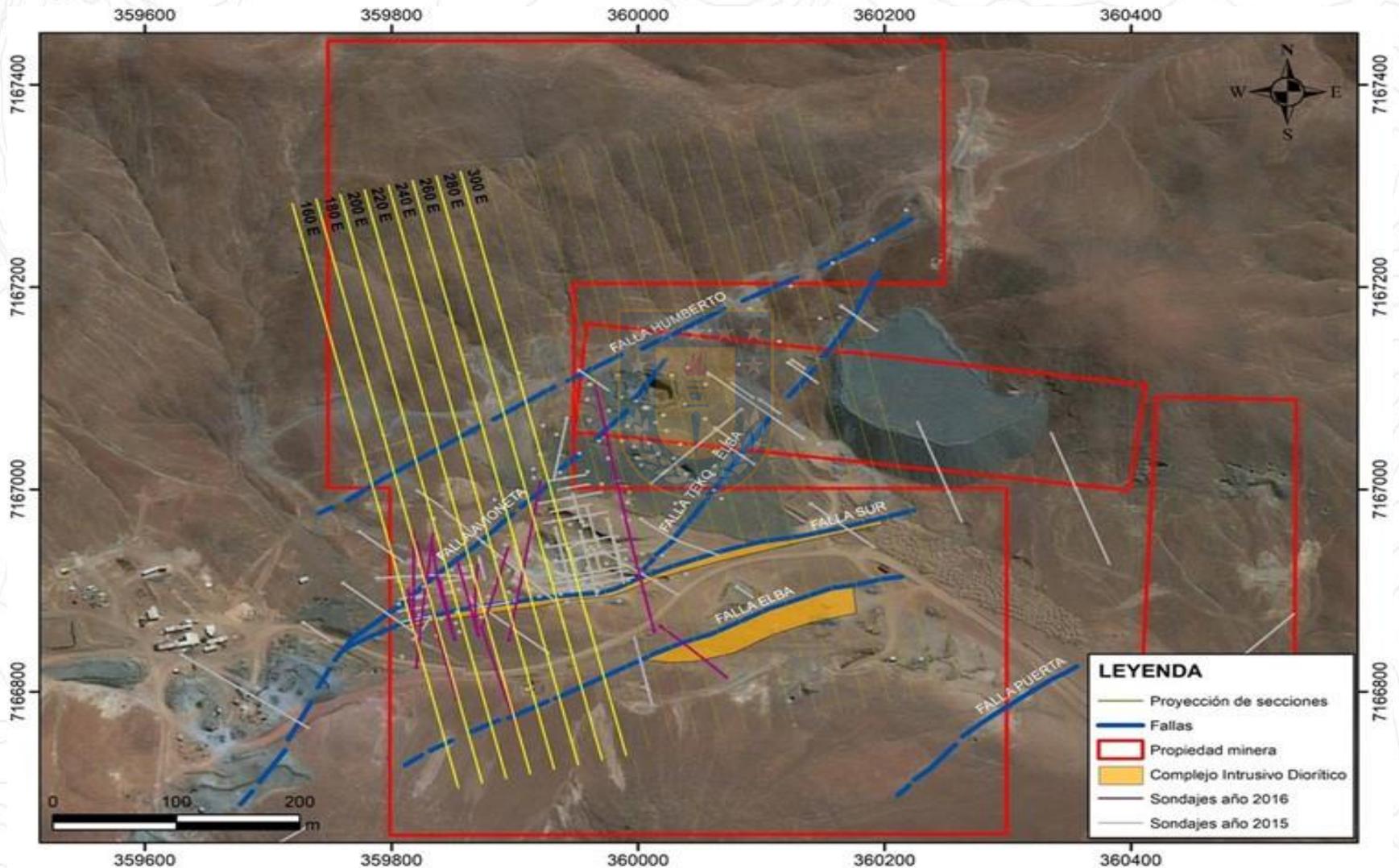


Isométrico mina Doña Elba con sondajes campaña 2016 perforados bajo el nivel 690. (Tomado de Olivares 2015)

## CAMPAÑA DE SONDAJES PROYECTO SULFUROS ELBA - 2016

REC.	SONDAJE	SECCIÓN	NIVEL	COORD. ESTE	COORD. NORTE	COTA	AZIMUT	DIP	LARGO	
RES08	DDH16EBO1	220E	690	359875,000	7166868,642	690,362	15,97	-57,77	143,60	
RES06	DDH16EBO2	220E	690	359873,571	7166864,336	690,362	164,95	-59,70	200,00	
RES11	DDH16EBO3	240E	720	359895,939	7166851,897	718,107	8,63	-39,61	200,75	
RES01	DDH16EBO4	160E	690	359818,318	7166856,635	690,183	359,37	-49,69	150,00	
RES02	DDH16EBO5	160E	690	359820,847	7166824,088	690,888	1,98	-49,31	190,00	
RES04	DDH16EBO6	180E	690	359853,969	7166793,579	695,053	345,32	-59,97	270,00	
RES03	DDH16EBO7	180E	690	359851,730	7166853,117	690,766	347,31	-34,48	70,00	
RES20	DDH16EBO8	180E	690	359851,776	7166852,948	690,395	347,01	-54,80	112,30	
RES21	DDH16EBO9	180E	690	359851,816	7166852,682	690,145	344,34	-72,28	313,40	
RES05	DDH16EBO10	220E	690	359870,483	7166857,392	690,790	347,64	-29,86	85,00	
RES14A	DDH16EBO11A	360E	780	360013,623	7166860,781	777,262	347,56	-9,98	250,00	
RES16	DDH16EBO12	360E	820	360018,683	7166865,425	822,028	131,65	-55,88	131,70	
RES23	DDH16EBO13	220E	690	359870,664	7166856,694	690,214	352,07	-76,59	332,00	
RES22	DDH16EBO14	160E	690	359822,249	7166839,718	690,390	347,66	-75,65	251,60	
<b>Sondajes: 14</b>									<b>Total Campaña: 2700,35 m</b>	

# PROYECTO MINA DOÑA ELBA



Área proyecto mina Doña Elba, destacando la propiedad minera, estructuras NE, intrusivos dioríticos, traza de secciones y sondajes perforados el año 2015 y 2016.

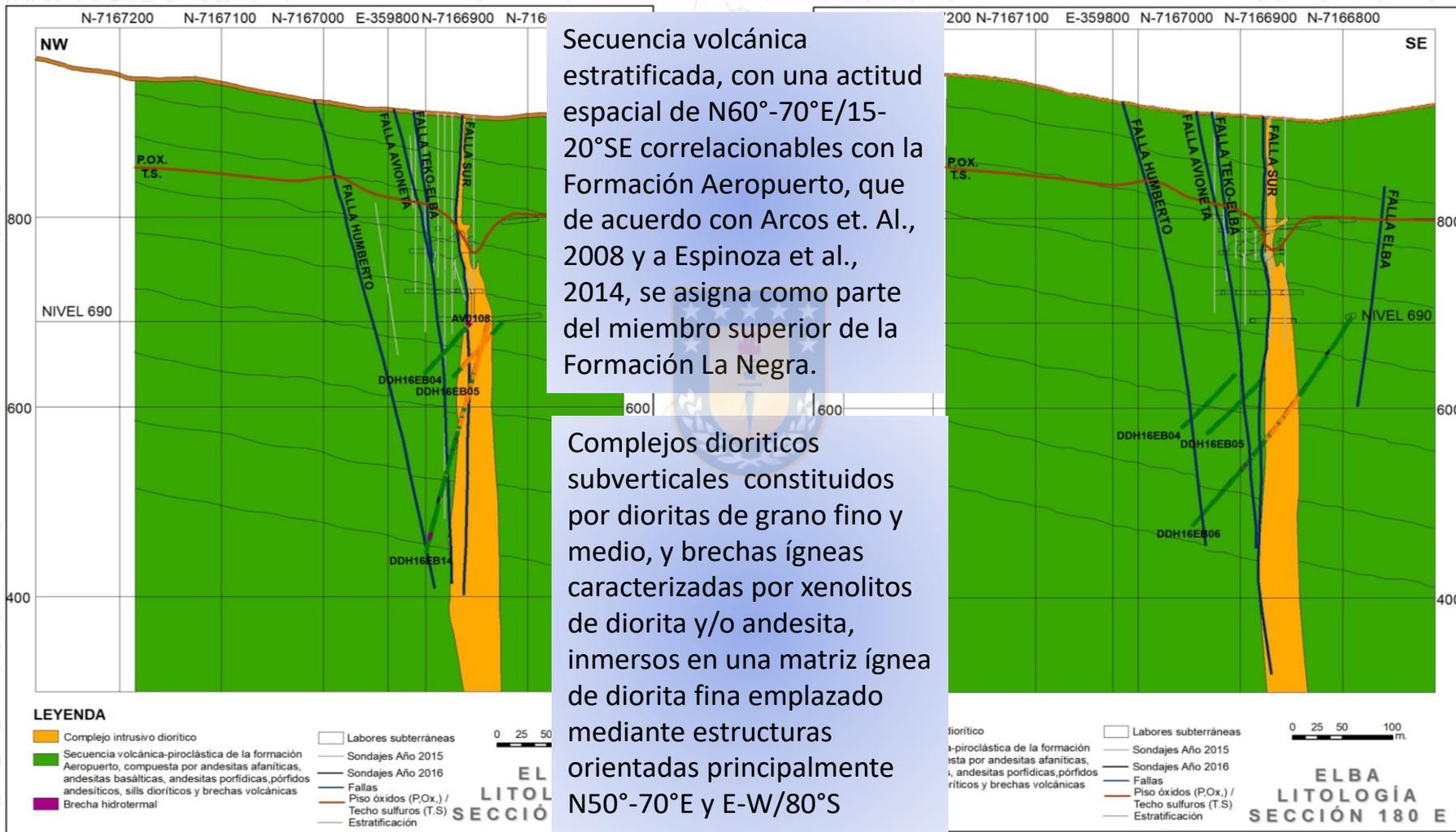
Wettke, 2019. Actualización geológica mina Doña Elba

# LITOLOGÍA SUBSUPERFICIE DOÑA ELBA

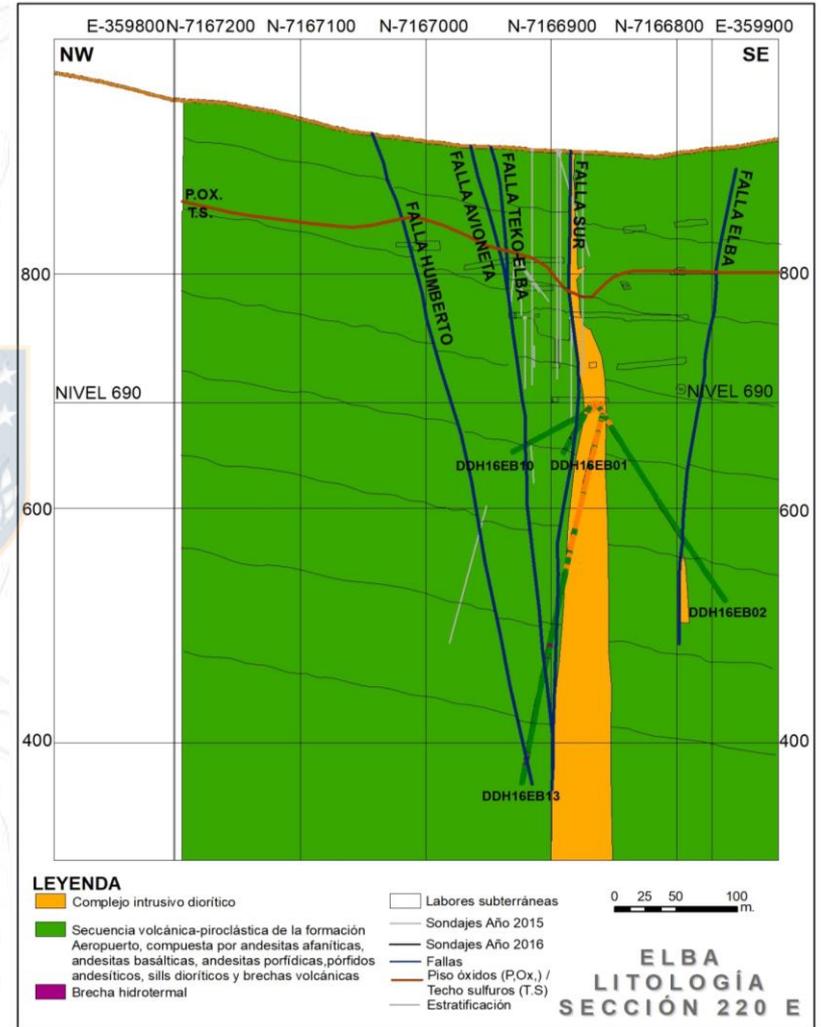
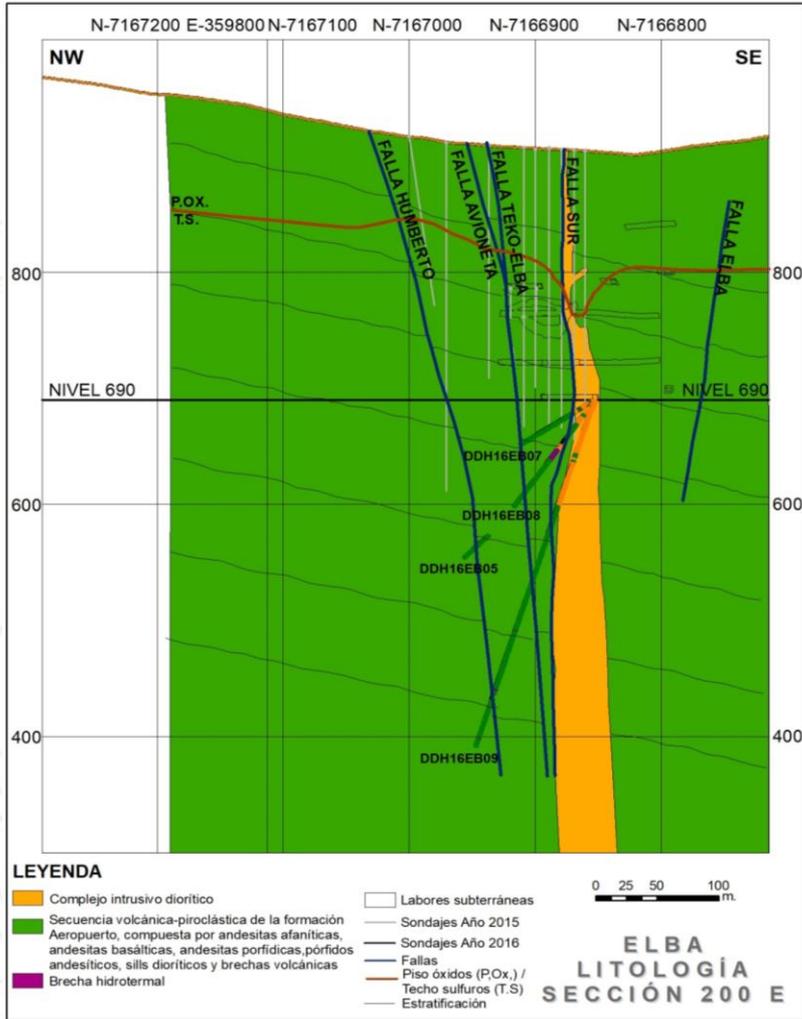
Se reconocen las siguientes unidades litológicas:

- **Secuencia volcánica estratificada**, compuesta por andesitas afaníticas, porfíricas y vesiculares, tobas cristalinas, con intercalaciones de estratos de brechas volcánicas, y rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas correlacionables a la **Formación Aeropuerto**, las que de acuerdo a Arcos et. Al., 2008 y a Espinoza et al., 2014, son asignadas como parte del **miembro superior de la Formación La Negra**, con una orientación N60°-70°E/15-20°SE.
- **Complejos dioríticos subverticales (2)** constituidos por **dioritas** de grano fino y medio, y **brechas ígneas** caracterizadas por xenolitos de diorita y/o andesita, inmersos en una matriz ígnea de diorita fina emplazadas en estructuras orientadas principalmente N50°-70°E y E-W/80°S

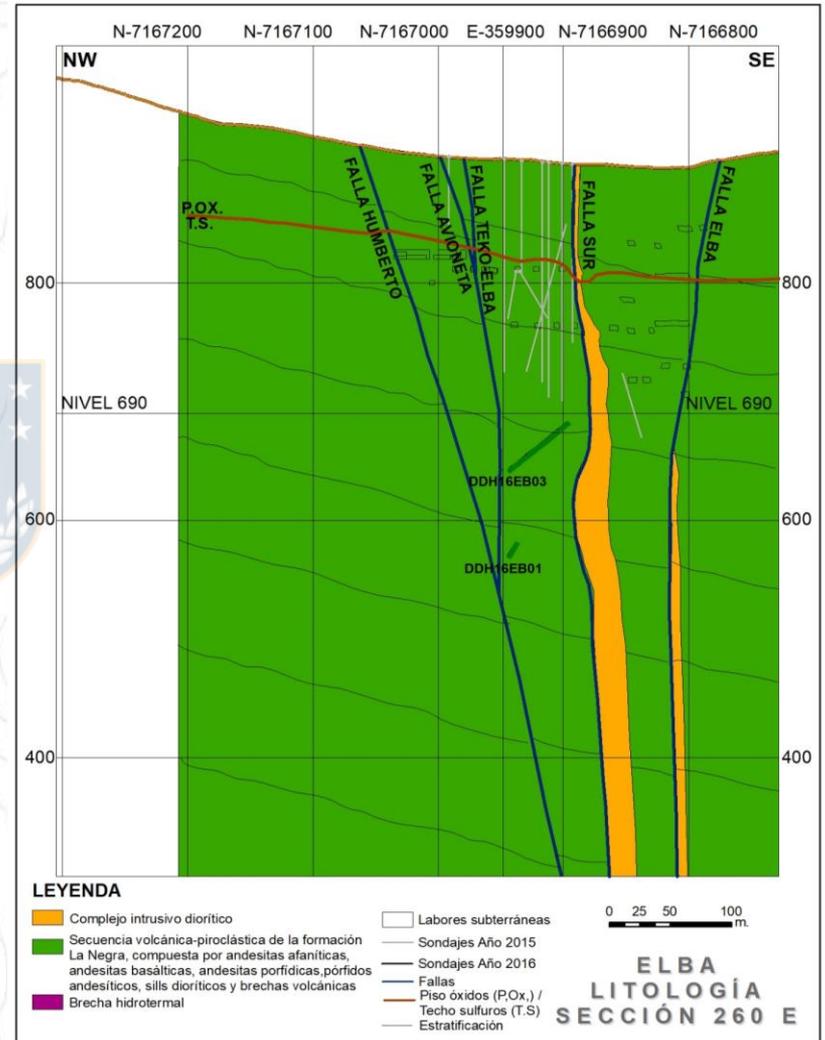
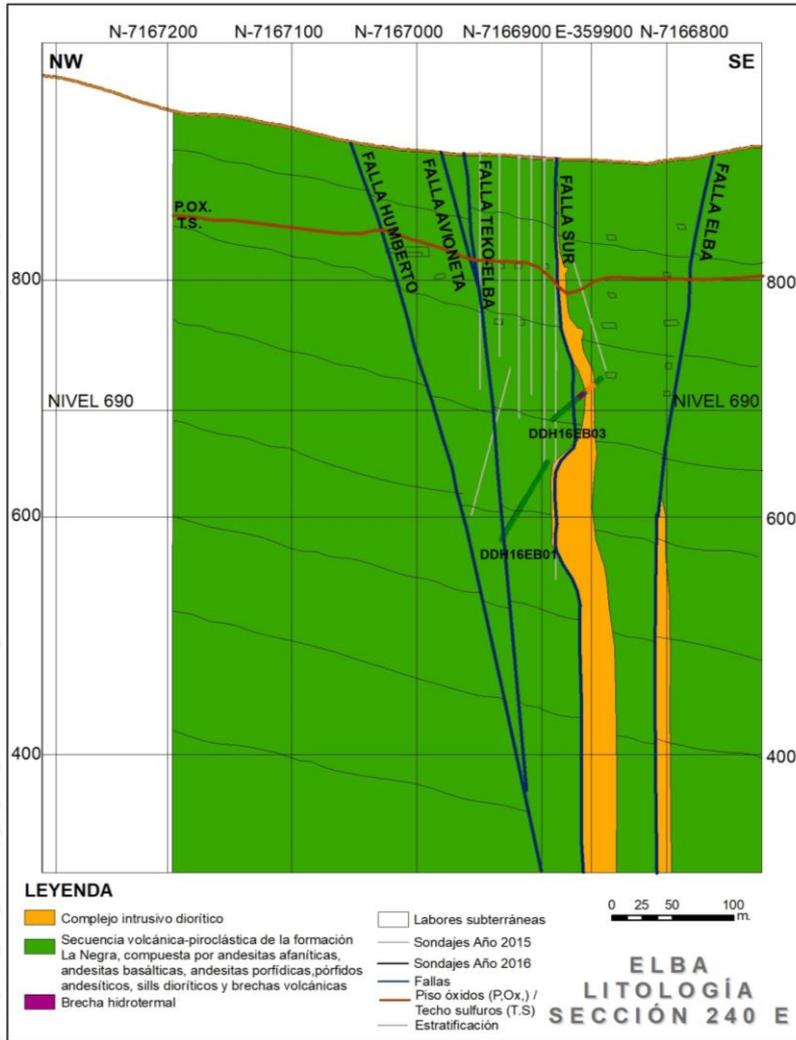
# SECCIONES 160 E – 180 E LITOLOGÍA – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



# SECCIONES 200 E – 220 E LITOLÓGÍA – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



# SECCIONES 240 E – 260 E LITOLOGÍA – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA

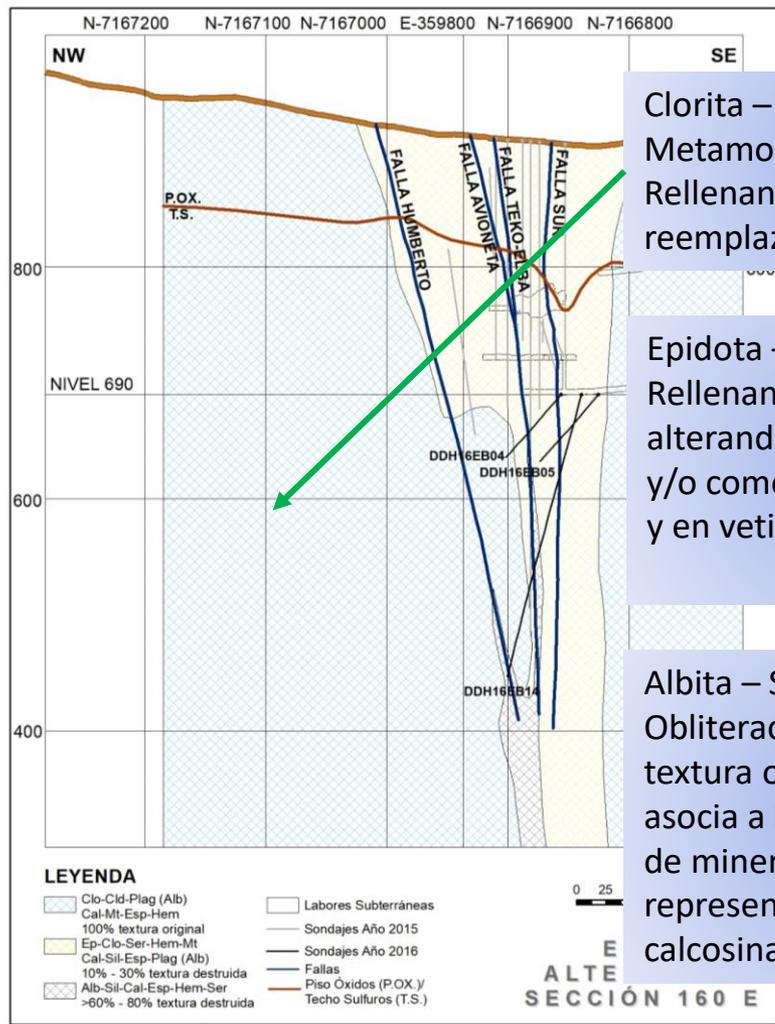


# ALTERACIÓN SUBSUPERFICIE DOÑA ELBA

Las asociaciones de minerales de alteración que acompañan la mineralización de mena, pueden agruparse en:

- **Clorita-Celadonita:** Relacionada a un **metamorfismo de sobrecarga**, de bajo a muy bajo grado. Presencia dominante de **clorita (Clo)-celadonita (Cld)**, con intensidades variables de albita (Alb), calcita (Cal), magnetita (Mt), especlarita (Esp), hematita (Hem) y cuarzo (Qz). Se concentran tanto en las porciones **vesiculares como en los reemplazos selectivos** de los minerales formadores de roca.
- **Epidota-Clorita:** Caracterizada por **epidota (Ep)-clorita (Clo)** y menor sericita (Ser), hematita (Hem), magnetita (Mt), calcita (Cal), sílice (Sil), especlarita (Esp), y albita (Alb). Se presenta relleno de **vesículas, alterando la masa fundamental y/o como reemplazo selectivo y en vetillas.**
- **Albita-Sílice-Calcita:** Presencia moderada a fuerte de albita (Alb)-sílice (Sil)-calcita (Cal) y menor especlarita (Esp), hematita (Hem) y sericita (Ser). Se caracteriza por una **obliteración moderada de la textura original de la roca (60%)**. Se asocia a los cuerpos principales de **mineralización** representados por bornita-calcosina-digenita y bornita, con intensidades de moderadas a fuerte.

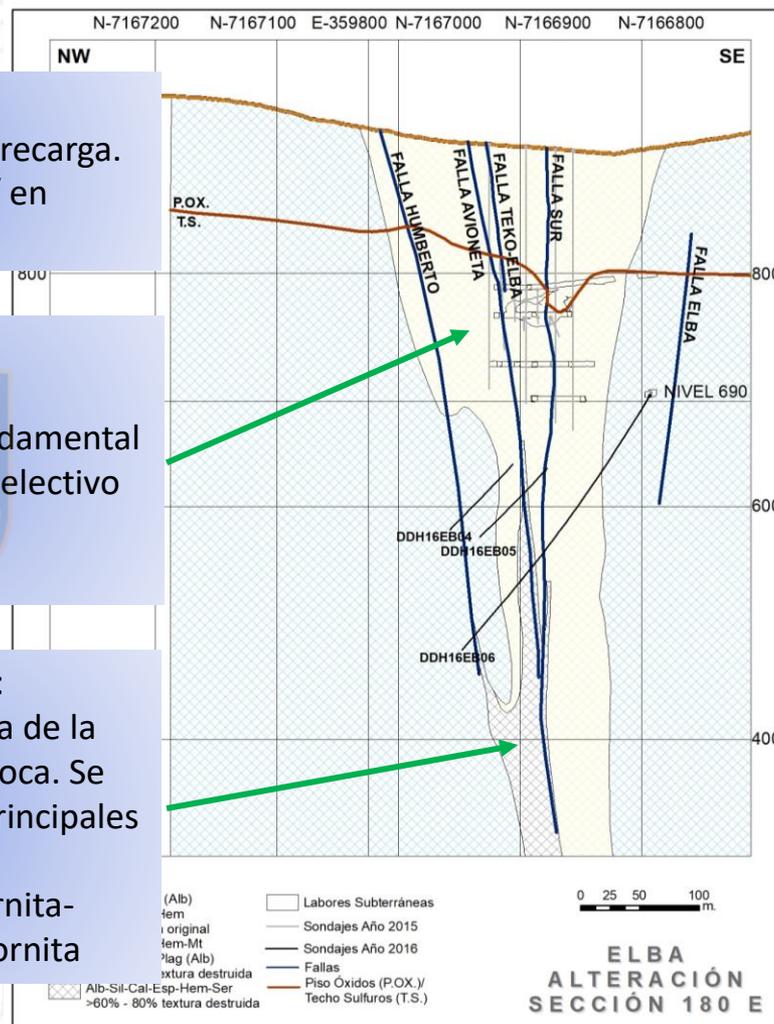
# SECCIONES 160 E – 180 E ALTERACION – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



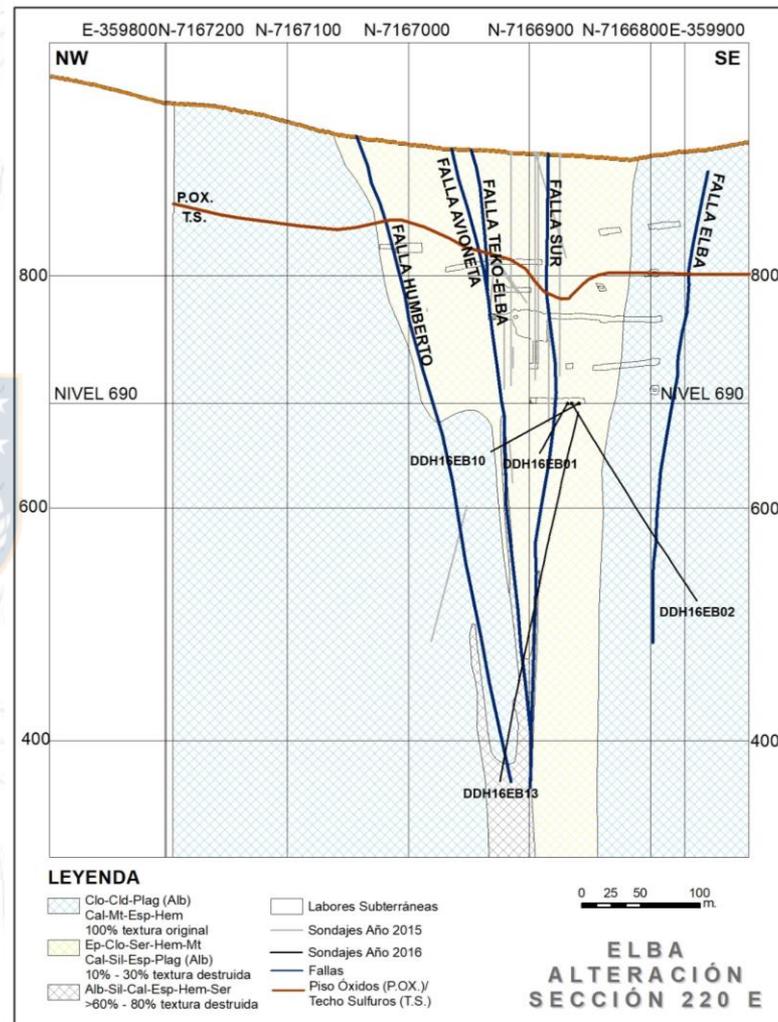
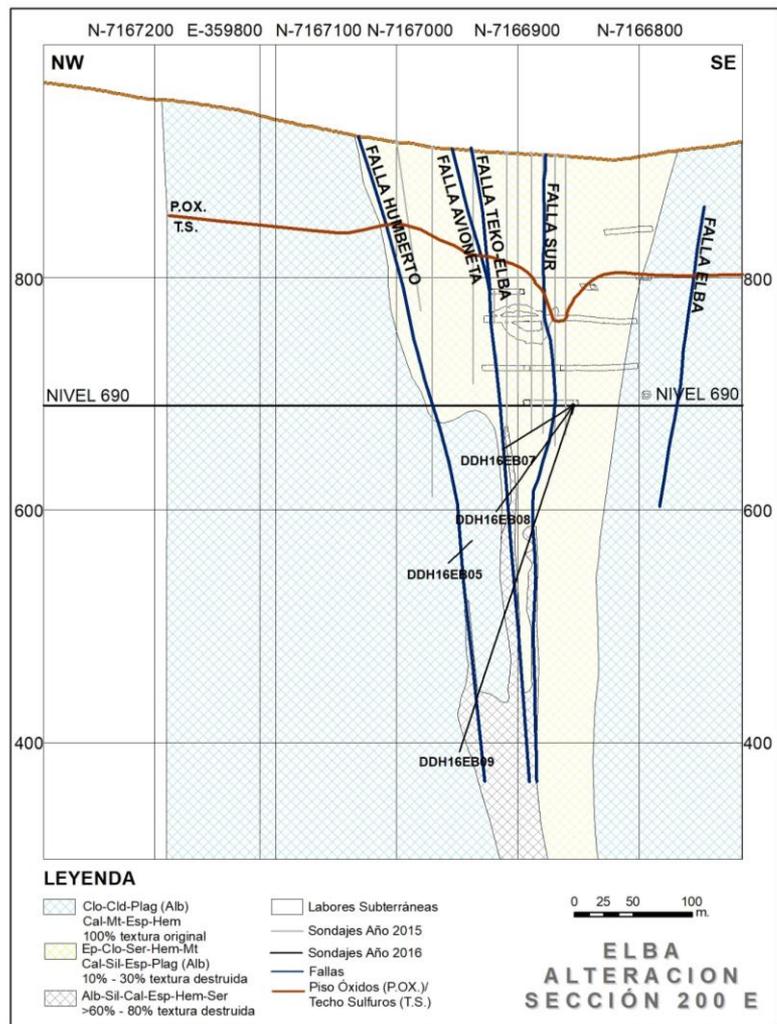
Clorita – Celadonita:  
Metamorfismo de sobrecarga.  
Rellenando vesículas / en  
reemplazo selectivos

Epidota – Clorita:  
Rellenando vesículas,  
alterando la masa fundamental  
y/o como reemplazo selectivo  
y en vetillas.

Albita – Silice - Calcita:  
Obliteración moderada de la  
textura original de la roca. Se  
asocia a los cuerpos principales  
de mineralización  
representados por bornita-  
calcosina-digenita y bornita



# SECCIONES 200 E – 220 E ALTERACION – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



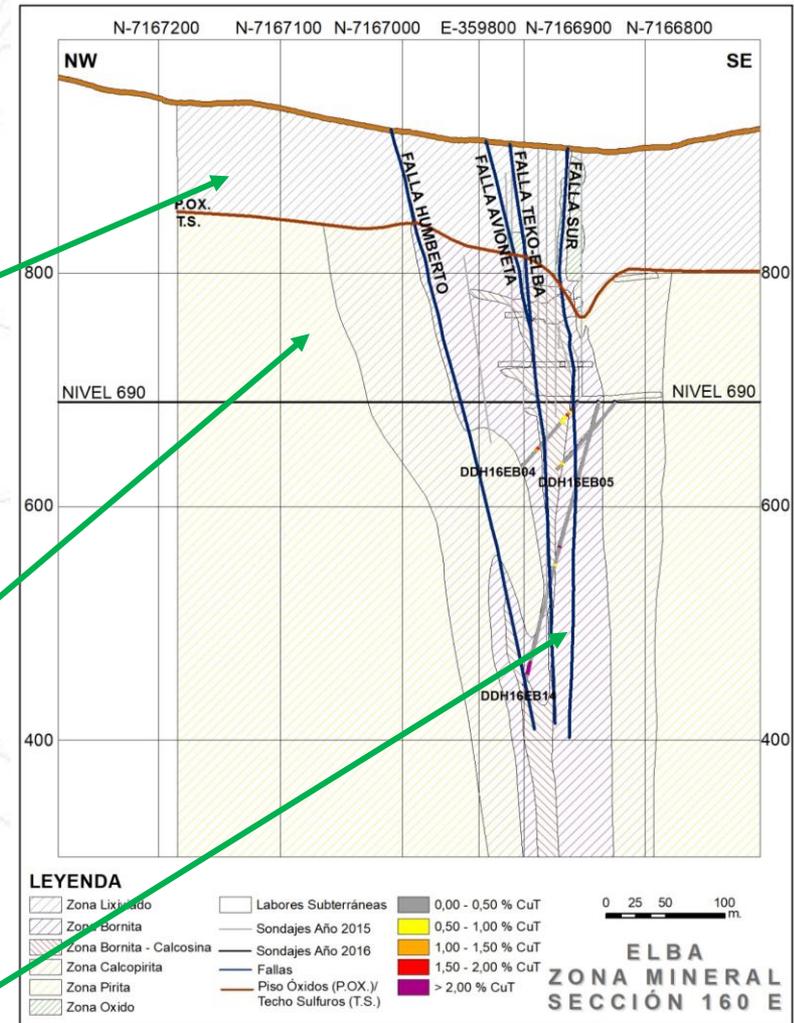
# MINERALIZACIÓN SUBSUPERFICIE DOÑA ELBA

La mineralización oxidada y sulfurada de Cu(Ag), se dispone tanto de manera **mantiforme como estructural vetiforme**.

La mineralización de **óxidos de cobre**, sobre el techo de sulfuros (cota 800 m) entre las secciones **160 E a 240 E** es del tipo **estructural vetiforme**, restringida a las estructuras noreste, gradando a **mantiforme al noroeste de la sección 240 E**.

La **mineralización sulfurada de Cu(Ag)**, localizada entre el **nivel 690 m y el techo de sulfuros (cota 800 m)**, exhibe junto al evidente **control estructural**, una marcada **disposición mantiforme** (incrementando su expresión hacia el noroeste), demostrando también un **control lito estratigráfico** de la mineralización de mena.

La mineralización de **óxidos y sulfuros de cobre** está limitada en su extensión hacia el sureste de la **falla Sur**, por el emplazamiento de **filones dioríticos** elongados en dirección ENE/WSW.



# INTERCEPTOS MINERALIZADOS

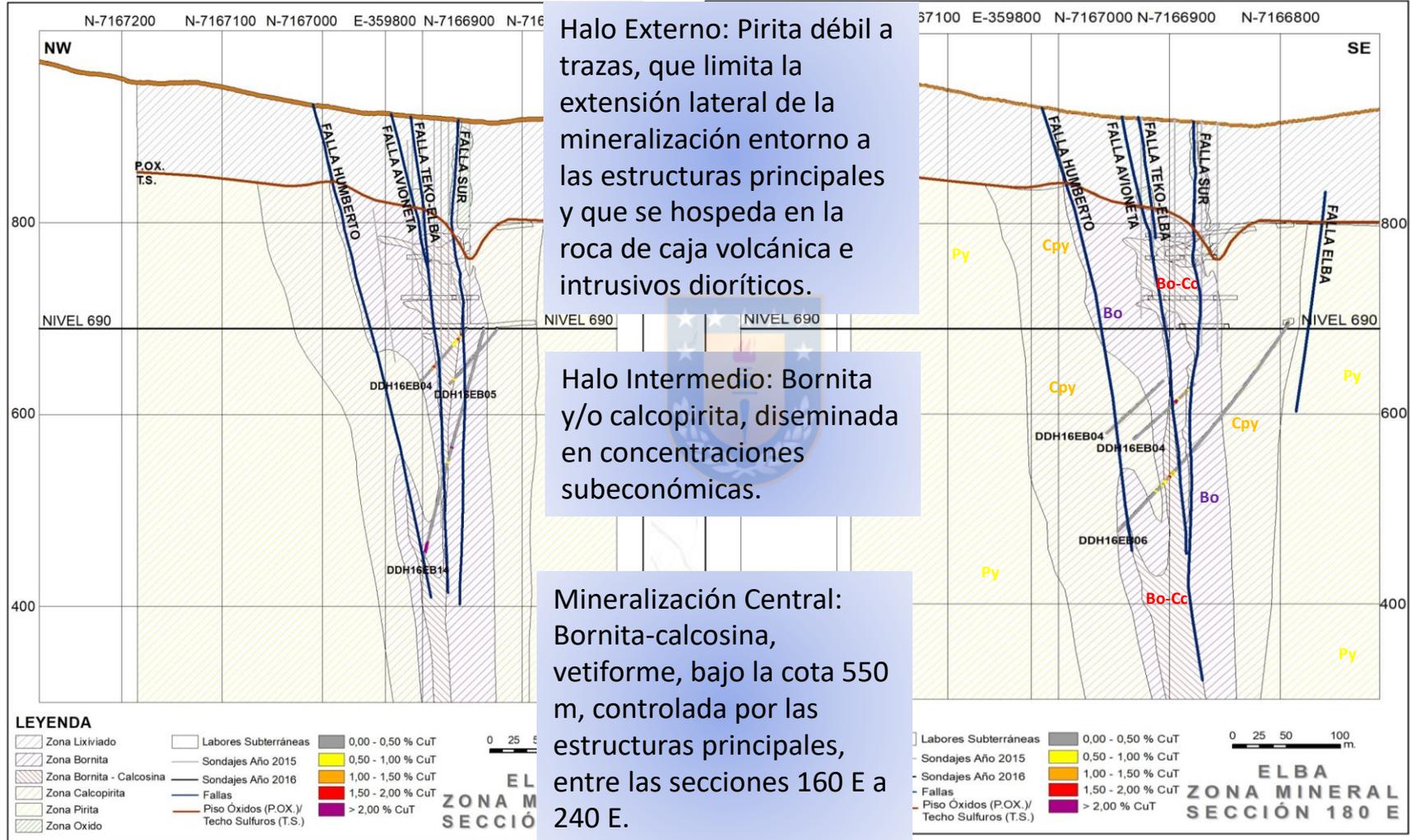
PRINCIPALES INTERCEPTOS MINERALIZADOS Cu - Ag MINA ELBA CAMPAÑA SONDAJES 2016							
REC.	SONDAJES	DESDE (m)	HASTA (m)	LARGO (m)	CuT %	CuS %	Ag ppm
RES08	DDH16EB01	10	20	10	1,51	0,21	2,70
RES11	DDH16EB03	20	22	2	1,22	0,12	4,20
RES11	DDH16EB03	44	50	6	0,29	0,06	1,53
RES01	DDH16EB04	8	24	16	0,92	0,07	1,63
RES01	DDH16EB04	52	56	4	1,34	0,14	2,10
RES02	DDH16EB05	70	74	4	1,04	0,06	1,20
RES02	DDH16EB05	100	110	10	1,74	0,07	1,60
RES04	DDH16EB06	188	216	28	1,00	0,05	2,81
RES03	DDH16EB07	18	34	16	1,23	0,07	1,38
RES03	DDH16EB07	52	54	2	0,96	0,05	1,30
RES03	DDH16EB07	64	68	4	0,38	0,05	1,45
RES20	DDH16EB08	46	54	8	2,22	0,07	1,40
RES20	DDH16EB08	84	88	4	3,77	0,10	5,05
RES21	DDH16EB09	110	122	12	1,34	0,04	1,02
RES21	DDH16EB09	132	136	4	0,63	0,05	0,40
RES21	DDH16EB09	162	190	28	1,12	0,08	6,98
RES21	DDH16EB09	262	284	22	1,13	0,08	4,92
RES21	DDH16EB09	294	308	14	1,06	0,09	2,99
RES05	DDH16EB10	16	24	8	1,28	0,11	1,93
RES16	DDH16EB12	78	86	8	0,89	0,06	3,35
RES16	DDH16EB12	110	112	2	1,15	0,08	6,20
RES23	DDH16EB13	146	148	2	1,06	0,07	7,50
RES23	DDH16EB13	162	166	4	0,78	0,06	8,00
RES23	DDH16EB13	192	212	20	0,45	0,15	3,24
RES23	DDH16EB13	254	256	2	0,66	0,14	6,10
RES23	DDH16EB13	296	322	26	1,03	0,08	20,14
RES22	DDH16EB14	114	118	4	0,42	0,06	3,40
RES22	DDH16EB14	128	132	4	1,34	0,06	9,05
RES22	DDH16EB14	144	146	2	0,66	0,04	4,00
RES22	DDH16EB14	228	242	14	5,61	0,15	19,56

Interceptos mineralizados Cu – Ag, mina Doña Elba campaña 2016. En color amarillo, tramos mayores a 10 metros y sobre 1.0% CuT.

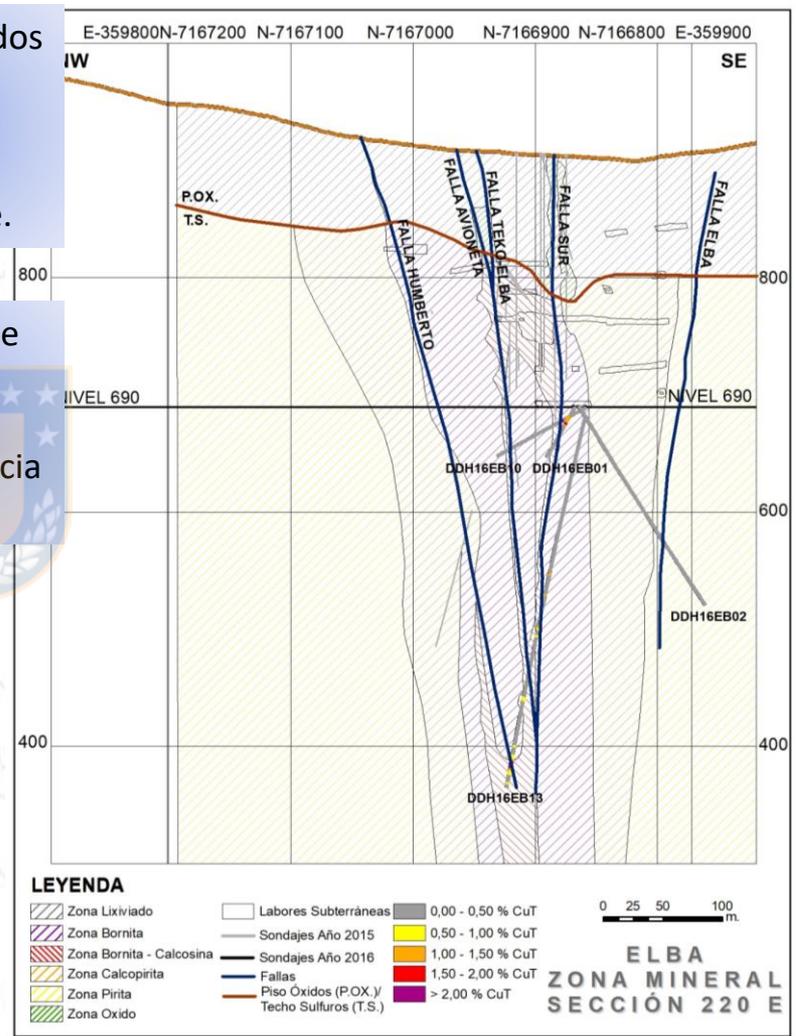
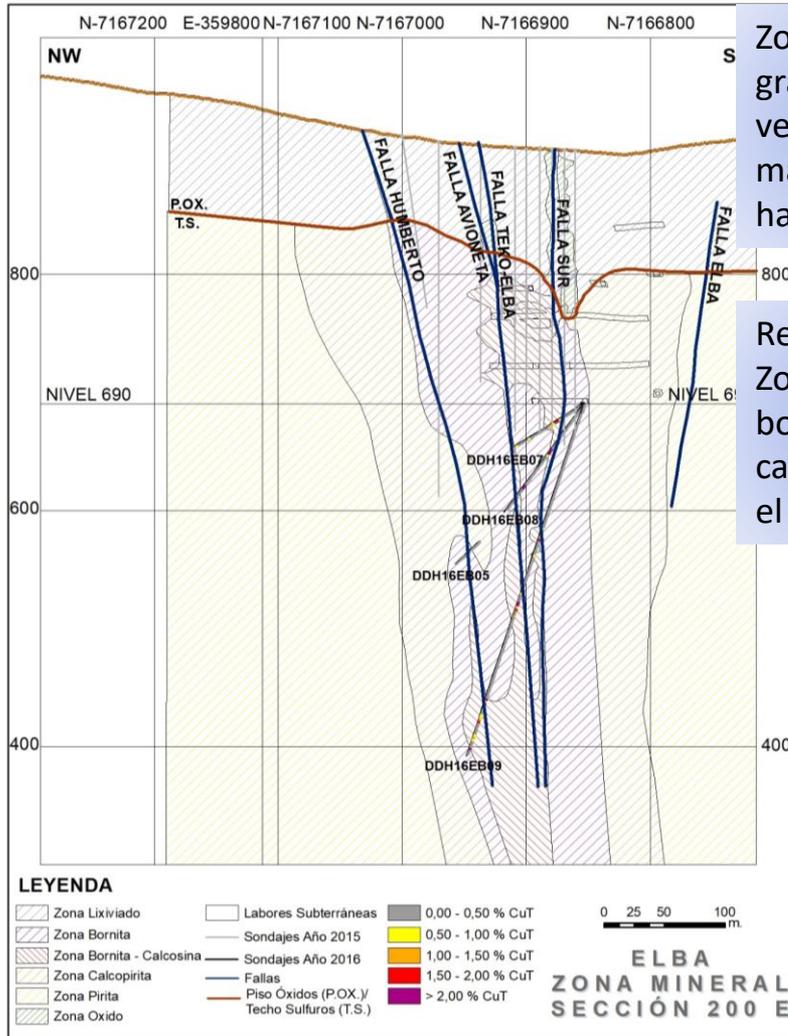
La **mineralización de mena de sulfuros hipógenos**, localizadas principalmente bajo la **cota 800 m**, muestran una notable **zonación lateral entorno al emplazamiento de las estructuras principales**, tal como a continuación se resume:

- **Mineralización Central:** Zona de **bornita-calcosina**, y menor digenita, con **espesores variables entre 10 y 70 m**, cuyo mayor desarrollo de interés económico se intercepta **bajo la cota 550 m, entre las secciones 160 E a 240 E**. Su disposición es **vetiforme** y está **controlada** por las **estructuras principales**. La **intensidad y ocurrencia** de la mineralización de **bornita-calcosina**, se asocia con la **ocurrencia de alteración albita-sílice-calcita**, pervasiva y, menor sericita, especularita/hematita.
- **Halo Intermedio:** Zona de **bornita y/o calcopirita**, alrededor del núcleo de bornita-calcosina. Se presenta principalmente **diseminada en la roca de caja volcánica en concentraciones subeconómicas** y también asociada a los minerales de ganga; epidota-clorita-albita, menor sericita-calcita-sílice, y trazas a débil presencia de hematita/especularita, magnetita-rutilo.
- **Halo Externo:** Zona **calcopirita y/o pirita** débil a trazas. Corresponde a la **envolvente que limita la extensión lateral de la mineralización** entorno a las estructuras principales y que se hospeda principalmente en la roca de caja volcánica e intrusivos dioríticos.

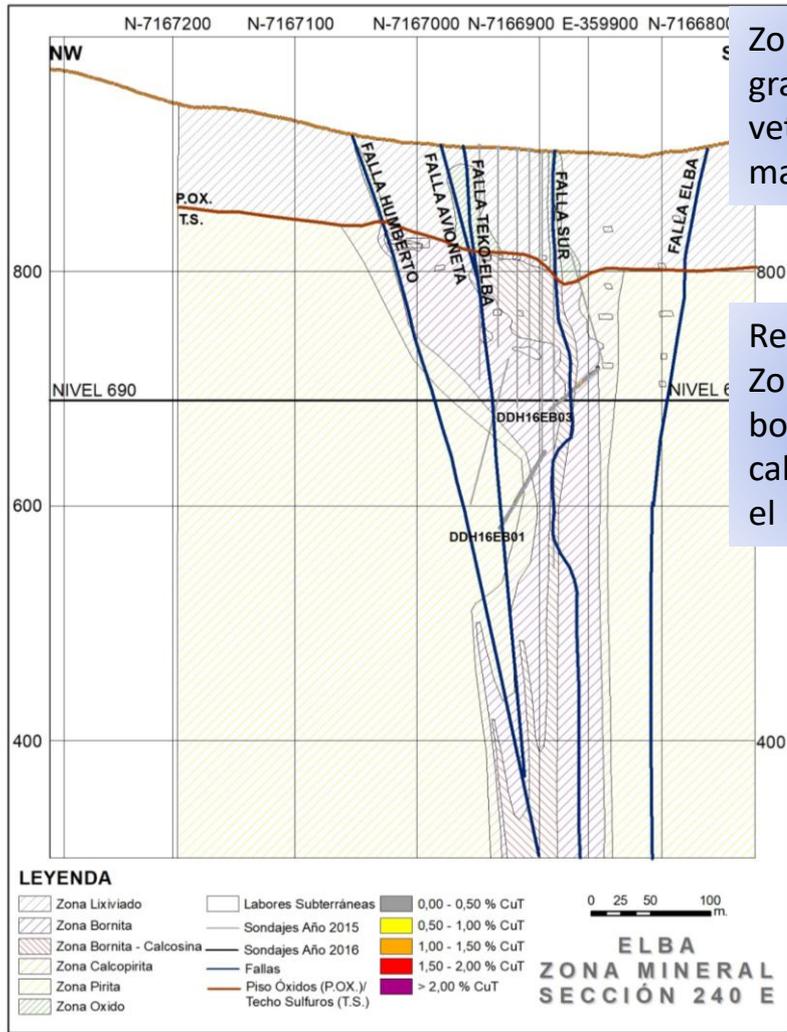
# SECCIONES 160 E – 180 E ZONA MINERAL – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



# SECCIONES 200 E – 220 E ZONA MINERAL – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA

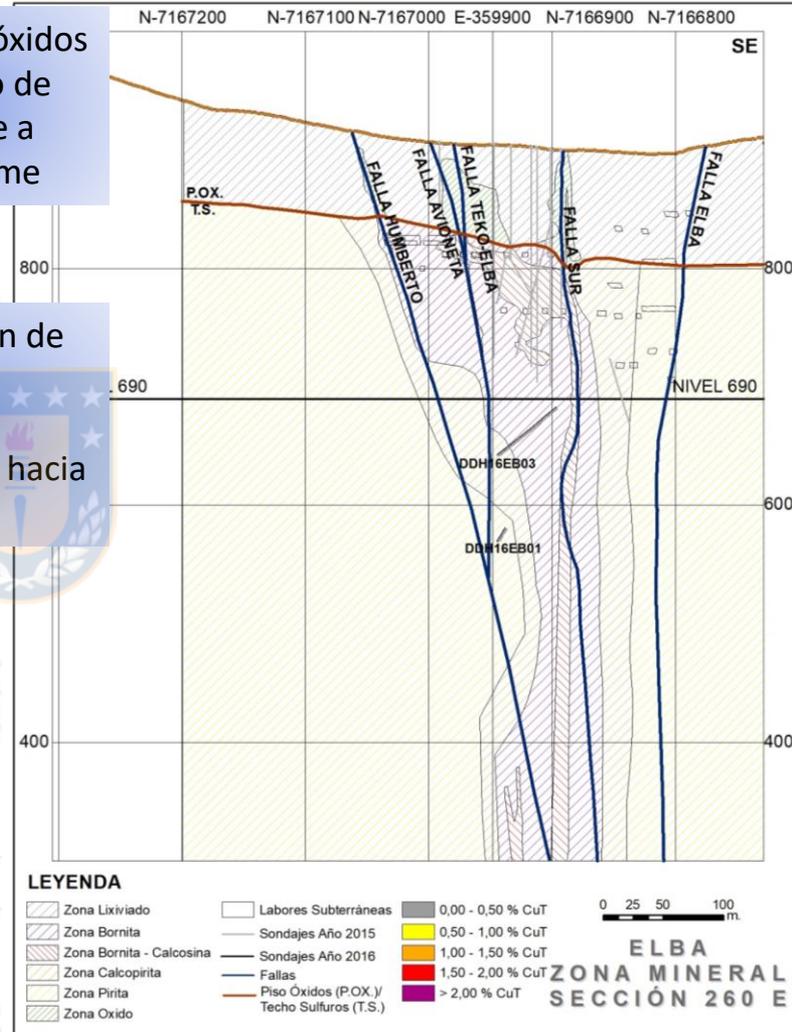


# SECCIONES 240 E – 260 E ZONA MINERAL – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA

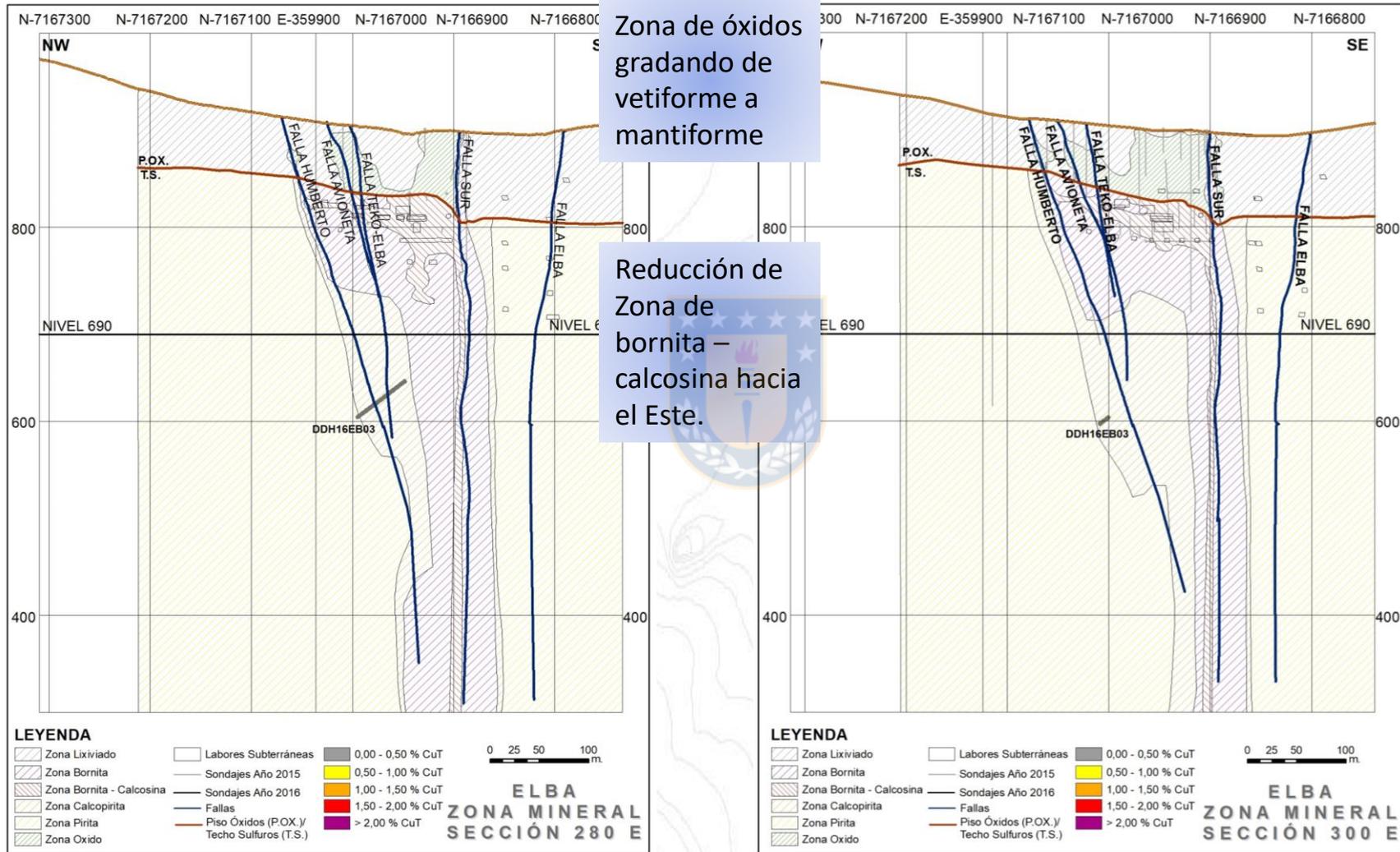


Zona de óxidos gradando de vetiforme a mantiforme

Reducción de Zona de bornita – calcosina hacia el Este.



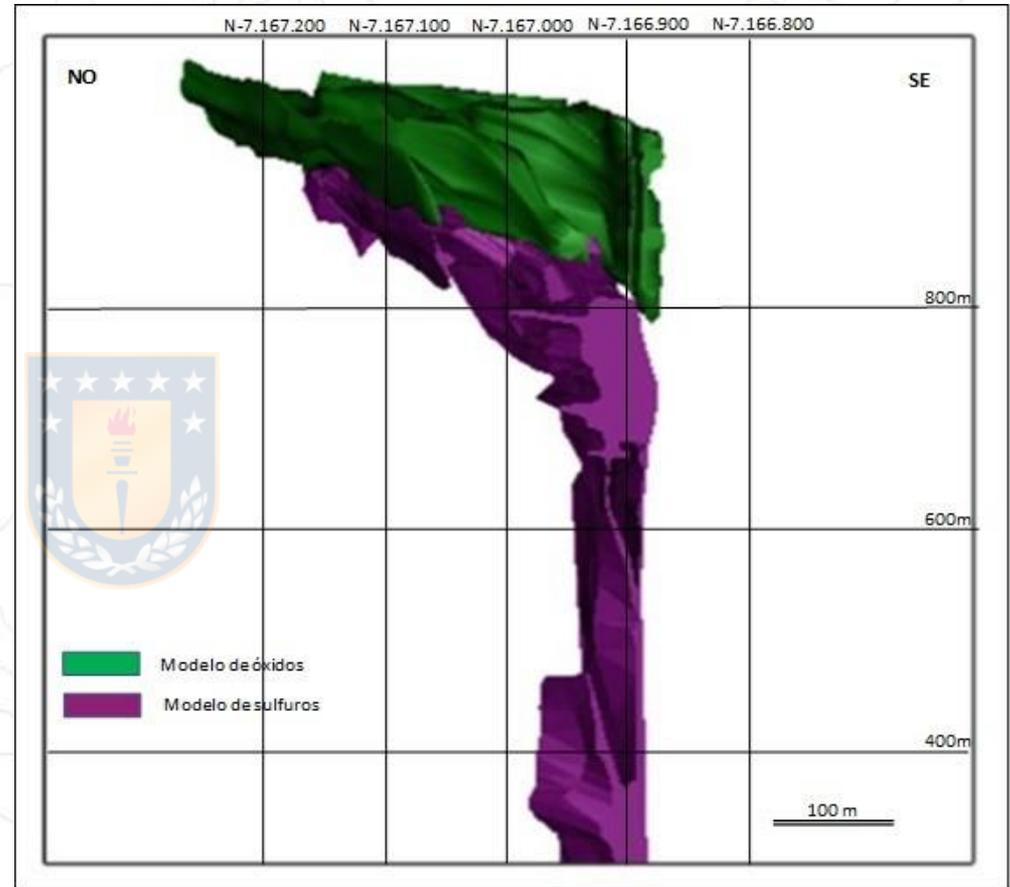
# SECCIONES 280 E – 300 E ZONA MINERAL – ESTRUCTURAS DOÑA ELBA



# MODELO GEOLÓGICO EXPLORATORIO

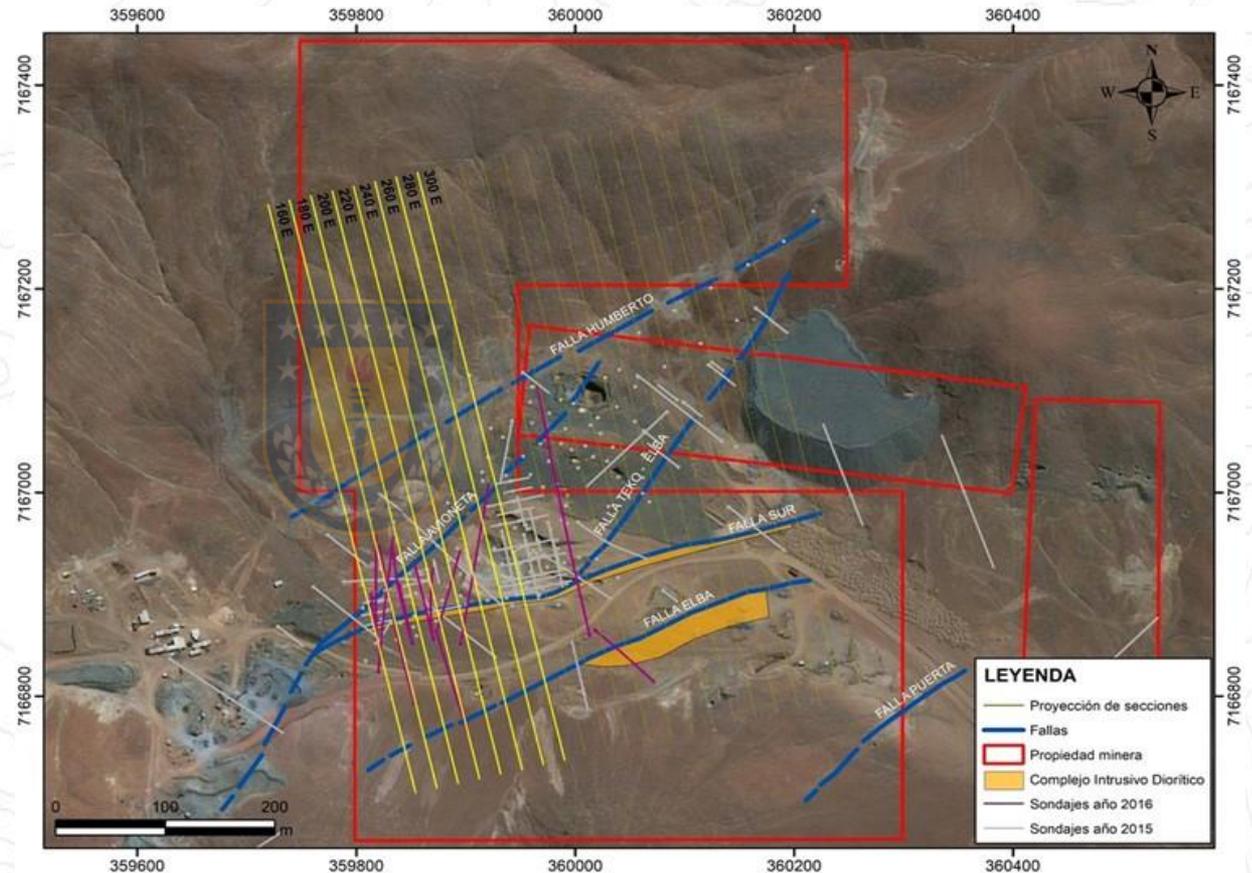
El modelo se **actualizó, a través de secciones separadas cada 20 m (160 E a 300 E)**, dispuestas en la misma dirección de los sondajes (azimut  $347^\circ$ ), perpendiculares a las estructuras y al rumbo de la estratificación de la secuencia volcánica.

Se generó un modelo de alteración (160 E a 220 E) y se extrapoló el **modelo geológico exploratorio** hasta la cota cero, con límite de confianza hasta la cota 300 msnm.



# POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN

Se estima un **potencial de mineralización > 2 Mt @ ley  $\geq$  1,5% CuT**, entre las cotas 0 m y 300 m (300x50x50x2.67) cuya extensión al SW se encuentra limitada por propiedad minera de terceros y abierto al NE de la sección 240E.

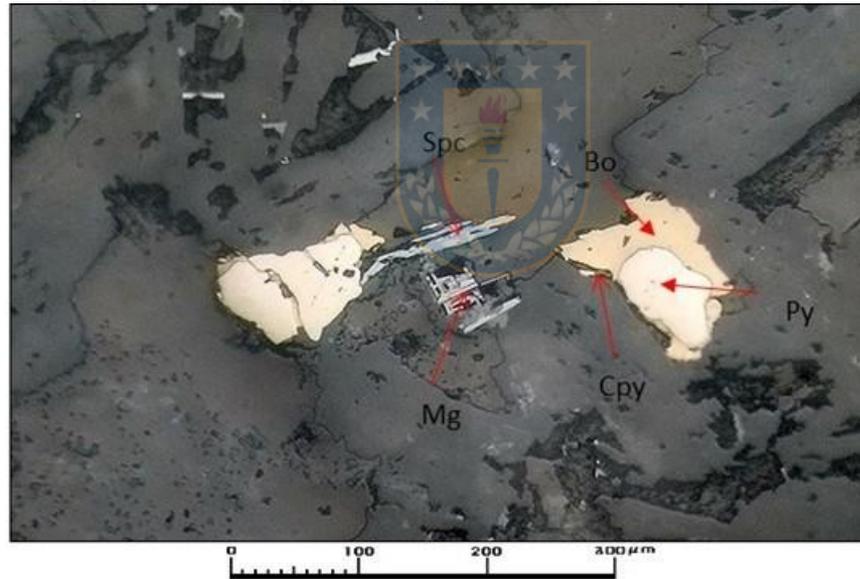


Área proyecto mina Doña Elba, destacando la propiedad minera, estructuras NE, intrusivos dioríticos, traza de secciones y sondajes perforados el año 2015 y 2016.

# SECUENCIA PARAGENÉTICA

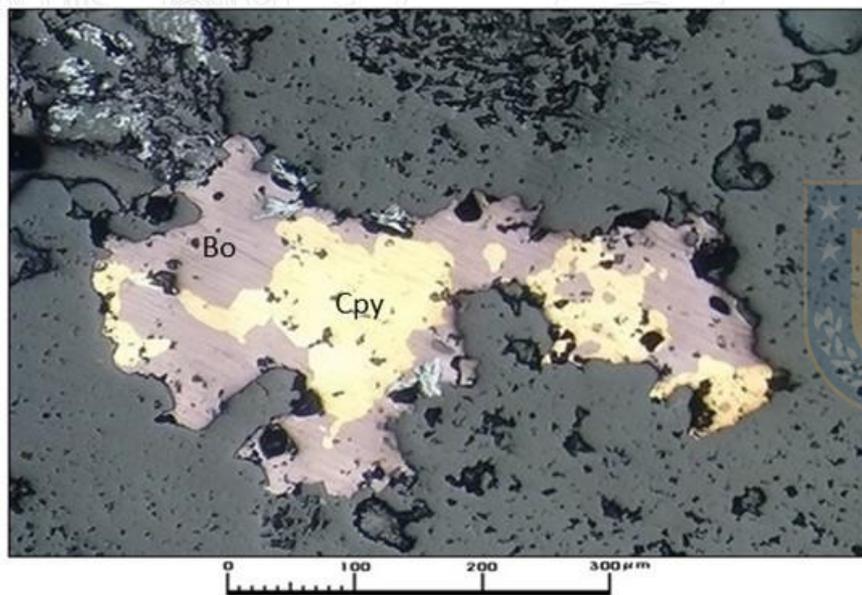
Se identificaron cuatro asociaciones de mena sulfurada, en estudios petro-calcográficos, las que se ilustran a continuación:

**Temprana:** Magnetita-Especularita (rutilo)-Pirita-Calcopirita-Bornita

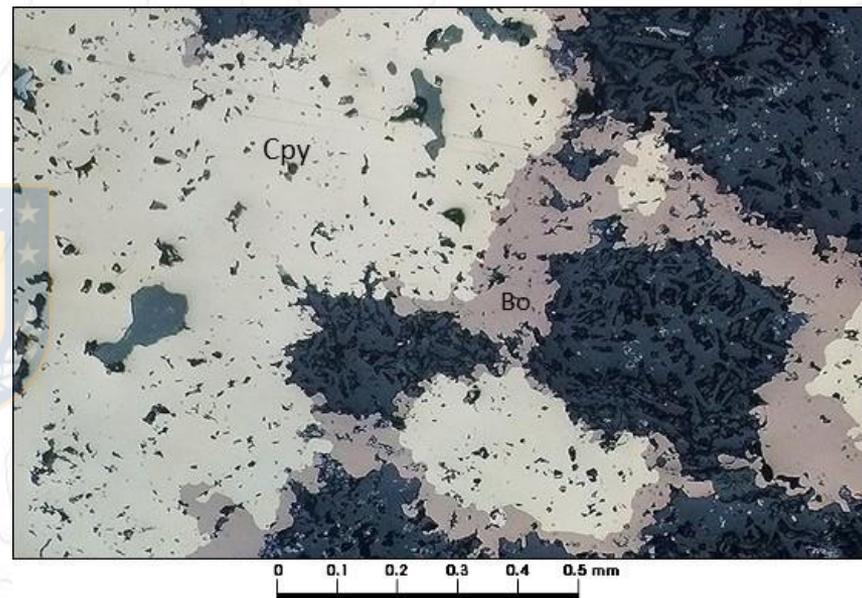


**Lámina 1** Muestra DDH16EB06\_236.70-236.87: detalle en que se observan cristales de magnetita y especularita, y pirita - bornita entrecrecidos, con muy escasa calcopirita; Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.

## Principal Temprana: Calcopirita-Bornita- Especularita-(Magnetita)

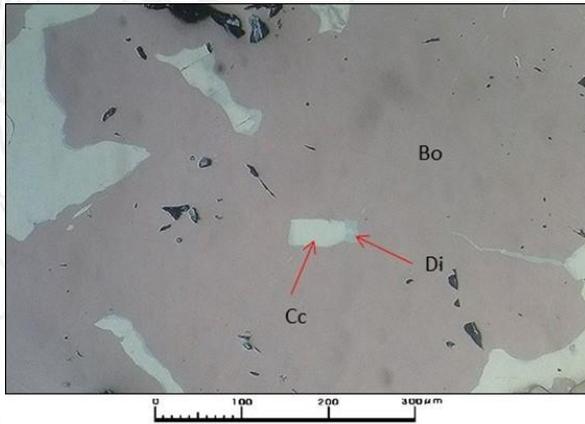


**Lámina 2** Muestra DDH16EB06\_196.2-196.29: detalle en que se observa entrecrecimiento entre calcopirita y bornita. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.

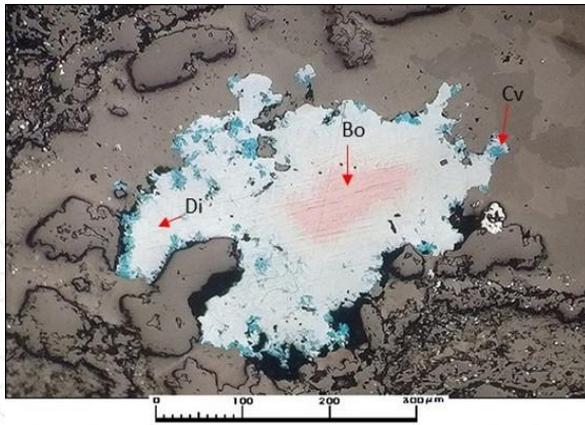


**Lámina 3** Muestra DDH16EB06\_206.14-206.2: entrecrecimiento de cristales gruesos de calcopirita y bornita. Aum.: 10X10; Nic. Cruzados.

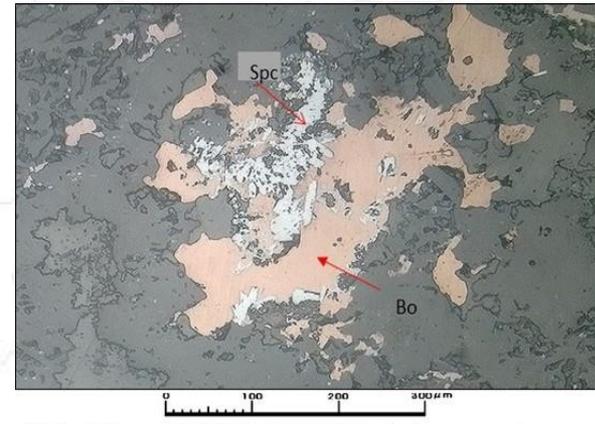
## Principal Tardía: Bornita-Digenita-Calcosina-Especularita



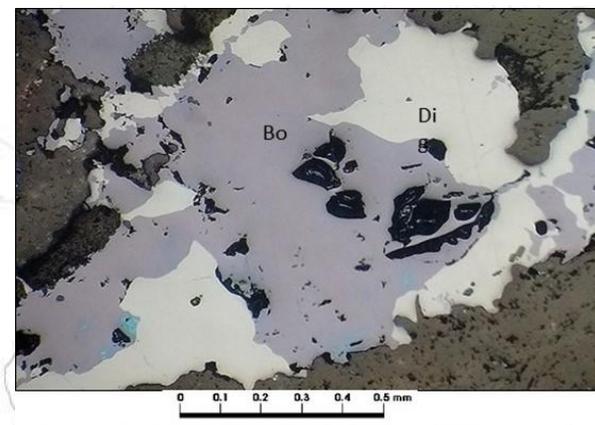
**Lámina 4** Muestra DDH16EB05\_73.05-73.12: cristal de bornita entrecrecida con calcosina y digenita. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.



**Lámina 5** Muestra DDH16EB05\_108.56-108.67: cristal de digenita entrecrecida con bornita y covelina. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.

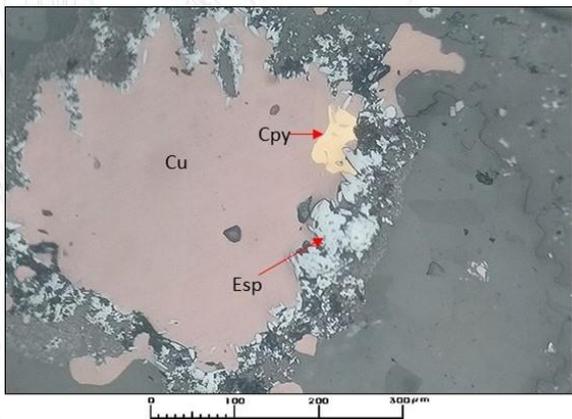


**Lámina 6** Muestra DDH16EB06\_196.69-196.76: detalle en que se observa cristal de bornita con cristales de hematita/ especularita asociados. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.

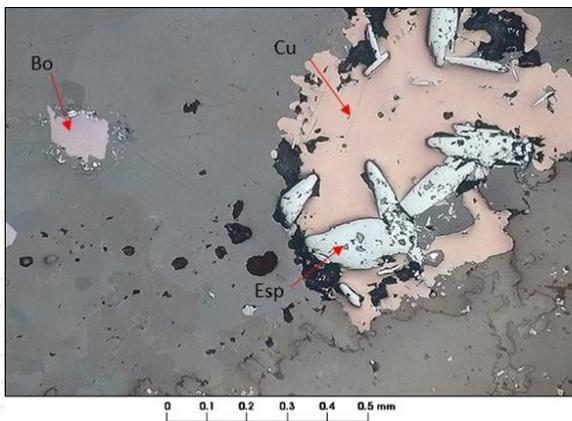


**Lámina 7** Muestra DDH16EB07\_52.28-52.39: cristales gruesos de bornita y digenita entrecrecidas. Aum.: 10X10; Nic. Cruzados.

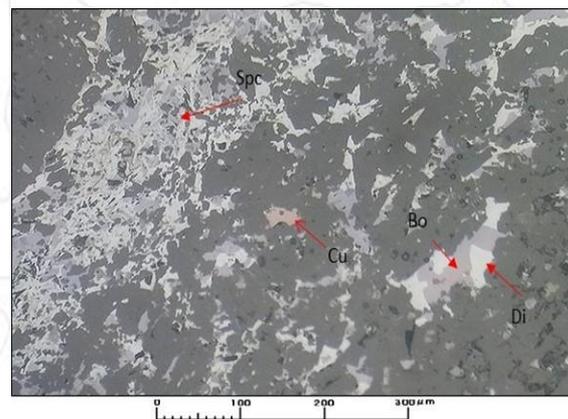
## Tardía de borde: Cuprita-Especularita - Bornita-Digenita-Calcosina



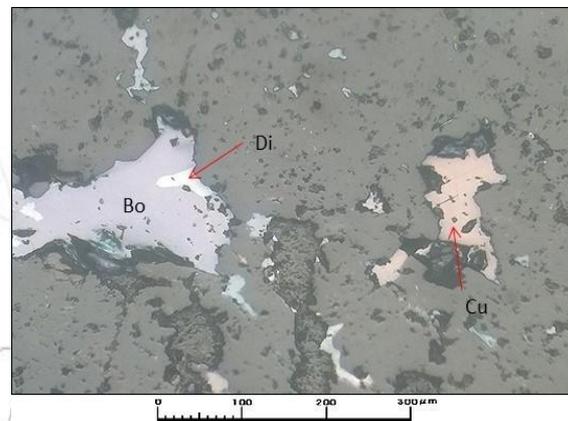
**Lámina 8** Muestra DDH16EB05\_102.80-102.96: cristal de Cu nativo con desarrollo local de calcopirita y bordes con agregados de especularita. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.



**Lámina 9** Muestra DDH16EB06\_187.64-187.67: cristal de Cu nativo con especularita asociada y cristal de bornita local. Aum.: 10X10; Nic. Cruzados.

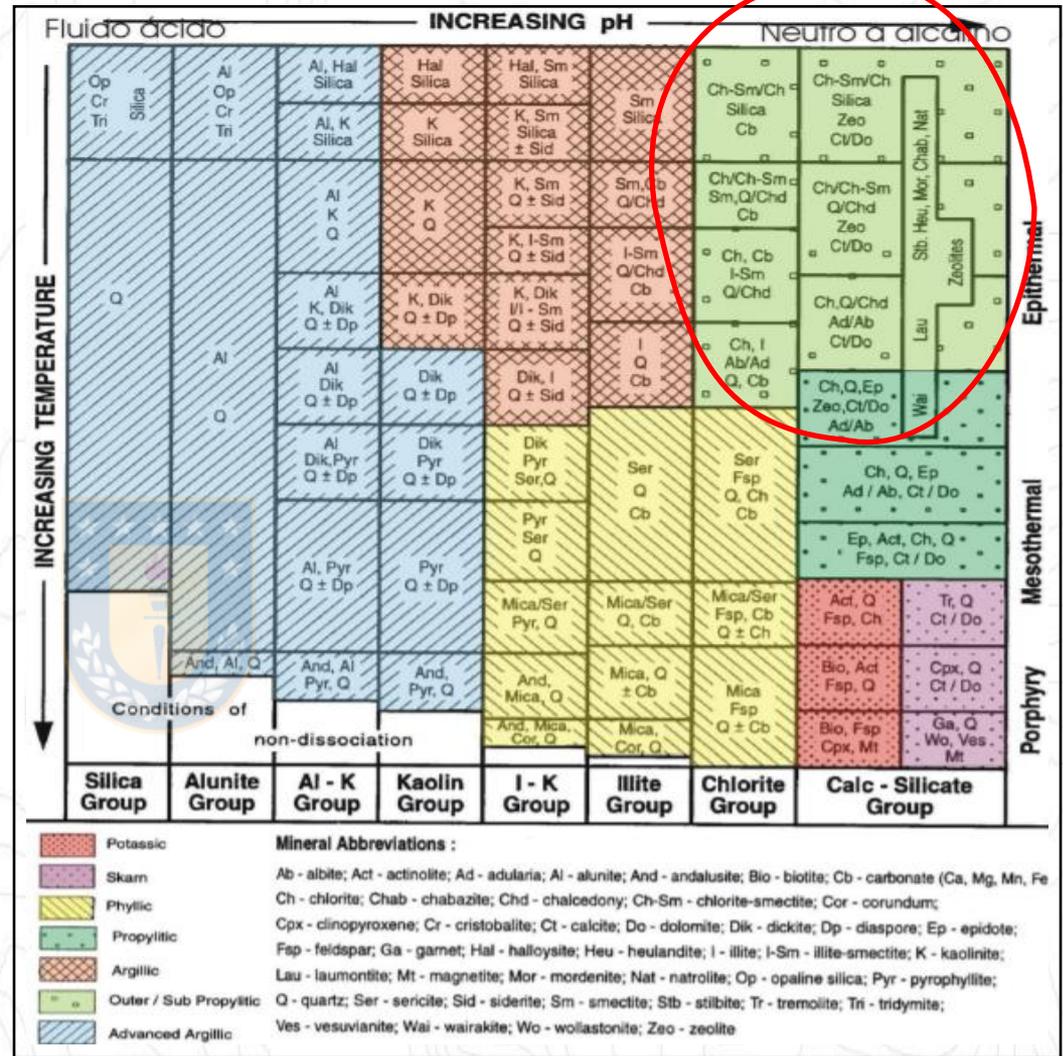


**Lámina 10** Muestra DDH16EB06\_197.08-197.22: abundante especularita, cristales entrecrecidos de bornita y digenita y localmente cobre nativo. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.



**Lámina 11** Muestra DDH16EB07\_52.28-52.39: cristales entrecrecidos de bornita y digenita; cristal de Cu nativo. Aum.: 20X10; Nic. Cruzados.

Estudios **petro-calcográficos** evidencian que la **secuencia paragenética** de la **mineralización sulfurada de Cu(Ag)**, es del tipo hidrotermal de **baja temperatura**, (epitermal, entre 100°C a 300°C), transportada en fluidos de naturaleza **neutra a alcalina**, y **alto pH**, asociada con minerales de alteración del grupo de la **clorita y calco silicatos** (en el sentido de Corbett & Leach 1998).



Asociaciones de minerales de alteración en sistemas hidrotermales (Tomado de Corbett y Leach, 1998)

Ab: Albita; Ad: Adularia; Cb: Carbonatos; Ch: Clorita; Ct: Calcita; Do: Dolomita; I: Illita; Sm: Smectita; Q: Cuarzo; Zeo: Zeolitas;

# 5. Conclusiones y recomendaciones

Los datos y resultados obtenidos en la presente campaña de sondajes, desarrollada principalmente bajo el Nivel 690 de la mina Doña Elba, permite establecer las siguientes conclusiones sobre el área:

Se valida y se proyecta en profundidad el modelo geológico exploratorio propuesto para este sector, en abril 2016.



Se corrobora la presencia de mineralización económica alojada en el entorno de las estructuras principales, con desarrollo discontinuo en la vertical y horizontal de las fallas Avioneta, Sur, y Humberto, localizadas al oeste de un complejo intrusivo diorítico subvertical, el cual actúa como una barrera, limitando la mineralización hacia el sureste.

La mineralización económica oxidada y sulfurada de Cu(Ag), se dispone tanto de manera mantiforme como estructural vetiforme.

La mineralización mantiforme, se localiza sobre el Nivel 690 m, y se hospeda principalmente en rocas volcánicas de composición andesítica (estratos permeables de brechas volcánicas y andesitas porfídicas amigdaloidales) interestratificadas con unidades impermeables conformadas por andesitas finas y sills microdioríticos. Los espesores mineralizados logran alcanzar potencias medias de 50-60 m.

Bajo el Nivel 690 m, la mineralización corresponde esencialmente a sulfuros de Cu(Ag), en estrecha relación con las principales estructuras: fallas Avioneta, Sur, Humberto y Elba.

Los principales cuerpos mineralizados se desarrollan y localizan entre las cotas 550 m y 300 m (límite inferior de confianza del cuerpo modelado), afectando tanto a estratos andesíticos finos como porfídicos, vesiculares-amigdaloidales y brechosos, con potencias variables desde 1 m hasta 30 m.

Las asociaciones de minerales de alteración que acompañan la mineralización de mena, pueden agruparse en tres frentes o zonas de alteración principal, desde el centro hacia la periferia:

Albita-Sílice-Calcita: Relacionado a los cuerpos principales de mineralización representados por bornita-calcosina-digenita y bornita, con intensidades de moderadas a fuerte.



Epidota-Clorita: Zona intermedia, de bornita-calcopirita, de intensidad moderada a débil.

Clorita-Celadonita: Zona distal con concentraciones no económicas de calcopirita y/o pirita.

La mena hipógena muestra una zonación estrechamente asociada al emplazamiento de estructuras principales:

Mineralización Central: Zona económica de bornita-calcosina y menor digenita.

Halo irregular intermedio: Zona de intensidad moderada a débil de bornita-calcopirita.

Halo Externo: Con ocurrencia débil a trazas de calcopirita y/o pirita en concentraciones no económicas.



La intensidad y ocurrencia de la mineralización de bornita y calcosina reconocida bajo la cota de 550 msnm, se asocia con la ocurrencia de cuerpos de brechas hidrotermales, y la intensidad de alteración de albita-sílice-calcita en estrecha relación con las estructuras (NE/subverticales), como Falla Avioneta, Falla Sur, y Falla Humberto.

Las rocas denominadas como brechas hidrotermales corresponden a andesitas porfídicas y amigdaloidales con rasgos de flujo, y/o brechas volcánicas, afectadas por una alteración hidrotermal moderada a intensa.

La matriz está constituida por minerales de baja temperatura como albita, clorita, epidota, calcita y cuarzo que se disponen rellenando sectores escoráceos de la andesitas, venillas y estructuras de desgasificación conectándolas entre sí.

Las brechas hidrotermales son las rocas que albergan la mayor parte de la mineralización del yacimiento Doña Elba, evidenciando el importante control litológico que posee la morfología del depósito.

El factor estructural también es crítico en la génesis de este yacimiento, pues a pesar de que la mineralización se dispone siguiendo estratos favorables, los fluidos hidrotermales, portadores de la mineralización requirieron de conductos que permitieran su ascenso.

Estos conductos corresponderían a un sistema de estructuras sub verticales de orientación N 30° a 80° E, caracterizado por las fallas Humberto, Sur, Elba, y la falla Avioneta a lo largo de la cual se encuentran importantes manifestaciones de óxidos de cobre explotadas artesanalmente.

Esto permite sugerir, que el sistema ENE es el que controla la circulación de las soluciones mineralizadoras, generadas probablemente a partir del enfriamiento de los cuerpos subvolcánicos, favoreciendo así el desplazamiento de los fluidos hidrotermales hacia la roca de caja, a través de estratos más permeables, originando el yacimiento Doña Elba.

Los estudios petro-calcográficos muestran que la secuencia paragenética de la mineralización sulfurada de Cu(Ag), es del tipo hidrotermal de baja temperatura (epitermal, entre 100°C a 300°C), transportada en fluidos de naturaleza neutro a alcalino, y alto pH, asociada con minerales de alteración del grupo de la clorita y calco silicatos. Las secuencias paragenéticas identificadas son las siguientes:

Temprana: Magnetita-Especularita (rutilo)-Pirita-Calcopirita-Bornita

Principal Temprana: Calcopirita-Bornita- Especularita-(Magnetita)

Principal Tardía: Bornita-Digenita-Calcosina-Especularita

Tardía de Borde: Cuprita-Especularita - Bornita-Digenita-Calcosina

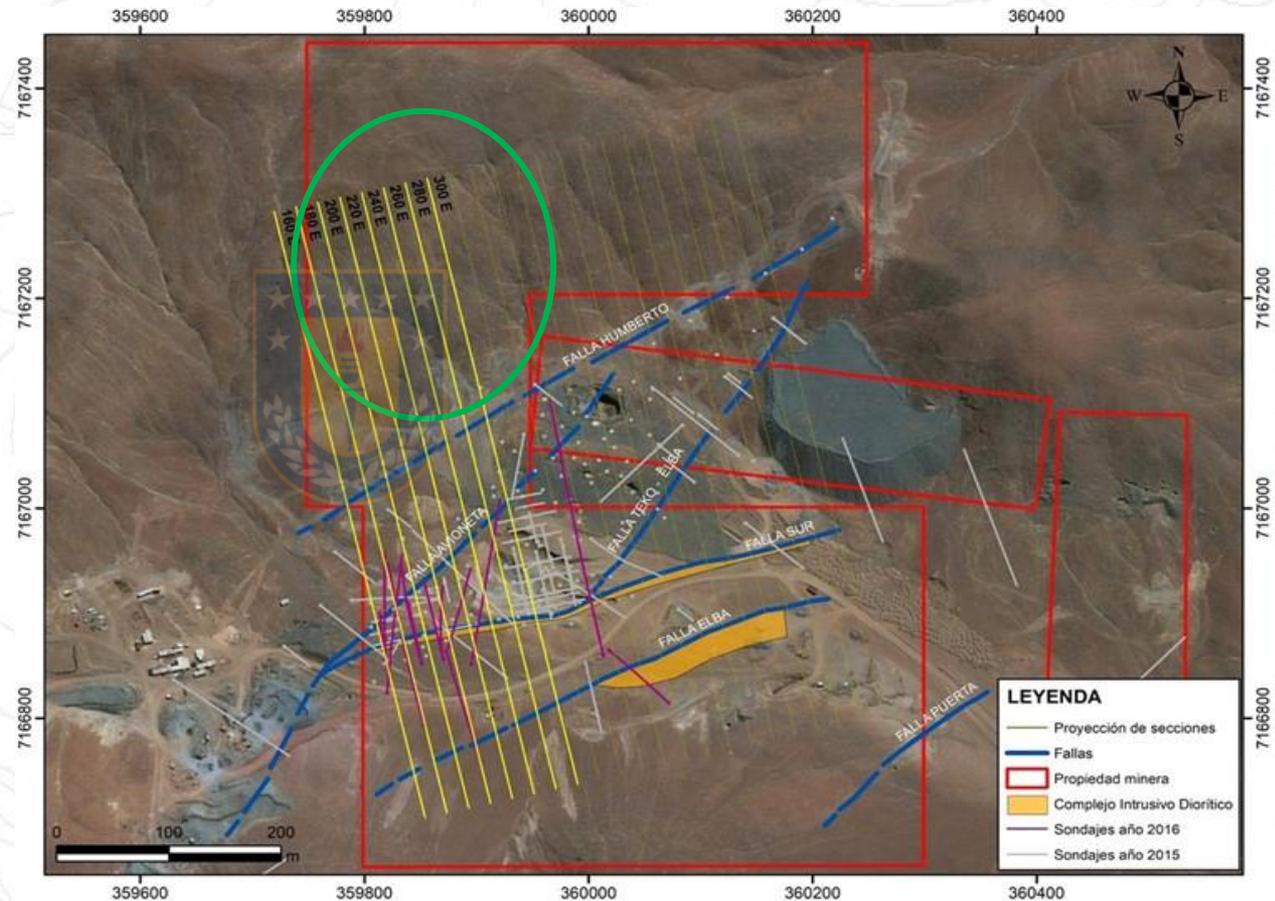


Los resultados muestran hasta ahora que la continuidad en profundidad de los cuerpos explotados en el pasado presenta una importante disminución de potencia bajo la cota 600 m s.n.m. Por otra parte, los sondajes más profundos han mostrado la existencia de una zona mineralizada continua a partir de la cota 550 m s.n.m., desconociéndose a la fecha su desarrollo vertical completo.

El grado de conocimiento ha permitido reconocer la posición, correlación espacial y control estructural de los principales cuerpos minerales de bornita-calcosina, de alta ley de Cu-Ag, entre las cotas 800 m s.n.m y 300 m s.n.m (límite de confianza), estimando un potencial de mineralización (recurso inferido) de 5 Mt @ 1.5% CuT, y contenidos de Ag entre 10 y 20 ppm, cuya extensión al suroeste está limitada por propiedad minera de terceros y abierto al noreste de la sección 240E.

# Recomendaciones

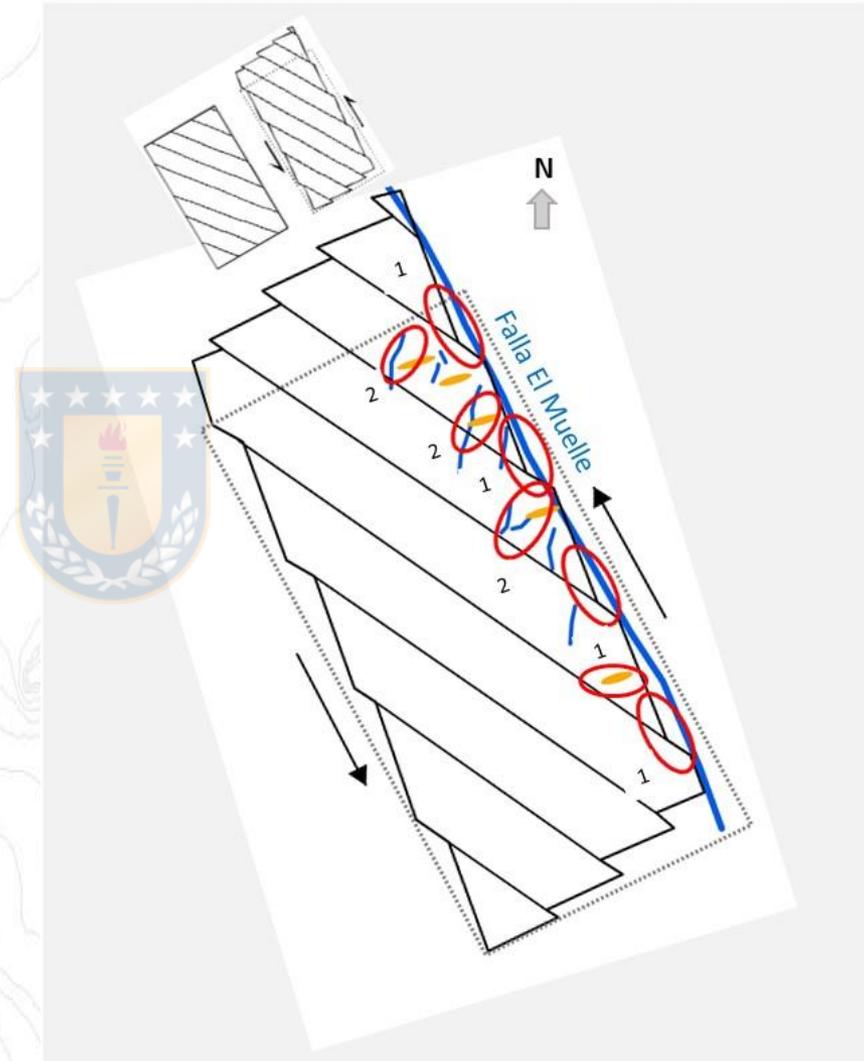
- Continuar con futuras campañas de sondajes para aumentar la categoría del potencial de mineralización económica y llevarlo a recursos, aumentando la información de la continuidad de este cuerpo principalmente en profundidad y hacia noreste de la sección 240E.



Área proyecto mina Doña Elba, destacando la propiedad minera, estructuras NE, intrusivos dioríticos, traza de secciones y sondajes perforados el año 2015 y 2016.

# Recomendaciones

- ❑ Explorar bajo el Cuaternario aquellos sectores que están ubicados en la intersección de estructuras regionales como la falla El Muelle (NNW), rama occidental de la Falla de Atacama, con sistemas estructurales – lineamientos NW, sectores propicios para el emplazamiento de intrusivos y circulación de intrusivos hidrotermales. (1)
- ❑ En bloques con tectónica local NE, favorables para el emplazamiento de intrusivos dioríticos y fluidos hidrotermales, circunscritos a sistema de fallas paralelas NW (Ej: mina Doña Elba). (2)



- **Agradecimientos**

Mis sinceros agradecimientos al señor **Marcelo Araya**, Gerente de Geología, por su apoyo y motivación para desarrollar esta memoria de título.

A **Mario Castro**, Superintendente de Geología de Exploraciones por el aporte de importante información distrital.

A **Iván Olivares**, Geólogo Senior, quien aportó todo su apoyo técnico y conocimiento del yacimiento Doña Elba.

# 6. Referencias

- Alarcón, B., Vergara, M. (1964). Nuevos antecedentes sobre la geología de la quebrada El Way. Inst. Geol. Univ. Chile, Santiago. Publ.N°26. An.Fac.Cienc.Fis. y Mat., Vol. 20-21. p.107-128.
- Arabasz, W. (1971). Geological and Geophysical studies of the Atacama Fault Zone in Northern Chile. Ph.D. Thesis. California Institute of technology. Pasadena USA. p.264
- Arcos, R., Gardweg, M., Jorquera, J., Arévalos, C. (2006). Geología de la Cordillera de la Costa, entre Taltal y Cerro del Pingo (25°24'-25°40'S; 70°36'W), II Región de Antofagasta, Chile. Informe inédito. P. 139.
- Arévalo, C., Grocott, J. y Welkner, D., 2003. The Atacama Fault System in the Huasco Province, southern Atacama desert, Chile. Proceedings 10th Congreso Geológico Chileno, Concepción.
- Bell, C. (1982). The Lower Paleozoic metasedimentary basement of the coastal ranges of Chile between 25°30' and 27°S. Revista Geológica de Chile, N°17, p.21-29.
- Berg, K., Breitzkreuz, C., Damm, K., 1983. The north Chilean Coast Range -an example for the development of an active continental margin. Geol. Rundsch, Vol. 72, No. 7, p. 715-731.
- Boric, R., Díaz, F. y Maksaev, V., 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Boletín 40.
- Brown, M., Díaz, F. y Grocott, J., 1993. Displacement history and tectonic significance of the El Salado segment of the Atacama Fault System, Northern Chile. GSA Bulletin, 105, 1165-1174.
- Covacevich, V. (1982). Informe paleontológico interno N°31. Serv. Nac. Geol. Min. Inédito. p.13.
- Davidson, J., Mpodozis, C., Rivano, S, (1981). Paleozoico de Sierra Almeyda, al oeste de Monturaqui, Alta Cordillera de Antofagasta, Chile. Rev. Geol. Chile. N°12. p.3-23.

Emparan, C. y Pineda, G., 2000. Área La Serena-La Higuera, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Santiago, Chile, Mapas Geológicos 18, escala 1:100.000.

Emparan, C. y Pineda, G., 2005. Geología del Área Andacollo-Puerto Aldea, Región de Coquimbo, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Santiago, Chile, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 96, escala 1:100.000.

Ferraris, F. (1978). Hoja Tocopilla, Región de Antofagasta. Inst. Invest. Geol., mapas Geol..Prelim. Chile, N°3. P.19.

Ferraris, F., Di Biase, F. (1978). Hoja Antofagasta. Región de Antofagasta. Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile. N°30. P.48.

Frutos, J., Oyarzun, R., Pincheira, M. (1985). Geología y recursos minerales de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Concepción. Chile. Tomo II. p.923.

Galaz, G., Álvarez, P., Pinto, K., Zamora, A., Moya, C., Knabe J., Olivares, I., Bravo, F., Faúndez, V., Brant, J. (2015). Informe Geológico-Estructural (1:5000) Área Elba-Vallenar-Avión, Avioneta. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.

García, F. (1967). Geología del Norte de Chile. In Symposium sobre el Geosinclinal Andino, Vol.3: Santiago, Sociedad Geológica de Chile. P.138.

García, C., 1991. Geología del sector quebrada El Teniente, Región de Coquimbo. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

Godoy, E. y Lara, L., 1998. Hojas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Seervicio Nacional de Geología Minería, Santiago, Chile, 1:1.000.000, 5-6.

Harrington, H. (1961). Geology of parts of Antofagasta and Atacama Provinces of northern Chile. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull., Vol.45, N°2, p.169-197.

Harrington, H. (1961). Geology of parts of Antofagasta and Atacama Provinces of northern Chile. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull., Vol.45, N°2, p.169-197.

Hervé, F., Godoy, E., Parada, M., Ramos, V., Rapela, C., Mpodozis, C. y Davidson, J.A., 1987. A general view of the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. In: Monger, J. y Francheteau, J. (eds) Circum-Pacific Orogenic Belts and the Evolution of the Pacific Ocean Basin. Geodynamics Series 18, 97-113.

Maksaev, V., 1990. Metallogeny, geological evolution and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 26° south, and the origin of the major porphyry copper deposits. PhD thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.

Marinovic, N., Smoje, I., Maksaev, V., Hervé, M., Mpodozis, C., 1995. Hoja Aguas Blancas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Carta Geológica de Chile, 70.

Mortimer, C. (1973). The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. Geol. Soc. Lond., J., Vol. 129, Part 5, p. 505-526.

Muñoz, N.; Venegas, R.; Téllez, C. (1988). La Formación La Negra: Nuevos antecedentes estratigráficos en la Cordillera de la Costa de Antofagasta. In Congreso Geológico Chileno, N°5, Actas 1: p. A283 – A311.

Naranjo, J. A. (1978). Geología de la zona interior de la Cordillera de la Costa entre los 26°00' y 26°20', escala 1:100.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Hoja N°34. p.46.

Naranjo, J.A., Puig, A., Suarez, M., 1982. Nuevos antecedentes estratigráficos del Triásico Superior-Jurásico de la Cordillera de la Costa, sector meridional de la Región de Antofagasta, Chile. In Congr. Geol. Chileno, No. 3, Acta 1, p. A189-A206.

Naranjo, J. A. y Puig, A. (1984). Hojas Taltal y Chañaral, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N°62-63. P. 140.

Olivares, I., Moya, C., Bravo, F., Galaz, G., Knabe, J., Pinto, K, Zamora, A., Faúndez, V., Brantt, J. (2015). Informe Geológico Blancos Bloque Doña Elba. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.

Olivares, I., Bello, J., Castro, M., Faúndez, V. (2016). Informe Proyecto Elba-Teko, Modelo Geológico-Exploratorio 3D. Informe interno Gerencia de Exploraciones Minera Las Cenizas.

Saint. Amand, P., Allen, C. (1960). Strike-slip faulting in northern Chile. Geol. Soc. Am., Bull., (abstr.) Vol.71. p.1965.

Sato, K. (1984). Manto type Copper Deposits in Chile—a Review. Bulletin of the Geological Survey of Japan, Vol.35, p.565-582.

Scheuber, E., y González, G. (1999). Tectonics of de Jurassic-Early Cretaceous magmatic arco f the North Chilean Coastal Cordillera (22°-26° S) a story of cristal deformation along a convergent plate boundary. Tectonics 18. p.895-910.

Segerstrom, K., 1968. Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Carta Geológica de Chile, 1:250.000.

Soto, H., Dreyer, H. (1985). Geología de “Mina Susana”. Un yacimiento novedoso en Carolina de Michilla. Actas IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, V. II, p.3-354 – 3-382.

Suarez, M., Naranjo, J.A., Puig, A., 1982. Volcanismo liásico inferior en la región costera de Antofagasta Meridional: piroclastitas en la Formación Pan de Azúcar e implicancias paleogeográficas. Rev. Geol. Chile, No. 17, p. 83-90.

Thiele, R. y Hervé, F., 1984. Sedimentación y Tectónica de antearco en los terrenos pre-andinos del Norte Chico, Chile. Revista Geológica de Chile, 22, 61-75.

Thiele, R. y Pincheira, M., 1987. Tectónica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la Falla de Atacama, Chile. Revista Geológica de Chile, 31, 77-94.

Ulriksen, C., 1979. Regional geology, geochronology and metalogeny of the Coastal Cordillera of Chile between 25°30' and 26°00' south. M.Sc. Thesis, Dalhousie Univ., 221 p. Canada.

