



## **CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y CALCOGRÁFICA DE ZONA MINA ESTE, DISTRITO MINERO ALHUÉ.**

**Karin Alejandra Quintana Brevis.**

**Profesor Guía:** Msc. Abraham Elías González Martínez.  
**Profesores Comisión:** Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra  
Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

### **Resumen**

Este trabajo describe los resultados del estudio de tres estructuras polimetálicas de Au-Ag-Zn interpretadas en el sector Mina Este, distrito minero Alhué. Las estructuras se emplazan en rocas volcánicas, instruídas por granitoides y cuerpos subvolcánicos. Los cuerpos corresponden a brechas hidrotermales de cuarzo masivo y en venillas. La mineralización metálica es poco uniforme y corresponde a Blenda, Galena, Calcopirita, Pirita, algo de Magnetita, Hematita, Tetraedrita-Tenantita y ocasional presencia de Oro Nativo. Las leyes también son variables en concentración y distribución, las cuales fluctúan entre 2,64 y 4,75 ppm de oro en promedio, con características óptimas para ser explotadas bajo las condiciones de Minera Florida. Con la mineralogía y el comportamiento textural de las fases, se concluyó que seis eventos formarían el sistema: Magmático, Tardimagmatico, Mesotermal, Epitermal Principal, Hidrotermal tardío y Supergeno. Con toda la información recopilada y analizada se puede concluir que este sector concuerda con lo propuesto por Sillitoe 2007, que el origen de la mineralización y alteración es hidrotermal, con zonación vertical desde alta temperatura a un ambiente epitermal, asociado al emplazamiento somero de un cuerpo intrusivo. Finalmente, se recomienda futuras campañas de sondajes que abarquen en sectores específicos del sector Mina Este.

### **1. Introducción**

En Chile son conocidos los yacimientos hidrotermales vetiformes de oro y plata ubicados en la Cordillera de la Costa de la zona central del país. En el distrito Minero Alhué se ubican y explotan numerosas vetas de metales preciosos (Au + Ag ± Zn, Pb), de variadas potencias, orientaciones y características. En la Figura 1.1 se observa la ubicación del Distrito Minero Alhué, en la Cordillera de la Costa, al Sur Oeste de la ciudad de Santiago, Región Metropolitana.

#### **1.1. Objetivo General**

La finalidad de este trabajo es reconocer un sector del distrito denominado "Mina Este" mediante sondajes, caracterizando aspectos geológicos (definición, descripción e interpretación), petrográficos y calcográficos, para poder definir estructuras o zonas de interés económico.

#### **1.2. Objetivos Específicos**

- Planificar, ejecutar y controlar campaña de sondajes diamantinos en una malla de 60x60 m.
- Mapeo geológico de los sondajes a escala 1:100 (4.500 m aprox. en 13 sondajes).
- Realizar interpretación geológica de estructuras principales y secundarias en secciones y plantas a escala 1:500.
- Generar base de datos con interceptos de estructuras (primarias y secundarias).

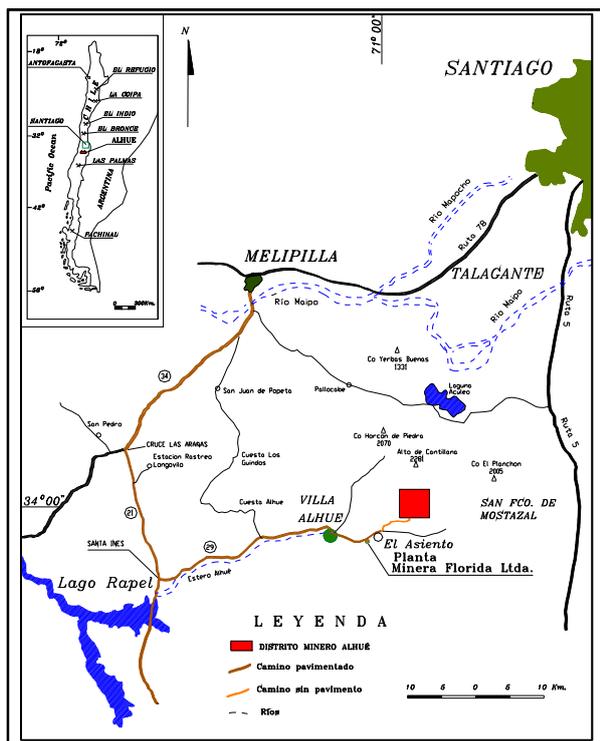


Figura 1.1: Ubicación y accesos al Distrito Minero Alhué.

- Seleccionar muestras para estudios petro-calcográficos.
- Describir litológica y mineralógicamente las estructuras reconocidas.
- Definir blancos de exploración para las campañas de sondaje Infill Drilling.

### 1.3. Metodología de Trabajo

Esta consta de 3 etapas: 2 etapas de gabinete y una etapa en terreno.

**Etapas de Gabinete I:** Recopilación y análisis de información (bibliografía, mapeo, leyes, etc), planificación de malla de 60 por 60 para definición de sondajes a perforar, gestión de las posiciones de las máquinas de perforación y los servicios en interior mina (agua, luz, ventilación, topografía), cálculo de los datos de ubicación de sondajes (rumbo, inclinación, largo programado, cota brocal y coordenadas de inicio de sondaje).

**Etapas de Terreno:** Dar inicio, controlar y finalizar la perforación de los sondajes, descripción de ellos a escala 1:100 con el software Century Systems, muestreo de las unidades geológicas en los sondajes, para determinar la mineralogía de la roca caja y de la o las veta y/o brechas hidrotermales.

**Etapas de Gabinete II:** Estudio petro-calcográfico de 12 cortes transparentes y pulidos transparentes, provenientes de los sondajes, recopilación e integración de la información de las bases de datos extraídas del mapeo de sondajes en software Vulcan 8.0 para el levantamiento de la información final, creación y desarrollo de plantas y secciones para la interpretación del sector y redacción de la Memoria de Título.

## 2. Marco Geológico

En el distrito Minero Alhué, se han descrito rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias: tobas, andesitas, brechas y areniscas, con edades Cretácico Superior a Terciario, que son parte de la unidad informal Estratos Cerro Horcón de Piedra y Loma La Chicharra (Nasi, 1981), correlacionable con la parte media de la Formación Lo Valle, del Cretácico Superior (Thomas, 1958; Nasi y Thiele, 1982).

Localmente las rocas estratificadas del distrito (Figura 2.1) fueron estudiadas por Romero y Mundaca (1997) y se describen a continuación:

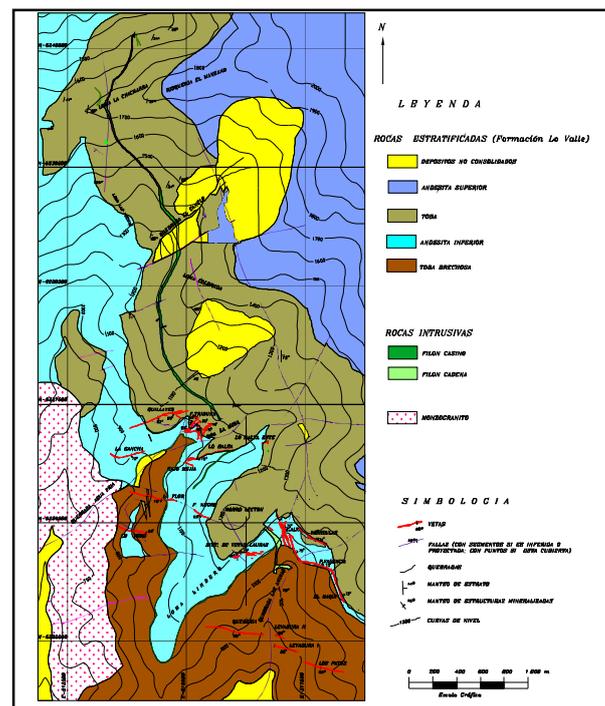


Figura 2.1: Mapa Geológico Distrital (Modificado de Romero y Mundaca 1997, Minera Florida).

**Tobas Brechosas:** afloran en el sector SE del distrito, donde infrayacen concordante a la unidad de Andesita Inferior. La base de esta secuencia se

encuentra intruida por granitoides de diversos tamaños. Su espesor mínimo se estima en 230 m.

**Andesita Inferior:** sobreyace en forma concordante a la unidad de Tobas Brechosas e infrayace, de la misma forma, a la unidad de Tobas. Su espesor es de 390 m y se distribuye en una franja N-S de 5 km de longitud.

**Tobas:** Agrupación de una serie de litologías tobáceas con acuñamientos laterales. Afloran en una franja norte-sur dentro del distrito y tiene una longitud de 4,5 km. Su espesor varía de 400 a 600 m. Esta unidad sobreyace en forma concordante a la unidad de andesitas inferiores e infrayace a la unidad sedimentaria. En su base existen intercalaciones e interdigitaciones de las andesitas inferiores, en su techo presenta intercalaciones sedimentarias.

**Andesita Superior** Sus afloramientos se distribuyen en el sector oriental del área en una franja norte-sur, se disponen concordantes sobre las tobas. Su techo es la actual superficie de erosión y presenta un espesor mínimo de 500 m.

La secuencia litológica se encuentra intruida por granitoides de la unidad Batolito Central, que se ha subdividido en Granito de Tantehue, del Jurásico Medio a Superior, y en Granitoides de Alhué, del Cretácico Superior (Nasi, 1981).

Además de la intrusión de granitoides, la secuencia también es instruida por cuerpos subvolcánicos andesíticos filoneanos llamadas en este distrito: Filón Cadena, Filón Casino y Filones andesíticos indiferenciados. Finalmente, el techo corresponde a la actual superficie de erosión.

### 2.1. Alteración

La alteración en el distrito se caracteriza por una fuerte propilitización a la cual se sobrepone una fuerte alteración silíceo, alteración potásica local y alteración supérgena de carácter esencialmente argílica (Romero y Mundaca, 1997).

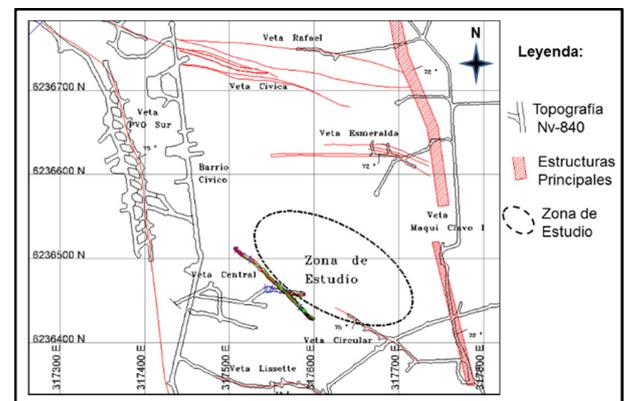
### 2.2. Geología Estructural

El distrito se encuentra afectado por fuertes deformaciones, tanto dúctiles como frágiles. Es este último tipo de deformación el que genera un claro control en la formación y desarrollo de vetas y estructuras mineralizadas en el distrito.

## 3. Resultados

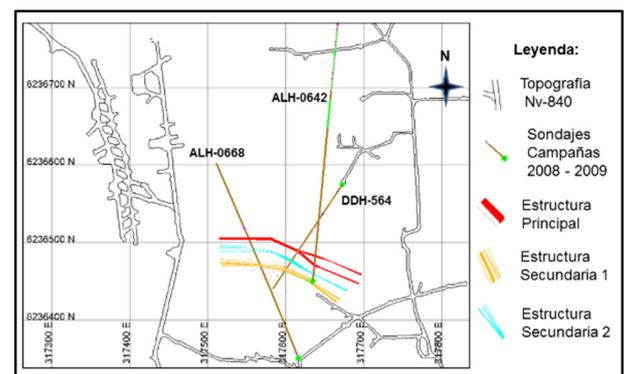
Las estructuras definidas presentan una composición, morfología y disposición similares entre sí.

El sector Mina Este se ubica entre el Barrio Cívico (W), Veta/Falla Maquis (E), veta Rafael (N) y veta Lisset (S). La roca caja está compuesta por tobas de la unidad inferior de Tobas Brechosas, las cuales son cortadas por varias estructuras con alteración propilitica (epidota, clorita, ± calcita, ± magnetita) y silíceo (alteración penetrativa), que se sobrepone en sectores próximos a las estructuras mineralizadas y en las mismas (Figura 4.1).

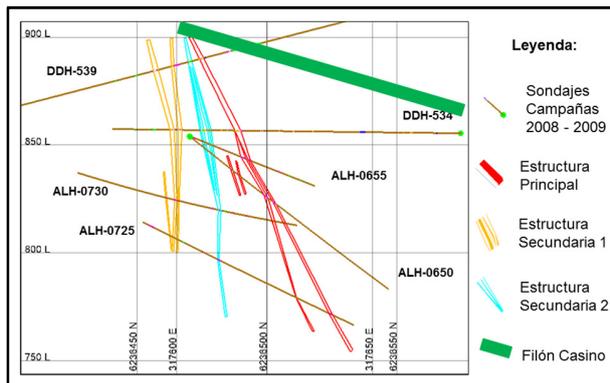


**Figura 4.1:** Imagen general de ubicación Interior Mina, zona de estudio y otras estructuras del sector. Nivel general 840, Topografía Interior Mina.

Las secciones y planta (Figuras 4.2 y 4.3) muestran que las estructuras poseen orientaciones similares ( $N60^{\circ}W$  a  $EW/60^{\circ}-70^{\circ}NE$ ) y 3,0 a 4,0 m de potencia.



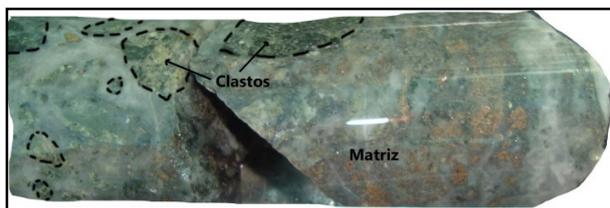
**Figura 4.2:** Planta Nivel 840 con la ubicación espacial de las estructuras interpretadas y sondajes principales.



**Figura 4.3:** Interpretación de estructuras en Sección por Sondaje DDH-534. se encuentra perpendicular al rumbo de la estructura principal (EP), por lo que la información que se obtiene de allí es la más real en relación a la orientación y potencia de esta.

Los estudios macroscópicos de las muestras coincidieron que las 3 estructuras corresponden a una brecha hidrotermal de color gris a verde grisáceo, con 10 a 30% de clastos, compuestos de tobas brechosas, con formas semiredondeadas a angulosas y tamaños que varían de 0,5 a 5,0 cm.

La alteración de los clastos es propilítica (epidota + clorita principalmente,  $\pm$  calcita  $\pm$  magnetita). En algunos casos la propilitización es muy fuerte y oblitera a los clastos. La brecha es matriz soportada (40-60%) (Fotografía 4.1), constituida por cuarzo translucido a blanco, conteniendo principalmente la mineralización metálica. En menor cantidad se observa cuarzo blanco (20-30%), en núcleos, asociado con magnetita (venillas finas, con bordes de jaspes en algunas ocasiones), cuarzo gris translucido (20-30%) en núcleos y a veces mezclado con los clastos de la estructura. Escasamente se puede ver cuarzo verde a verde grisáceo (5-10%), en venillas dentro de la matriz.

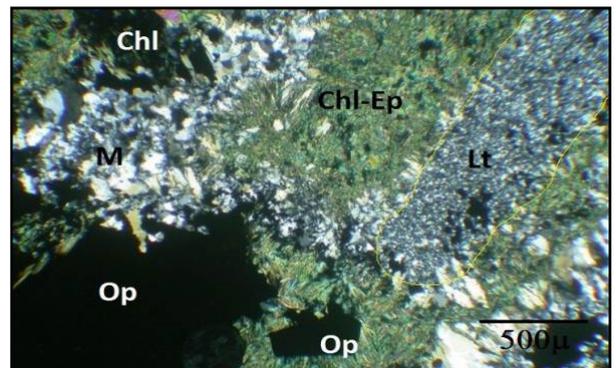


**Fotografía 4.1:** Brechas Hidrotermales de la Estructura Principal (EP). Se observan clastos de roca caja y matriz silícea.

La mineralización (sulfuros y óxidos de hierro) de las estructuras tiene tendencia a ser mayor en las cotas superiores (850 m s.n.m.).

Los sulfuros, a nivel macroscópico, corresponden a blenda, galena y pirita; en sectores con algo de calcopirita en pequeños cúmulos, asociada casi siempre a blenda-galena. En general, macroscópicamente tanto blenda como galena se encuentran siempre o casi siempre asociadas, ya sea en cúmulos o diseminadas. La pirita es muy fina y diseminada en toda la roca. Los óxidos de hierro son magnetita, en clastos propilitizados.

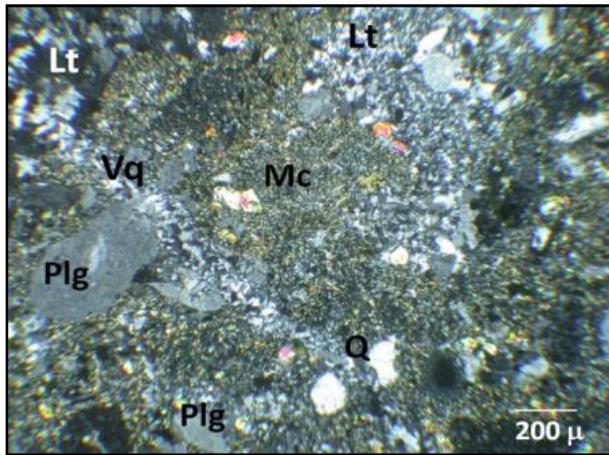
Al microscopio las estructuras corresponden a brechas silicificadas, con alteración de clorita-epidota. Tanto la matriz como los clastos se encuentran obliterados y no se distingue con claridad su textura original. Los clastos abarcan 20-30% de la roca y consisten en líticos silicificados y andesitas (Fotomicrografía 4.1). La matriz (70%) posee alteración a epidota-clorita y silicificación, esta última evidenciada por cuarzo zacaroidal fino con menor cantidad de metálicos; relictos de plagioclasa y feldespato alcalino, fuertemente alterados a arcillas y con alteración débil de epidota-clorita.



**Fotomicrografía 4.1:** Fragmento lítico (Lt) con silicificación intensa en matriz (M) fuertemente silicificada y clorita-epidota (Chl-Ep). Intra-agregados de Clorita (Chl), Metálicos opacos (Op), en este caso blenda y galena. Nícoles cruzados.

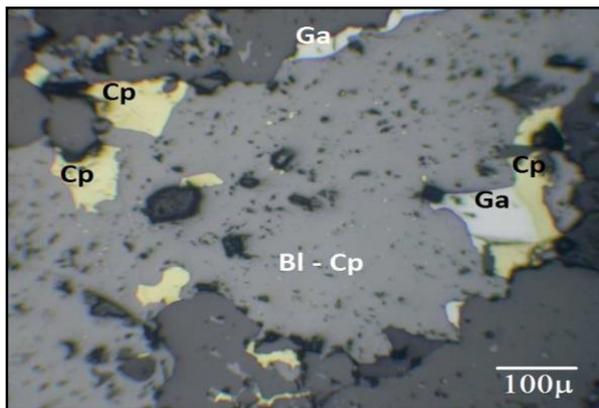
Las brechas están cortadas por vetillas sinuosas, polidireccionales, de 250  $\mu$  a 10 mm de espesor, compuestas por cuarzo grueso, prismático, que crece perpendicular a las paredes de la estructura (Fotomicrografía 4.2), en ocasiones con sutura irregular discontinua (Fotomicrografía 4.2) de clorita, calcita y cristales gruesos de blenda.

La mineralización metálica constituye, como máximo, el 15% de la brecha, y consiste en:



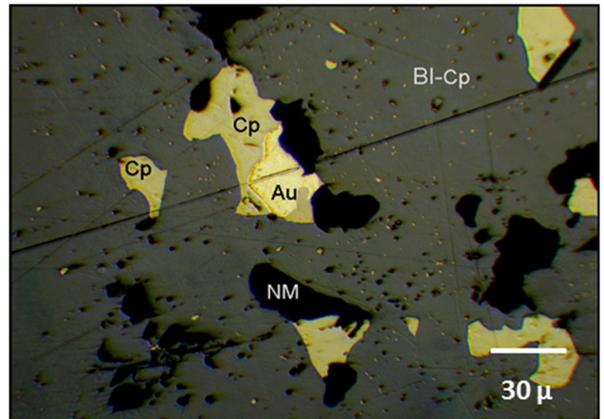
**Fotomicrografía 4.2:** Aspecto típico de la roca. Líticos silicificados (Lt), clastos de plagioclasa (Plg), algunos cuarzos aislados (Q) y epidota, en matriz cloritizada, color verde. Clastos y matriz son cortados por vetillas sinuosas de cuarzo (Vq). Nícoles cruzados.

**Blenda:** fase metálica dominante (2 a 10 % de la roca), con tamaños que van de los 30  $\mu$  a 1 cm. Diseminada en la matriz, como agregados subhedrales a anhedrales. Contiene inclusiones en forma de gotas y láminas finas, de calcopirita, formando textura de emulsión (Fotomicrografía 4.3), en contacto simple con galena, pirita, calcopirita, magnetita y oro (Fotomicrografía 4.4). Ocasionalmente penetra pirita y galena o hay intercrecimiento simple reemplazando galena.



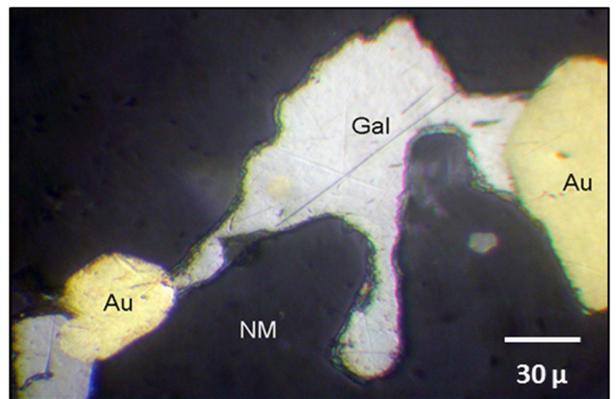
**Fotomicrografía 4.3:** Blenda con pequeñas inclusiones, tipo emulsiones en calcopirita (Bl-Cp), en intercrecimiento con galena (Ga) y calcopirita (Cp). Nícoles paralelos.

**Galena:** representa entre el 0,5 a 2 % de la roca y su tamaño varía entre los 10 y 400  $\mu$ . Ocurre como agregados de cristales subhedrales a anhedrales, diseminados y aislados en la matriz.



**Fotomicrografía 4.4:** Oro (Au), en contacto con blenda (Bl), calcopirita (Cp) y no metálico (NM). Nícoles paralelos.

Algunos con bordes rectos y triángulos de arranque. Se ven en intercrecimiento con blenda y pirita (Fotomicrografía 4.3) y asociada a oro (Fotomicrografía 4.5).



**Fotomicrografía 4.5:** Oro (Au), en contacto con galena (Gal), en no metálico (opacos). Luz reflejada a nícoles paralelos.

Siguen la dirección de las vetillas de cuarzo, al igual que la blenda, por lo que se puede inferir, que fueron removilizadas parcialmente en el instante que la litología original fue afectada por el intenso vetilleo de cuarzo.

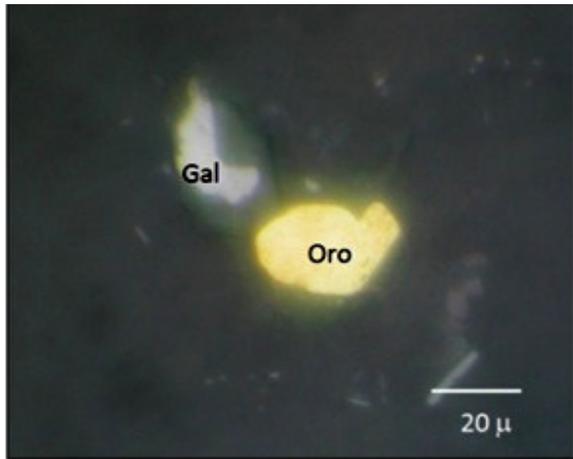
**Calcopirita:** corresponde al 1% de la roca, con tamaños que van de los 10  $\mu$  a 2 mm. Se presentan como cristales anhedrales de bordes irregulares diseminados y aislados en la matriz. Generalmente en contacto simple con blenda, galena (Fotomicrografía 4.3), pirita y escasamente asociada a oro (Fotomicrografía 4.4). Comúnmente se observa en inclusiones y/o láminas finas dentro de la blenda

**Pirita:** equivale al 1% de la roca y varía de 10  $\mu$  a 2 mm. Ocurre como granos subhedrales a euhedrales cúbicos, aislados y diseminados en la matriz de la roca. Comúnmente está asociada a blenda y calcopirita y, en algunas ocasiones, a texturas de caries.

**Óxidos de Hierro (magnetita-hematita):** constituyen hasta el 1% del total de la roca. Se observan como masas irregulares, granos subhedrales y agujas finas, diseminados en la matriz. Se asocian a blenda y, en menor grado, a galena. Los tamaños de la magnetita fluctúan entre 20 y 300  $\mu$ .

**Tetraedrita-Tenantita:** equivale a menos del 0,2%.

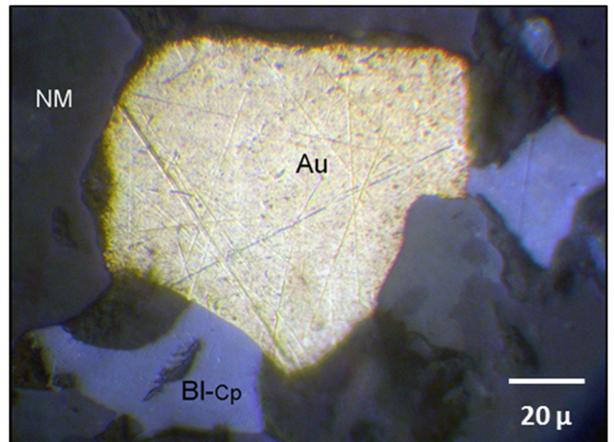
**Oro Nativo:** es muy escaso, de formas redondeadas y tamaños de 10 a 130  $\mu$ . Está diseminado en la matriz, de forma aislada (Fotomicrografía 4.6) y dentro de blenda (Fotomicrografía 4.7), con inclusiones de calcopirita o en contacto con blenda. También se identificó asociado a otras fases mineralógicas, como cuarzo, en contacto con acantita o con calcopirita y, más común, con galena.



**Fotomicrografía 4.6:** Grano de oro aislado, diseminado en matriz. A la izquierda, ocurre galena (Gal). Nícoles cruzados.

La roca caja consiste en tobas brechosas y tobas lítico-cristalinas, que tienen matriz de ceniza, de tonos verde oscuro a negro, con cristales de feldspatos, cuarzo y plagioclasas (Fotografía 4.2). Los clastos de líticos (andesitas y tobas), con tamaños de 0,2 a 5,0 cm, formas subangulosas, con fenocristales de plagioclasas y masa fundamental silicificada (cuarzo microcristalino). La roca caja está cortada por vetillas polidireccionales de cuarzo de

0,5 a 0,8 cm de espesor (Fotografía 4.2). La mineralización se aloja en las vetillas, a excepción de la pirita, que además se encuentra diseminada en las tobas, con granulometría muy fina. En algunos casos las vetillas poseen mineralización de blenda y galena, asociadas en cúmulo o diseminadas; también calcopirita, óxidos de hierro, pero muy escasos.



**Fotomicrografía 4.7:** Oro nativo (Au) con blenda (Bl) que contiene pequeñas inclusiones de calcopirita (Cp). Nícoles paralelos.



**Fotografía 4.2:** Toba Brechosa con cristales de Plagioclasas.

Las leyes de Au, Ag, Pb, Zn en las estructuras son variables. Según los datos obtenidos de 20 sondajes con un total de 80 muestras analizadas de las estructuras, la estadística general para la ley de oro se observa en el Gráfico 4.1.

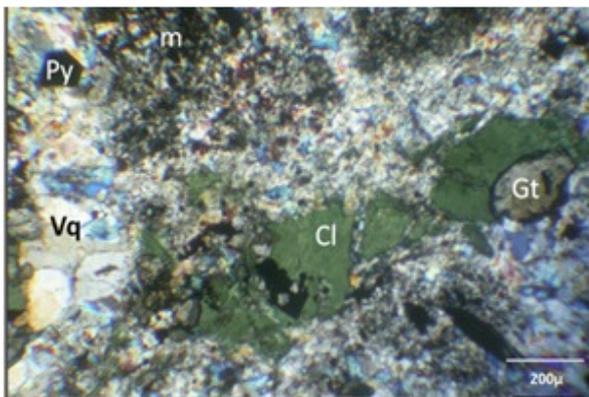
Las leyes de oro de la estructura principal fluctúan entre 0,31 y 10,34 ppm. La ley promedio desclusterizada es 3,89 ppm. En el caso de las estructuras secundarias sus leyes promedio de oro desclusterizadas son 2,64 ppm y 4,75 ppm.

El Gráfico 4.2 corresponde a una sección longitudinal que muestra la distribución espacial de los interceptos y el oro contenido. Los parámetros

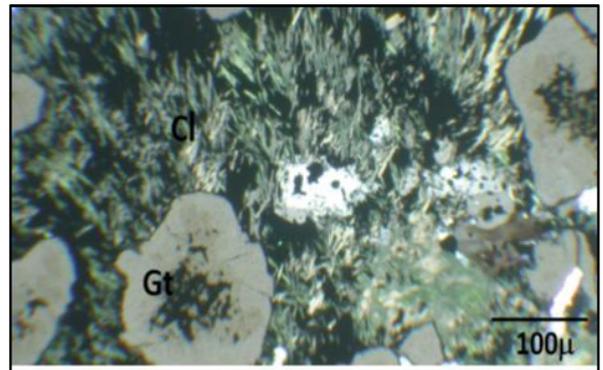
usados para la elaboración del gráfico, se basa en las variables que definen si las estructuras tienen criterios mínimos explotables. En Minera Florida se define que las estructuras deben tener un ancho mínimo de 2 m y una ley de oro de 2,5 ppm. Con estos valores se calcula el contenido de oro por intercepto (ppm\*m), lo que significa que sobre 5 ppm\*m, posee las condiciones mínimas para ser explotadas. En este gráfico, se ve que las tres estructuras, en conjunto, tienen valor económico. La estructura secundaria 2, contiene interceptos con leyes y anchos muy atractivos, más que la estructura primaria. Además, como el sector fue estudiado entre las cotas 800 y 900 m s.n.m., es necesario verificar la continuidad de las leyes, sobre y bajo estas cotas, para mejorar la calidad de la información del sector.

#### 4. Discusión

Las rocas del sector de estudio, en general las del distrito han sido sometidas a un metamorfismo de carga de bajo grado (Araya, 1989), caracterizado por la presencia de minerales de baja temperatura como cuarzo, clorita, epidota, calcita y sericita (subordinada). Esto se evidencia en las muestras analizadas en este trabajo, las cuales tienen, además granate (Fotomicrografía 5.1 y 5.2) y actinolita, minerales generados en etapas tempranas, junto con epidota, albita, clorita, los cuales pueden haber sido removilizados desde un posible skarn (Sillitoe, 2007).



**Fotomicrografía 5.1:** Clasto cloritizado (Cl). Se ven vetillas polidireccionales de cuarzo (Vq), con pirita (Py) diseminada y un cristal de granate (Gt) subhedral cúbico. La matriz de cuarzo microcristalino con textura zacaroidal. Nícoles cruzados.



**Fotomicrografía 5.2.** Agregado de clorita (Cl) y granate (Gt). La clorita es secundaria, asociada a minerales metálicos, post alteración de fondo en la matriz. Nícoles cruzados.

La mineralización de las estructuras se asocia principalmente a los elementos: Fe, Cu, Zn, Pb, Au y Ag, los cuales han generado una variada mineralización polimetálica, para la que se proponen seis eventos o fases de formación (Tabla 5.1):

**Tabla 5.1:** Secuencia Paragenética de estructuras Mina Este.

MINERALES	FASES DE ALTERACIÓN-MINERALIZACIÓN METÁLICA					
	Magmática	Tardimagmática Óxidos de Fe	Mesothermal (Fe, Cu, Pb, Zn)	Epitermal Principal (Cu, Zn, Pb, Au)	Epitermal Tardía (Au, Ag)	Supergénica
<b>Metálicos:</b>						
Blenda						
Calcopirita						
Galena						
Tetraedrita						
Acantita						
Oro						
Pirita						
Magnetita						
Hematita						
Goetita						
<b>No Metálicos:</b>						
Cuarzo						
Granate						
Plagioclasa						
Feldespato Potásico						
Zeolita						
Albita 2						
Calcita						
Yeso						
Actinolita						
Biotita						
Sericita						
Arcillas						
Clorita						
Epidota						
Rangos Aproximados de Temperatura, °C		450	300	200	100	

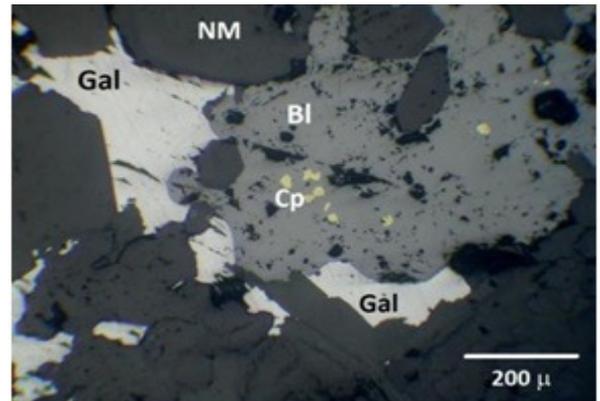
**Fase Magmática:** correspondería a la formadora de la roca caja, representada principalmente por plagioclasas, con escasa y ocasional anfíbola, biotita, cuarzo y ortoclasa, observadas como relictos en algunos clastos andesíticos poco alterados, de las tobas brechosas, que han sido afectadas por metamorfismo (Sillitoe, 2007) (fotomicrografía 5.1 y 5.2).

**Fase Tardimagmática:** representada por óxidos de hierro (magnetita y hematita), en los que

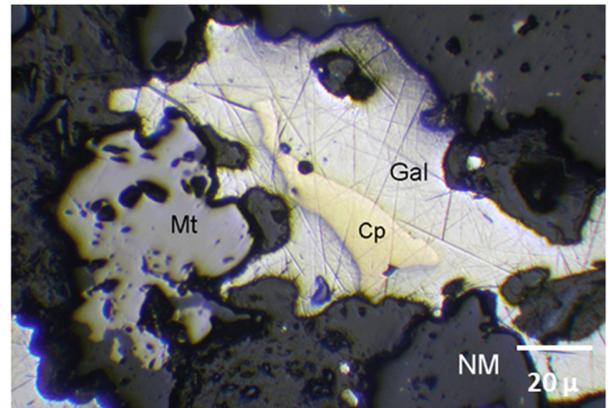
adicionalmente se incluye la pirita. Los primeros, ocurren como minerales accesorios, diseminados, junto a los minerales no metálicos formadores de roca. También se asocian a agregados de biotita con cúmulos de cuarzo anhedral, los cuales se distribuyen en la masa fundamental y en la matriz que caracteriza a la roca brechosa. Esta fase es equivalente a la primera parte de la Fase Temprana que define Herreros (2009).

**Fase Mesotermal:** con sulfuros de Fe-Cu-Pb-Zn. Es la etapa final que Herreros (2009) definió como Fase Temprana y a la Fase Hidrotermal de Sulfuros I, la cual está caracterizada por los minerales metálicos: pirita, blenda, galena, calcopirita y hematita especular; además de los minerales no metálicos: epidota, clorita, albita, zeolita, sericita, arcillas. La mineralización metálica mencionada, que puede considerarse como la etapa inicial de importancia en la precipitación de sulfuros, ocurre en granos diseminados en la matriz, asociados a cuarzo en vetillas y en bordes de granos de cuarzo. En esta fase, la blenda puede contener inclusiones de calcopirita, en forma de gotas, con textura de emulsión, que pueden atribuirse a exsoluciones de calcopirita en blenda (Fotomicrografía 5.3), de interés en geotermometría (equilibrio entre 400 a 350°C; Edwards, 1974).

El equilibrio a esa temperatura es coherente con la información microtermométrica mesotermal (250 a 450°C) detectada en inclusiones fluidas en cuarzo de la Veta Peumo (Herreros, 2009), con mineralogía metálica similar, al de este estudio. Otras evidencias que caracterizan a esta fase, son la posterior deposición de galena en relación a granos diseminados de magnetita con tendencia de reemplazo en estructuras de pinzas (Fotomicrografía 5.4), los contactos simples de blenda-magnetita, reemplazo de blenda por pirita, y la probable aparición de oro entre planos de contacto de calcopirita-galena y/o Blenda (Fotomicrografía 4.5)



**Fotomicrografía 5.3.** Blenda (Bl) con inclusiones de calcopirita (Cp). Blenda reemplaza por galena (Gal) con textura de bahía o caries. Nícoles paralelos.

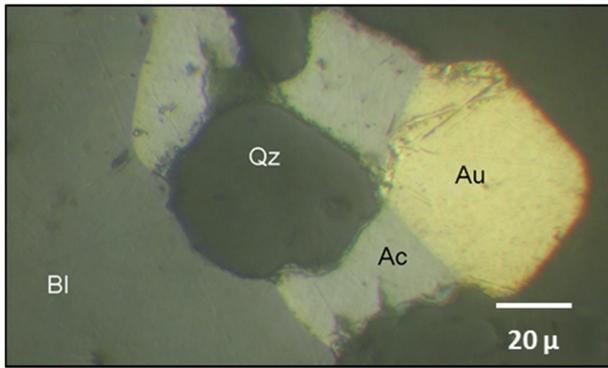


**Fotomicrografía 5.4:** Calcopirita (Cp) y galena (Gal), asociada a magnetita (Mt), en estructuras de pinzas con galena. Nícoles paralelos.

**Fase Epitermal Principal:** con sulfuros de Cu-Pb-Zn y Au, como proceso hidrotermal evolutivo, donde la mineralización de Zn-Pb continúa y está caracterizada por abundante blenda y galena. Éstas se desarrollan con más fuerza en vetillas de cuarzo. En estos casos galena, blenda y calcopirita se superponen a los minerales formados en las fases anteriores y a ellas se asocia una mayor precipitación de oro, que principalmente se relaciona a calcopirita gruesa, en planos de fractura de blenda con exsolución de calcopirita, así como a galena, con la cual conforma contactos simples (Fotomicrografía 4.4).

**Fase Hidrotermal Tardía:** con Au-Ag, la que se encuentra asociada principalmente a la mineralización de plata. Consiste en trazas de acantita que ocurre, en parte, asociada a blenda y oro (Fotomicrografía 5.5). En el caso del sulfuro de

plata acantita, su deposición puede estar bajo, o en el en torno a 179°C, ya que, por inversión, la forma cúbica, argentita, debería formarse a temperatura más alta que la indicada, para la acantita anisotrópica (Uytenbogaardt y Burke, 1973; Ramdohr, 1980). Esta temperatura es coherente con información microtermométrica epitermal (140 a 380°C, salinidad de 3,1 a 39% en peso de NaCl equivalente) detectada en inclusiones fluidas en cuarzo de la Veta Peumo (Herreros, 2009), con mineralogía metálica similar, al de este estudio. A esta fase, también pueden asociarse minerales de la serie tetraedrita-tenantita, en algunas de las cuales se nota una mayor reflectividad, por lo cual se trataría de freibergita (sulfosal de Sb, Ag, Cu). Tanto la Fase Epitermal Principal como la Tardía, corresponden a la Fase Hidrotermal II definida por Herreros (2009).



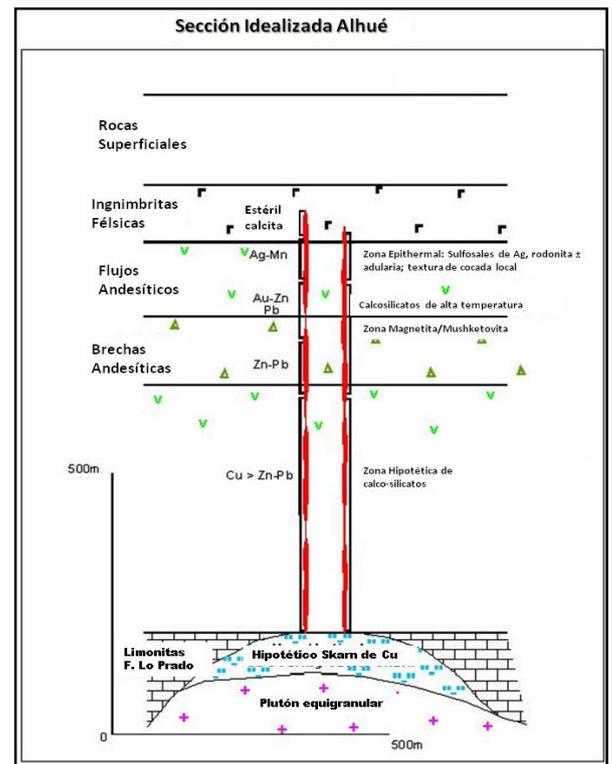
**Fotomicrografía 5.5.** Blenda (Bl) en contacto con acantita (Ac), la que a su vez está en contacto con oro nativo (Au), nicoles paralelos.

**Fase Supergénica:** en ella se forma el hidróxido de hierro llamado goethita, que podría representar una mezcla con aguas meteóricas y actividad supérgena, observada en algunas últimas vetillas más tardías.

En general, la mineralización metálica y submetálica descritas para las tres estructuras (EP, ES1 y ES2) es muy similar, por lo que se asume una misma secuencia paragenética (Tabla 5.1).

En general lo interpretado anteriormente, concuerda con la propuesta de Sillitoe (2007), que indica que el origen de la mineralización de mena y de la alteración es hidrotermal, con zonación vertical, desde una asociación mineral indicativa de alta temperatura, mesotermal, a un ambiente epitermal. Esto podría ser atribuido al emplazamiento somero de un cuerpo intrusivo, a

menos de 1.500 m de profundidad, con el cual está relacionado genéticamente el sistema de vetas del distrito. Las secuencias de tobas, que se encuentran sobre las andesitas inferiores, podrían haber jugado un importante rol en la determinación de los topes de los depósitos, quizás debido a saturación con agua subterránea fría, en el momento de la mineralización (Figura 5.1).



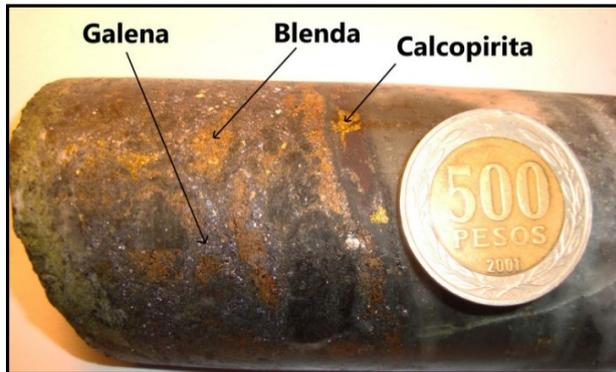
**Figura 5.1:** Diagrama propuesto por Sillitoe (2007) para la génesis de las vetas del distrito de Alhué.

## 5. Conclusiones

Según el estudio realizado, se concluye que las estructuras corresponden a 3 vetas-brechas hidrotermales, polimetálicas, con orientación general NW-EW/70-90°NE y potencia media de 3 a 4 m. La roca caja que alberga a estas estructuras corresponde a tobas brechosas.

Petrográficamente, las estructuras (EP, ES1 y ES2), son brechas hidrotermales de color negro grisáceo a gris verdoso, según el cuarzo dominante. La matriz es soportada, compuesta de cuarzo masivo y en venillas, con variadas tonalidades mezcladas entre sí (gris, blanco, translucido y, en algunas ocasiones, verde). Los clastos son tobas brechosas con formas semiredondeadas a angulosas y tamaños que varían de 0,5 a 5,0 cm, generalmente.

La mineralización metálica está compuesta principalmente por sulfuros de: hierro (pirita), plomo (galena), zinc (blenda), cobre (calcopirita) y plata (acantita), algunos sulfosales como tetraedrita/tenantita y óxidos de hierro (hematita y magnetita) (Foto 6.1).



**Fotografía 6.1:** Brechas Hidrotermales de la Estructura Principal (EP). Mineralización metálica de Sulfuros.

El oro se presenta como oro nativo en trazas y con tamaños de partículas entre 8 y 130 $\mu$  de diámetro, diseminado en la matriz; o en vetillas, en contacto con galena, blenda, calcopirita y acantita, principalmente. Los minerales de cobre (calcopirita, tetraedrita y/o tenantita) generalmente están diseminados en la matriz silíceo, así como en vetillas, con agregados de cuarzo, clorita, epidota. Las concentraciones de los minerales de mena en las estructuras son: calcopirita (menor al 2,5%), blenda (1 a 5%), galena (0,5 a 3,0%). Los minerales de plata (acantita y posiblemente freibergita) poseen contenidos trazas y tamaños entre 10 a 150 $\mu$ . La acantita, se observó solo asociada a oro nativo y la tetraedrita y/o freibergita a galena o calcopirita.

Las estructuras se ven afectadas por dos tipos de alteraciones principales: primero alteración propilítica intensa, caracterizada por clorita, cuarzo, calcita con abundante epidota; seguida por silicificación moderada. El cuarzo, ocurre tanto en vetillas polidireccionales, que cortan los fragmentos líticos y a la matriz, así como en agregados zacaroidales finos, que también afectan a la masa fundamental de los líticos. La clorita se asocia a epidota y ocurren principalmente como alteración pervasiva, afectando tanto a fragmentos líticos, como a la matriz. En vetillas se asocian a cuarzo y calcita. La calcita, puede alterar a fragmentos silicificados, pero comúnmente está en vetillas o

rellenos de cavidades. Las arcillas se encuentran en fragmentos líticos andesíticos, asociadas a epidota-clorita y, en parte, con mica blanca fina (sericita).

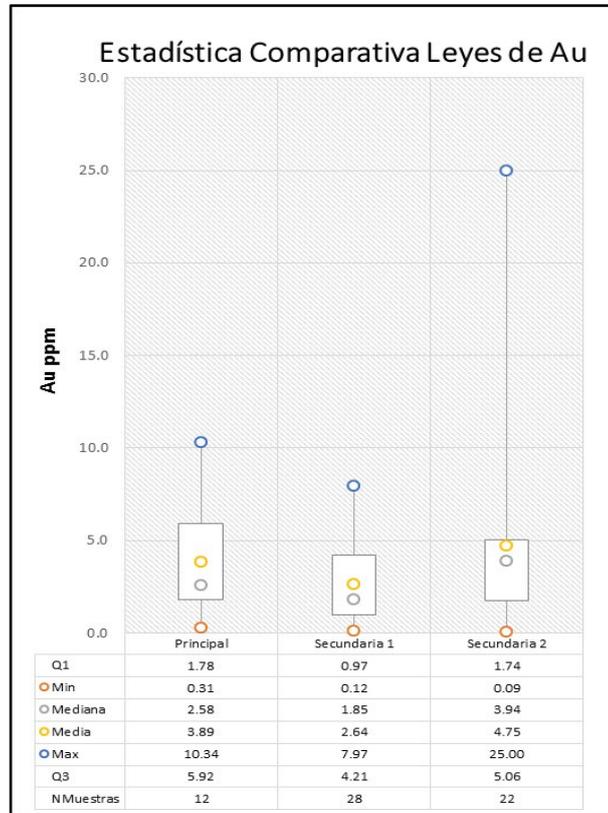
En general, la mineralización metálica y submetálica descritas para las tres estructuras (EP, ES1 y ES2) es muy similar, por lo que se asume una misma secuencia paragenética, expresada en la Tabla 5.1.

Sobre la base de la información obtenida de la campaña de sondajes 2008-2009, se recomienda a la Compañía Minera Florida LTDA. realizar futuras campañas de sondajes basadas en la distribución espacial de las estructuras y en los contenidos de oro del Gráfico 4.1, considerando que en la vertical los sondajes que se programen puedan interceptar a las estructuras sobre la cota 850-900 y bajo la 800-750, ya que en esos sectores la información es menor. Las leyes promedio desclusterizadas de oro para las estructuras primaria y secundarias son 3,89, 2,64 y 4,75 ppm, respectivamente. Como la ley de corte de la producción es de 2,5 ppm, estas concentraciones son atractivas para evaluar la posibilidad de explotación, sin embargo, se necesitan más sondajes para generar recursos indicados y soportar una reserva.

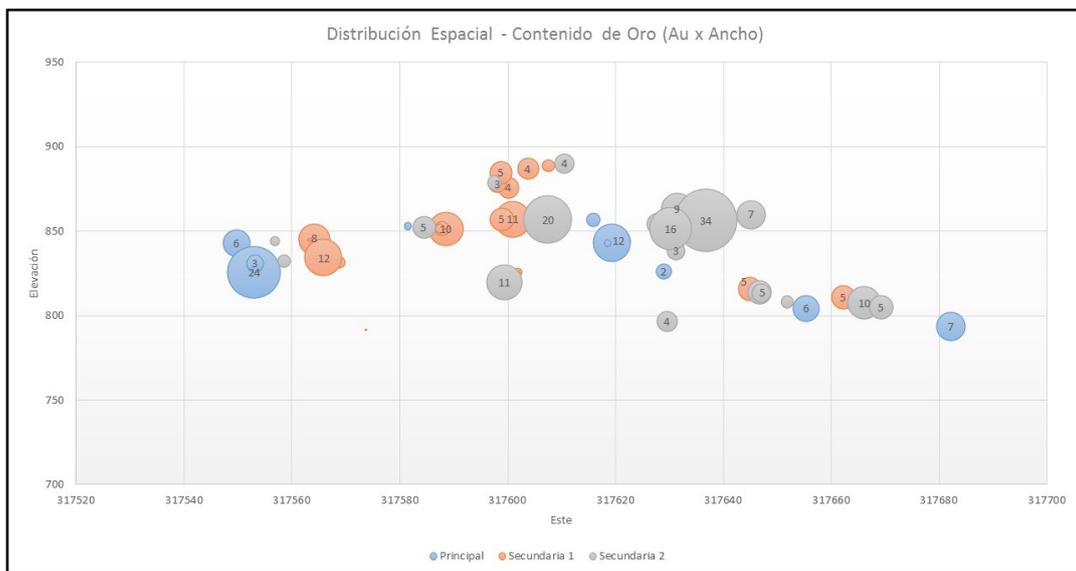
## 6. Referencias

- Araya, M. 2001.** Informe Geológico y evaluación de recursos del Distrito Minero Alhué. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédita). Universidad de Chile. Departamento. Geología: 39 pp. Santiago.
- Collao, S. 2010.** Estudio de Alteración y Mineralización Metálica, mediante la aplicación de microscopía de luz transmitida-reflejada en Mina Este de Minera Florida, Distrito Minero Alhué, Región Metropolitana, Chile. (inédito): 38 pp. Concepción.
- Herreros, D. 2009.** Caracterización Geológica y antecedentes Microtermométricos de la Veta Peumo, Distrito Minero Pedro valencia, Región Metropolitana Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Concepción Departamento Ciencias de la Tierra: 95 pp. Concepción.
- Nasi, C. 1981.** Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sureste de Melipilla (Chile Central). Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito) Universidad de Chile, Departamento de Geología: 246 pp. Santiago.
- Nasi, C y Thiele, R. 1982** Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sur del río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). Revista Geológica de Chile Nº 16: 81-99. Santiago
- Romero, N.; Mundaca, P. 1997.** Geología del Distrito Minero Alhué. Informe inédito S.L.M. LAS CENIZAS.: 55 pp. Alhué.
- Sillitoe, R. 2007:** Comments on the Alhue, Jerónimo, Esperanza and Encrucijada Gold properties, Chile. Informe inédito. Yamana Gold Inc.: 3-7. Alhué.

## Anexo: Gráficos



**Gráfico 4.1.** Comparación estadística de las leyes de oro entre las estructuras estudiadas.



**Gráfico 4.2:** Sección longitudinal que muestra la distribución espacial de los interceptos y el oro contenido.



# CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y CALCOGRÁFICA DE ZONA MINA ESTE, DISTRITO MINERO ALHUÉ.

Defensa para optar al Título de Geólogo.

Karin Alejandra Quintana Brevis

Profesor guía: Abraham Gonzalez

Profesores comisión: Luis Arturo Quinzio y Ramiro Bonilla

Concepción, Julio 2018

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

# INDICE

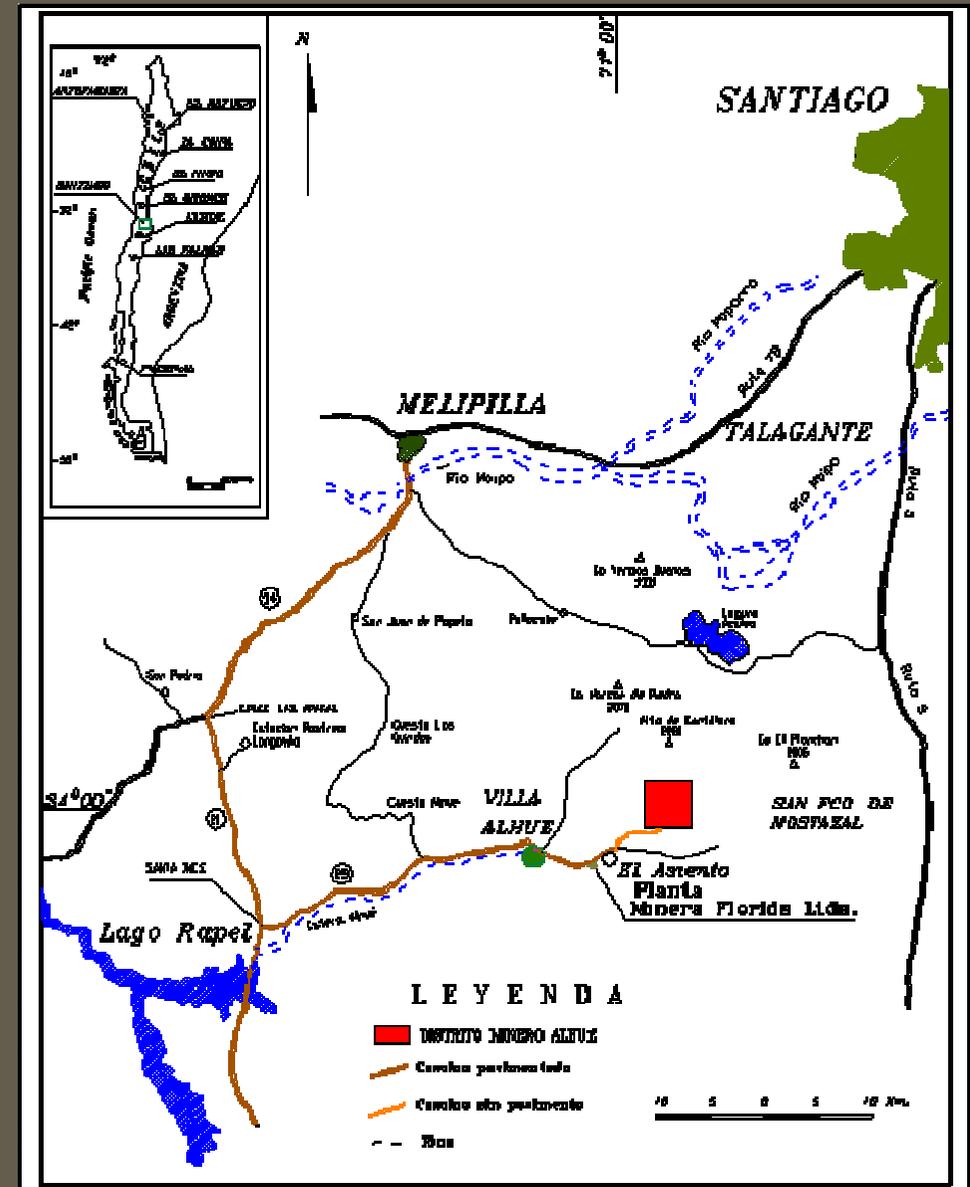
- Introducción
  - Objetivos
  - Metodología de trabajo
- Marco Geológico
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones

# INTRODUCCIÓN

El **distrito Minero Alhué**, perteneciente a la empresa Yamana Gold Inc., se encuentra emplazado en la Cordillera de la Costa en la zona central de Chile. Este yacimiento hidrotermal vetiforme explota numerosas vetas de metales preciosos (Au + Ag ± Zn, Pb), con variadas potencias, orientaciones y características.

## Sector MINA ESTE

- Contiene escasa información geológica y mineralógica.
- Se conoce que existen estructuras mineralizadas, pero no hay información para evaluar si es potencialmente explotable.
- Para eso hay que estudiar la zona → litología, leyes, morfología de las estructuras, etc.



# INTRODUCCIÓN

## OBJETIVO GENERAL



Reconocer un sector del distrito denominado “Mina Este” mediante sondajes, caracterizando aspectos geológicos (definición, descripción e interpretación), petrográficos y calcográficos, para poder definir estructuras o zonas de interés económico.

## OBJETIVO ESPECÍFICOS



- Planificar campaña de sondajes diamantinos (60\*60 m)
- Mapear sondajes de diamantina Geológico
- Realizar interpretación geológica de estructuras principales y secundarias en secciones y plantas
- Crear base de datos/Interceptos
- Realizar estudio petro-calcográfico
- Describir litológica y mineralógicamente las estructuras
- Definir blancos de exploración Infill Drilling

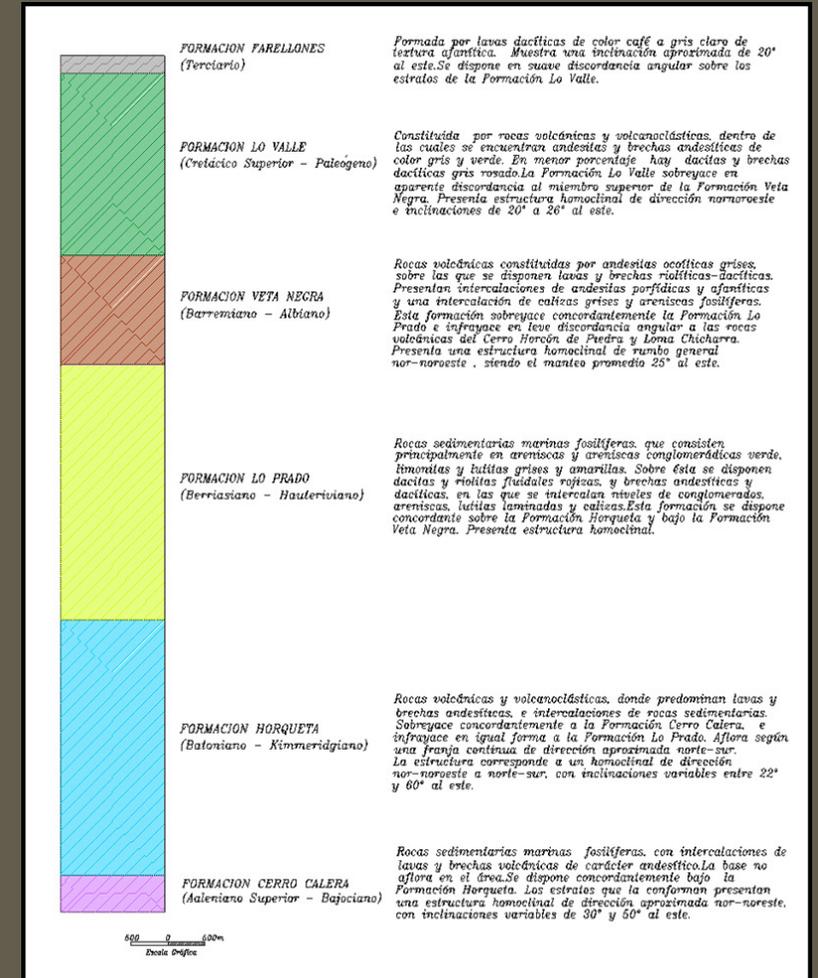
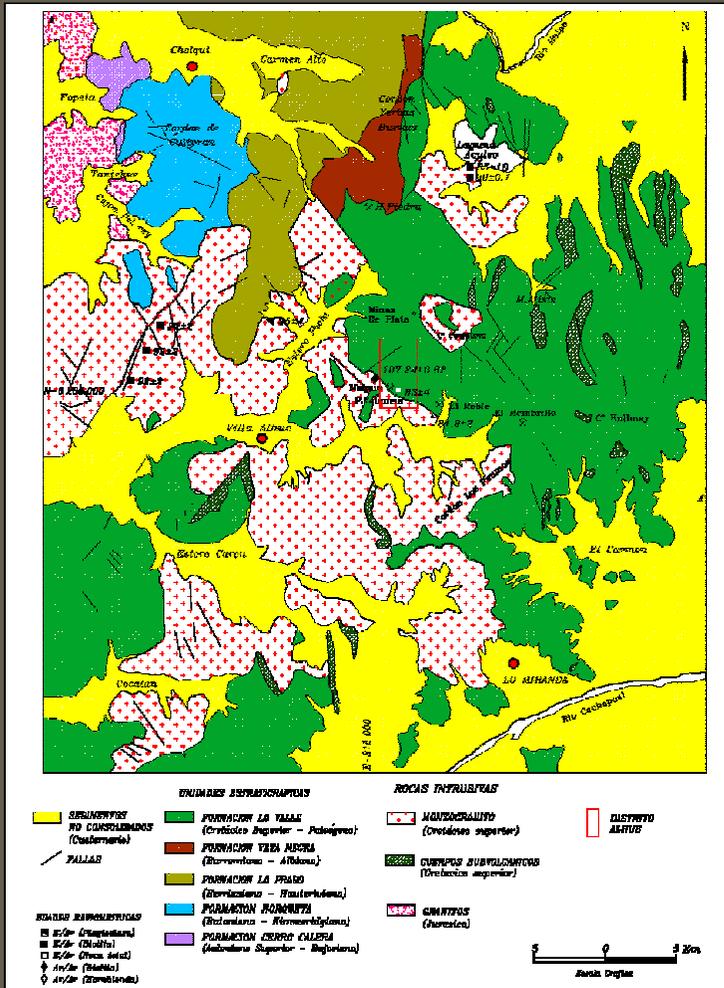
Agradecimientos a la Gerencia de Geología y Exploraciones de Minera Florida, Yamana Gold Inc

# MARCO GEOLÓGICO

## Formación lo Valle (Thomas, 1958)



- Cretácico Superior a Terciario
- Rocas piroclásticas y flujos de lava
- Actividad volcánica subárea continental
- Evolución del arco magmático hacia el este
- Instruidos por un cuerpo monzogranítico (Unidad Batolito Central)



# MARCO GEOLÓGICO

## Distrito Alhúe



Unidad Informal Estratos Cerro Horcón de piedra y loma La Chicharra (Nasi, 1981)

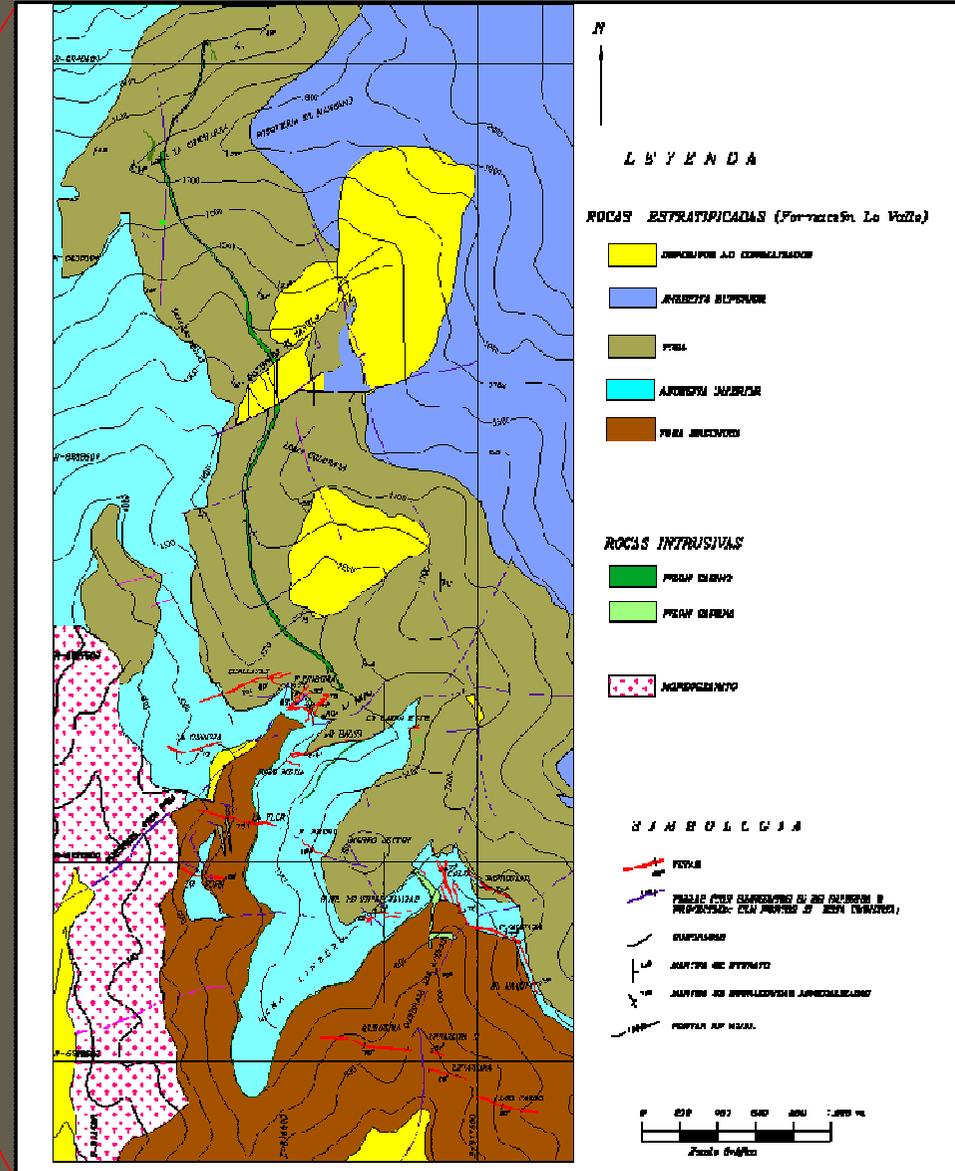
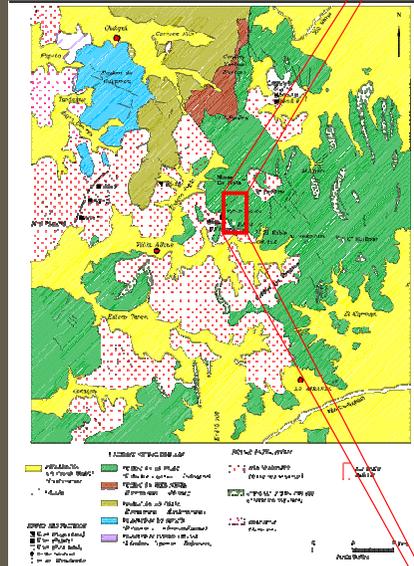


- Tobas Brechosas
- Andesita Inferior
- Unidad de Tobas
- Andesita Superior
- Depósitos no consolidados

Homoclinal N 30° E a N 30° W / 20-39° E



- Unidad Intrusiva: Granitos y Granitoides
- Alteración Propilítica, Sílicea, Potásica y Supérgena



# METODOLOGÍA DE TRABAJO

## Etapa Gabinete I

- Información bibliográfica
- Malla 60\*60
- Ubicación de sondajes
- Máquinas de perforación
- Servicios interior mina



## Etapa de Terreno

- Control perforación sondajes
- Mapeo sondajes
- Selección de muestras



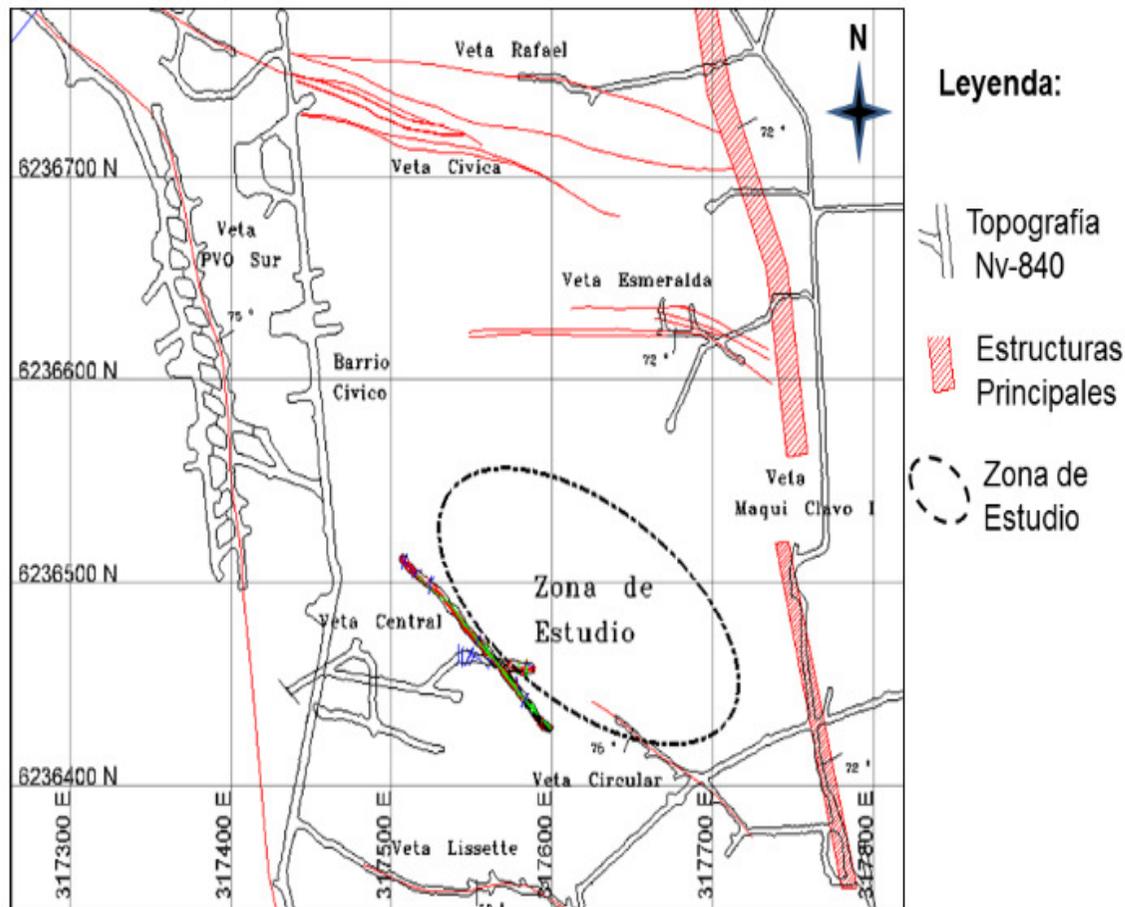
## Etapa Gabinete II

- Estudio petro-calcográfico.
- Base de datos (Vulcan 8.0)
- Plantas y secciones
- Redacción Memoria de Título



# RESULTADOS

## Ubicación sector Mina Este



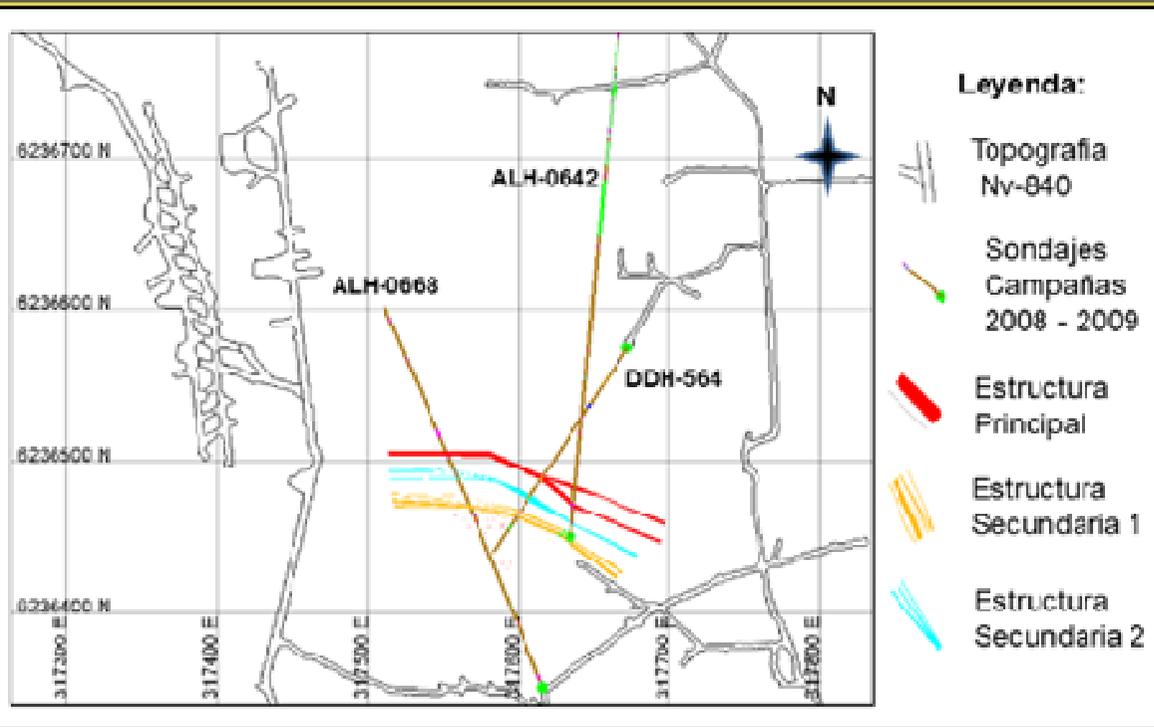
### Limites sector MINA ESTE en Minera Florida

- Barrio Cívico (W)
- Veta/Falla Maquis (E)
- Veta Rafael (N)
- Veta Lisset (S)

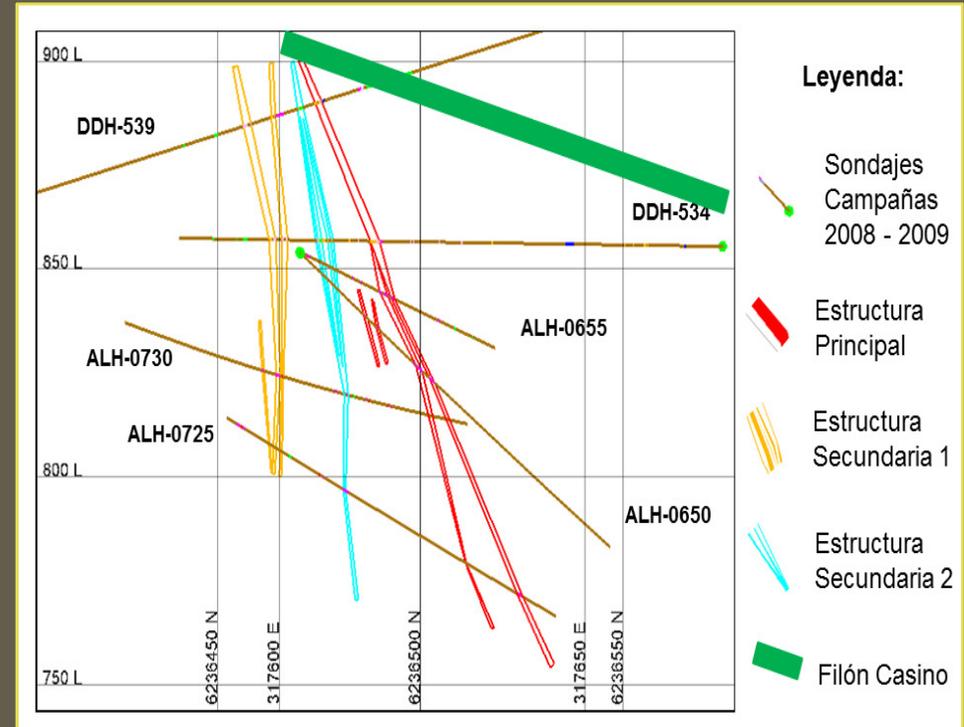
Imagen ubicación interior mina, nivel general 840

# RESULTADOS

## Morfología y disposición de las estructuras sector Mina Este



Planta nivel 840



Sección por sondaje DDH-534, perpendicular al rumbo de las estructuras.

- N60°W a EW/60°-70° NE
- 3,0 – 4,0 m de potencia
- 890 a 770 m s.n.m

# RESULTADOS

## Descripción petrográfica macroscópica

### Brecha Hidrotermal

Matriz soportada (40-60%)



10-30% clastos de tobas brechosas, semirredondados a angulosas (0,5 a 5,0 cm)



Matriz de HBX de cuarzo masivo y en venillas



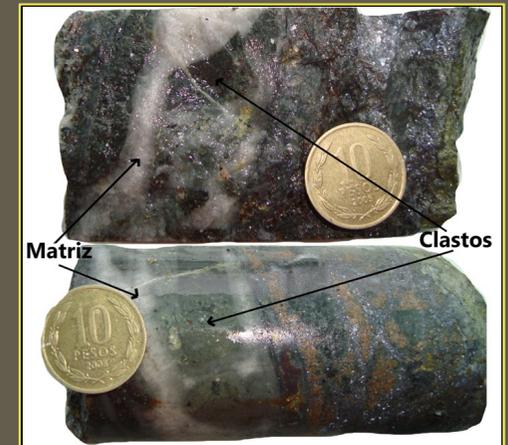
Minerales metálicos: Galena, Blenda, Calcopirita, Pirita.

### Roca Caja



Cristales de plagioclasa, toba brechosa cortada por vetillas polidireccionales

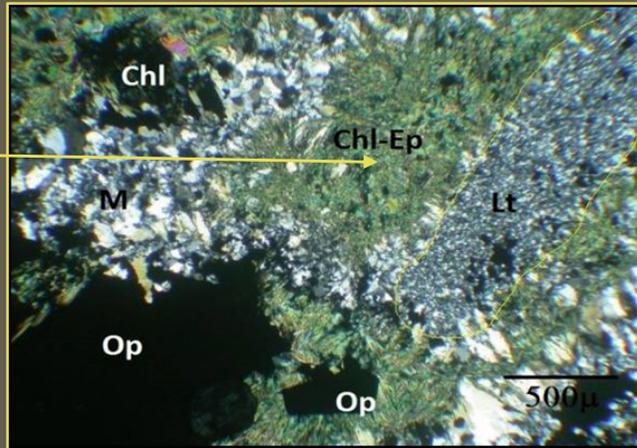
### Alteración Propilítica



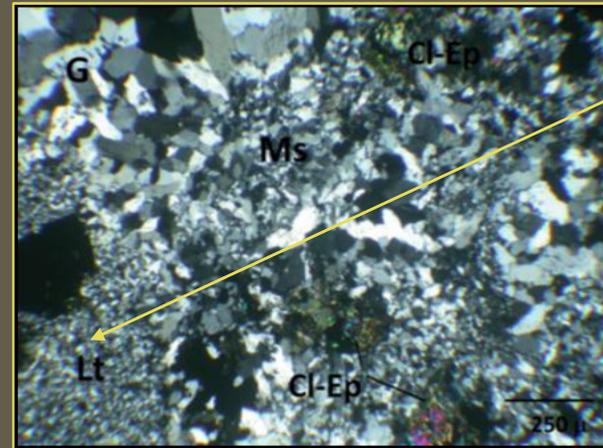
# RESULTADOS

## Descripción petrográfica microscópica

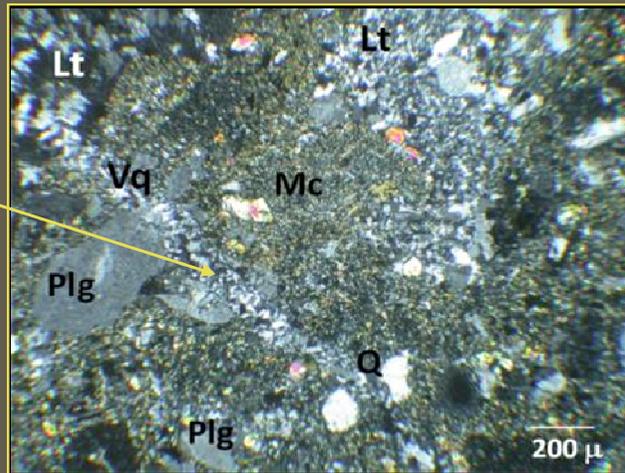
Alteración propilítica en clastos



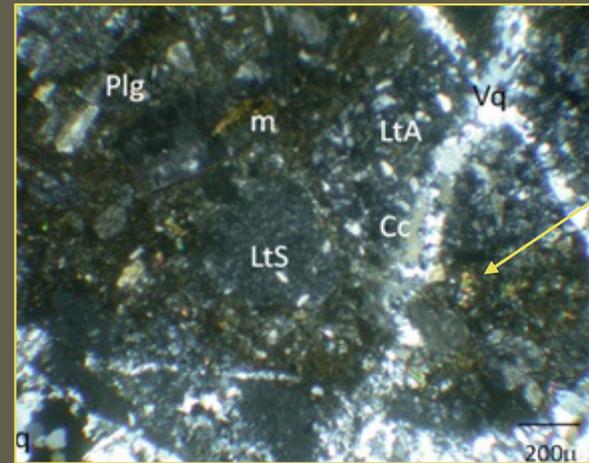
Lítico silicificado por agregado de cuarzo sacaroidal



Vetillas sinuosas polidireccionales (250 μ a 10 mm)

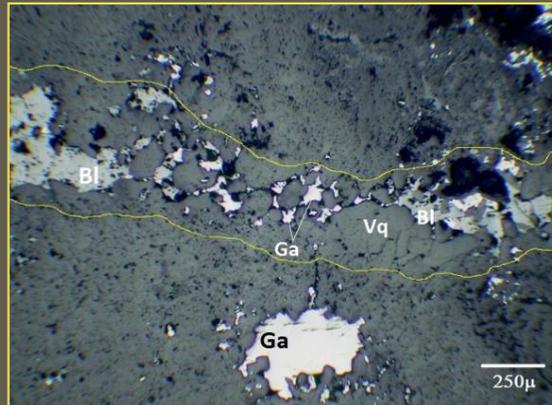
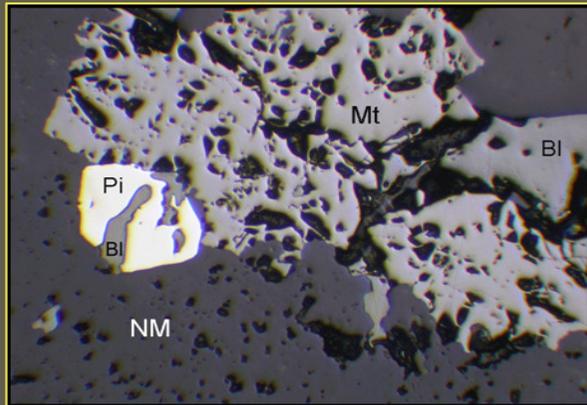
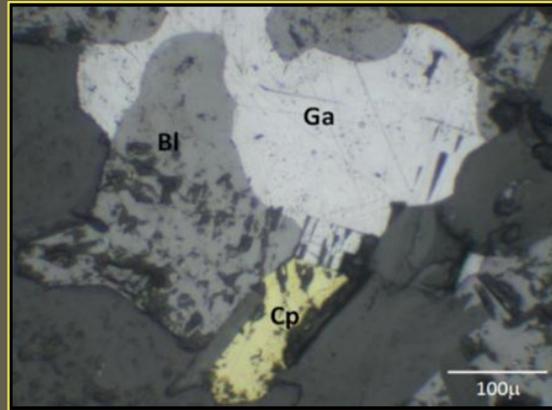
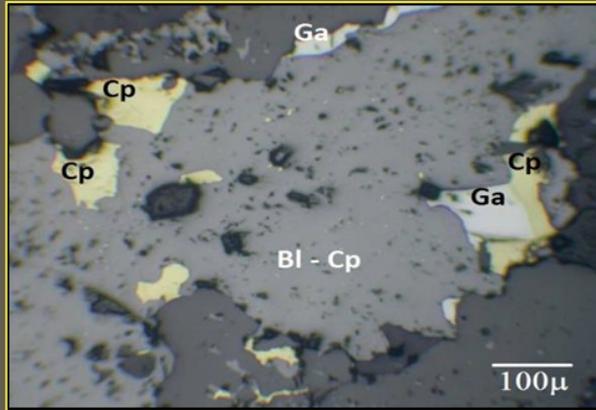


Masa fundamental cloritizada



# RESULTADOS

## Descripción calcográfica



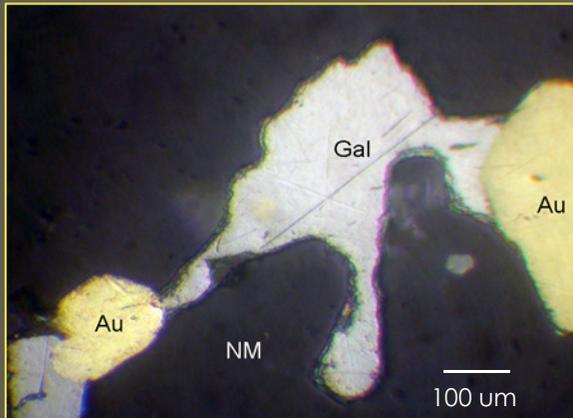
### Mineralización metálica (max. 15% de la HBX)

- **Blenda** fase dominante (2 a 10%) - 30 μ a 1 cm
- **Galena** 0,5 a 2% - 10 a 400 μ
- **Calcopirita** 1% - 10 μ a 2 mm
- **Pirita** 1% - 10 μ a 2 mm
- **Ox. Hierro** 1% - 200 a 300 μ
- **Tetraedrita-Tenantita** < 0,2%

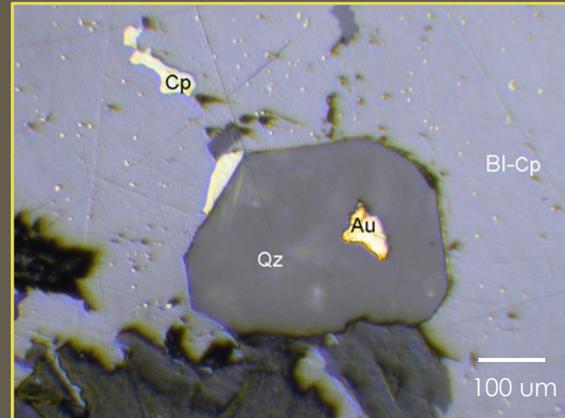
- Texturas de emulsión (Cpy – BI)
- Contactos simples (BI, Gn, Py, Mt, Cpy, Au)
- Intercrecimiento simple (BI-Py-Gn)
- Diseminados
- Aislados
- Triangulos de arranque (Gn)
- Texturas de caries (Py)
- Formas anhedrales, subhedrales, agujas

# RESULTADOS

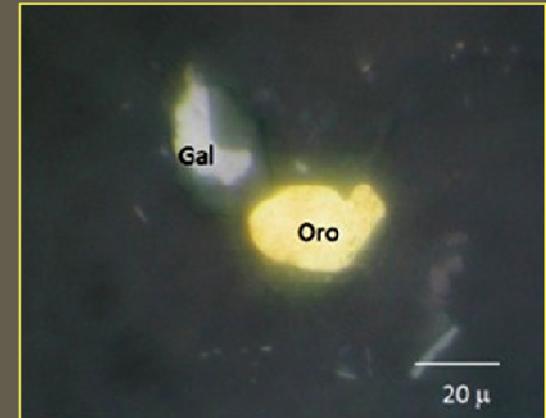
## Descripción mineral de oro



Oro (Au) en contacto con Galena (Gal), en No metálico (NM). Microscopía de luz reflejada a nicoles paralelos. Mag 625X



Partículas Oro Nativo (Au) ocluida en Cuarzo (Qz). Blenda (Bl) con inclusiones de Calcopirita (Cp) en contacto con Cuarzo. Microscopía de luz reflejada a nicoles paralelos. Mg 625X



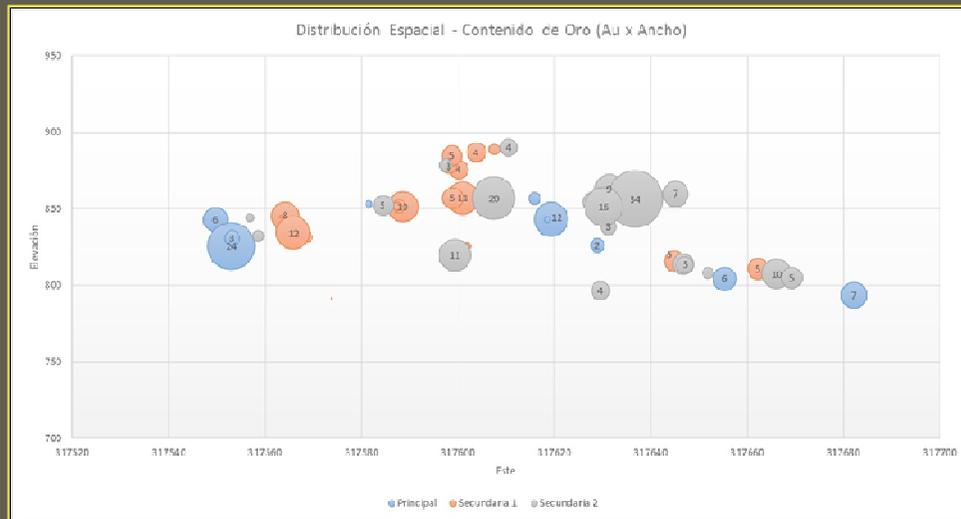
Grano de Oro aislado, diseminado en matriz. A la izquierda ocurre galena (gal). Nicoles cruzados.

- Partículas finas (10 a 130 μ)
- < 0.01% masa
- Cristales anhedrales.

# RESULTADOS

## Leyes, interceptos, contenido de oro

20 sondajes – 80 muestras



Sección longitudinal espacial de los interceptos y oro contenido.



Comparación estadística de las leyes de oro entre las estructuras estudiadas.

- Variables que definen si las estructuras tienen criterios mínimos explotables.
- Minera Florida:
  - Ancho mínimo 2 m
  - Ley de oro de 2,5 ppm
  - Cálculo del contenido de oro por intercepto (ppm\*m) → > 5 ppm\*m CONDICIONES EXPLOTABLES

- Leyes promedios desclusterizadas de oro son 3.89 ppm, 2.64 ppm y 4.75 ppm y la ley de corte de la faena es 2.5 ppm

# DISCUSIÓN

Metamorfismo de bajo grado (Araya, 1989) + Fase temprana



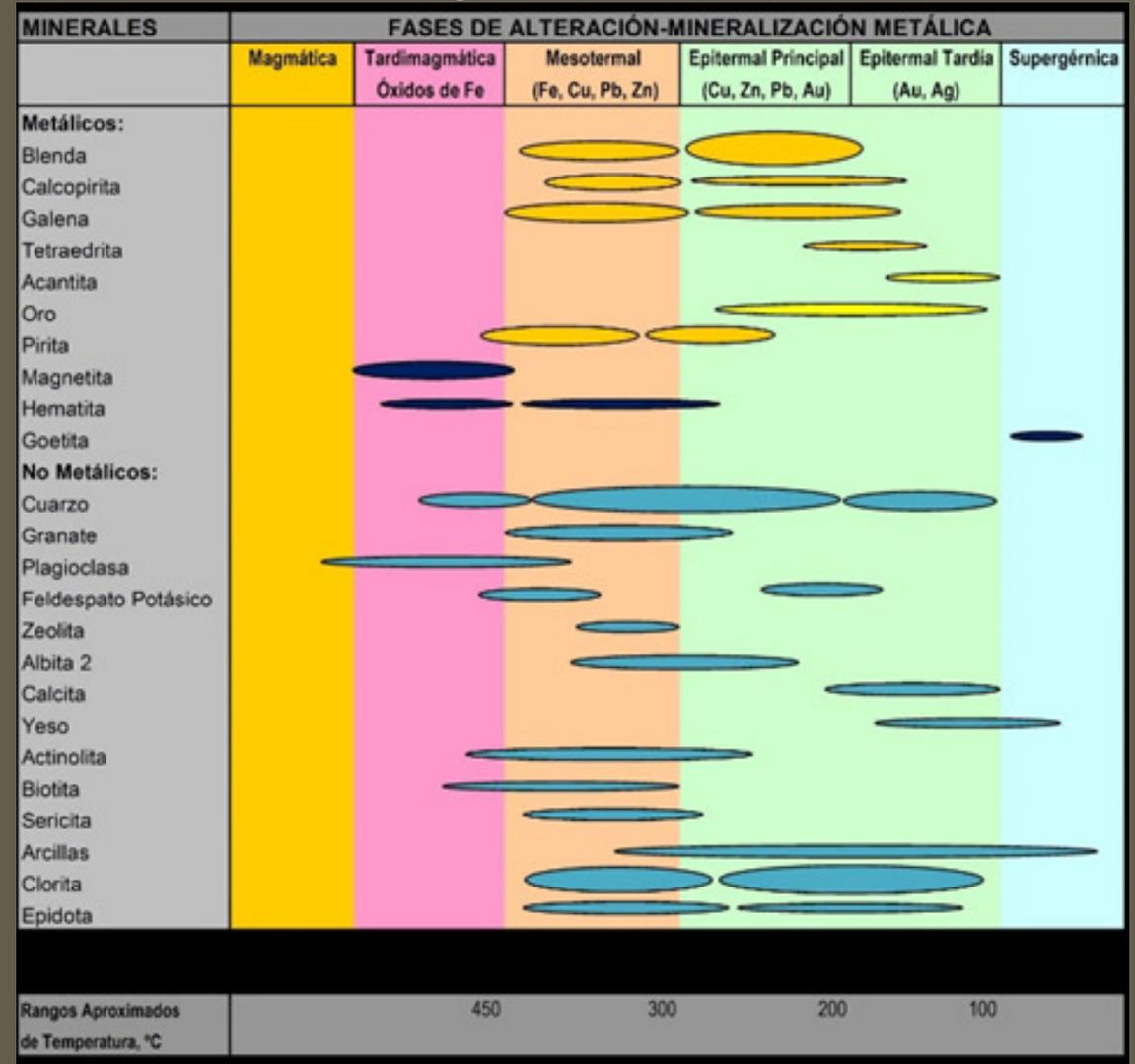
- Minerales de baja temperatura.
- Cuarzo, clorita, epidota, calcita, ± sericita, granate y actinolita + minerales de etapas tempranas.
- Removidos por un posible Skarn (Sillitoe, 2007).

Mineralización de las estructuras



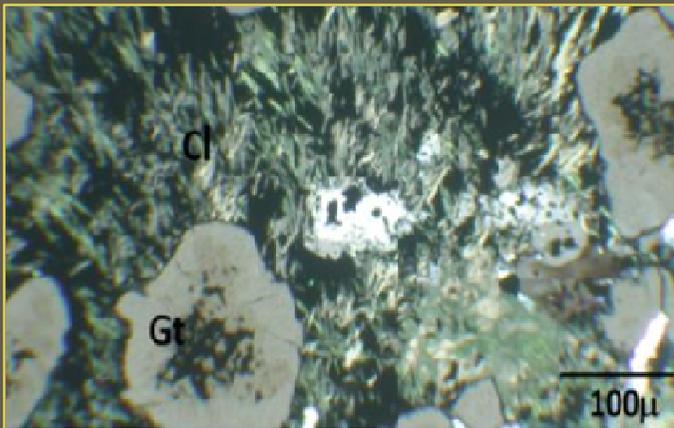
- Elementos: Fe, Cu, Zn, Pb, Au y Ag.
- Mineralización polimetálica.

Secuencia Paragenética de estructuras Mina Este.

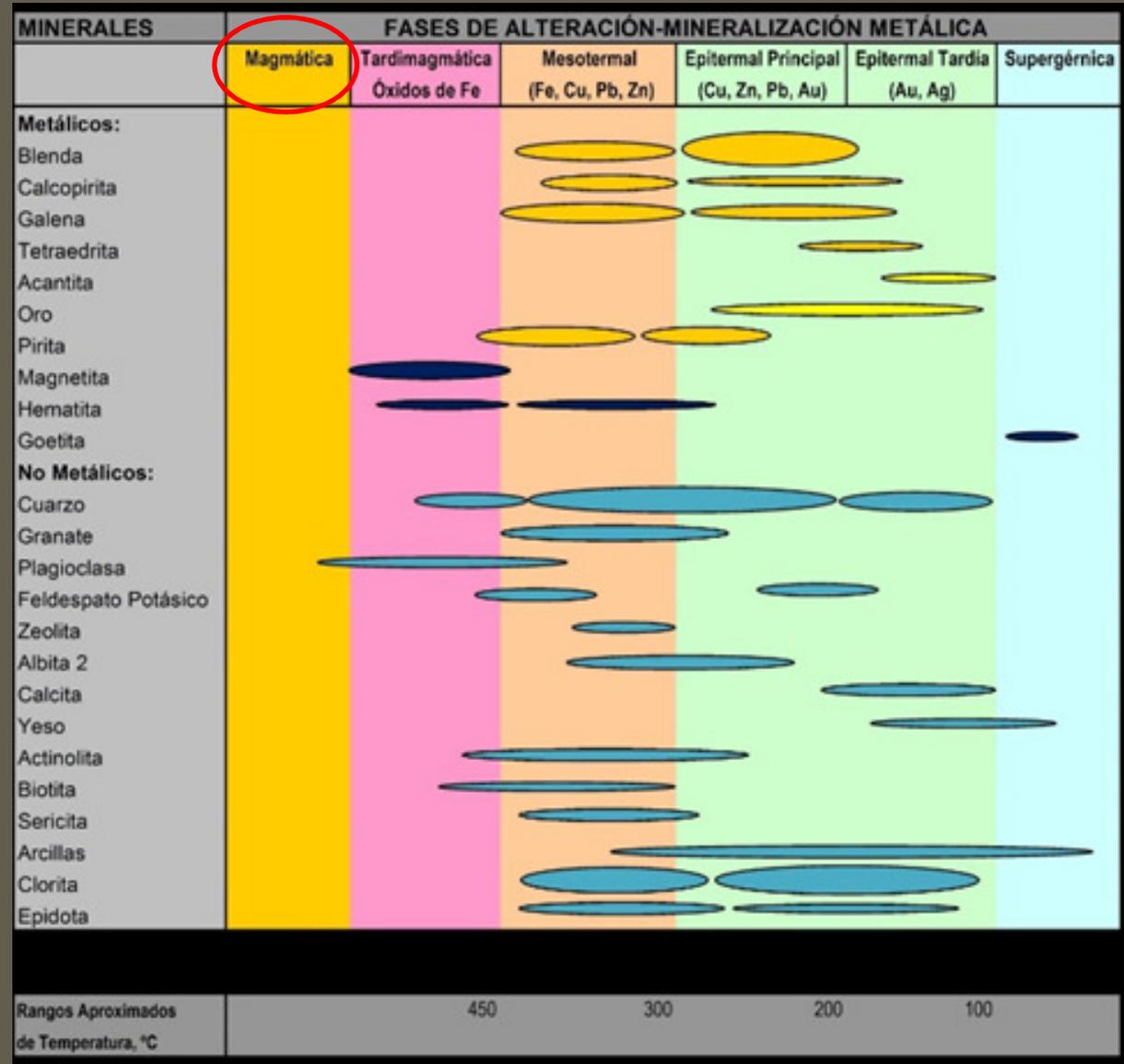


# DISCUSIÓN

- Roca caja (tobas brechosas)
- Plagioclasas ± anfíbola, biotita, cuarzo y ortoclasa (relictos)
- Metamorfismo (Sillitoe, 2007).

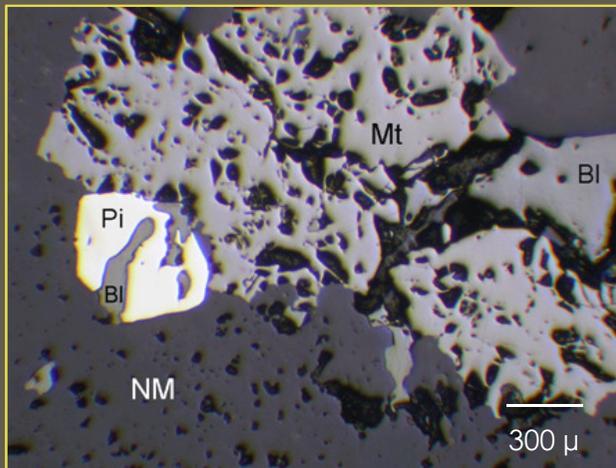


Agregado de clorita (Cl) y granate (Gt). Clorita secundaria, asociada a minerales metálicos, post alteración de fondo en la matriz. Nícoles cruzados.

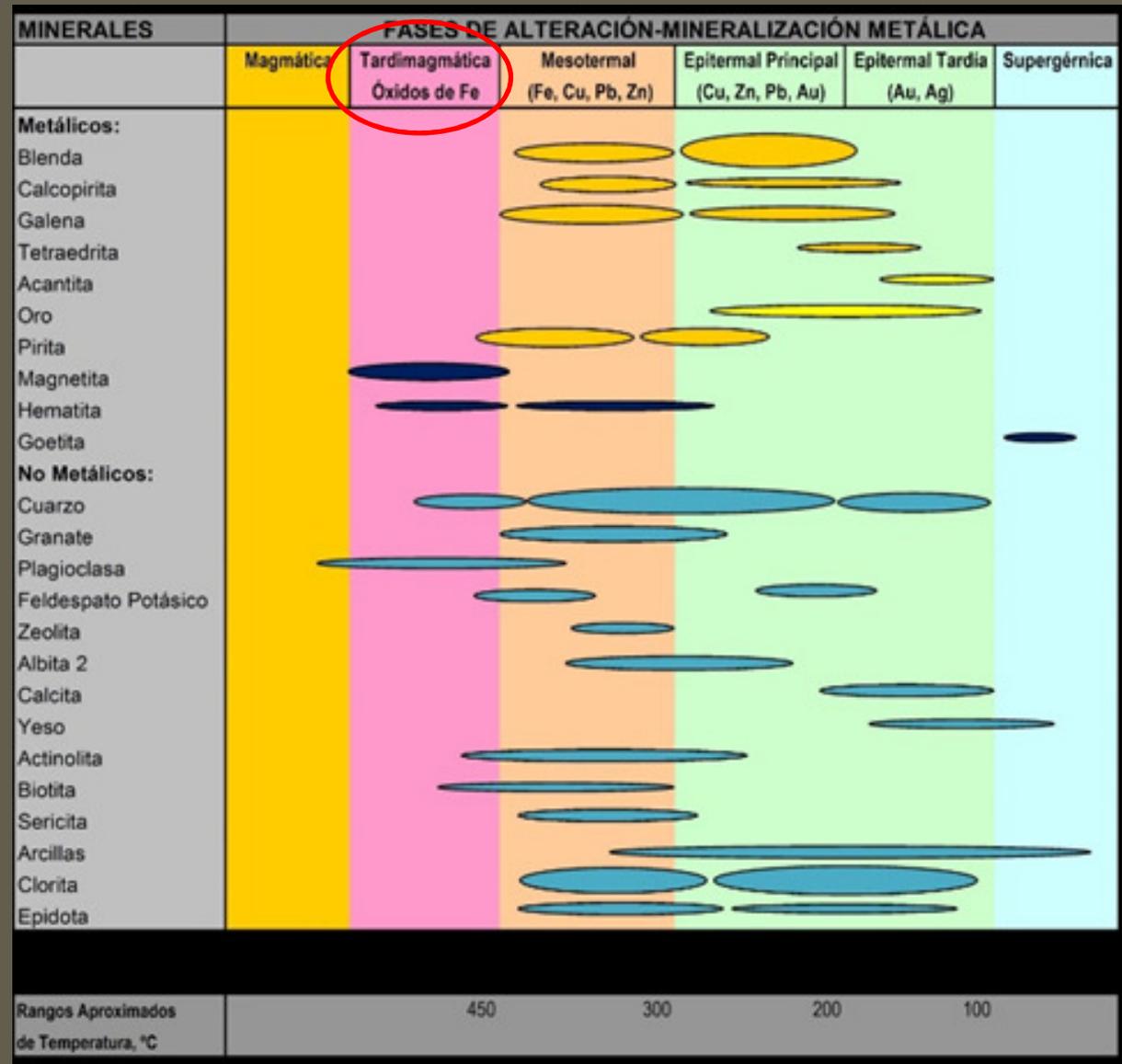


# DISCUSIÓN

- Óxidos de hierro ± pirita.
- Agregados de biotita con cuarzo anhedral.
- Primera parte de fase temprana que define Herreros (2009).

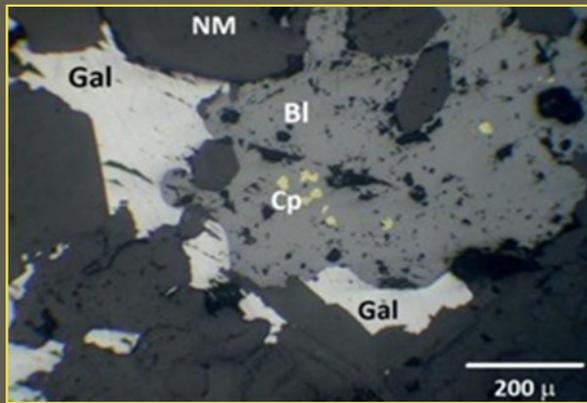


Blenda (Bl) post pirita, con estructura de penetración ameboidal y en contacto con Magnetita (Mt) con textura oquerosa (Poros) por mayor dureza al pulidos. Microscopía de luz reflejada a nicoles paralelos. Mag 125X.



# DISCUSIÓN

- Sulfuros de Fe-Cu-Pb-Zn.
- Etapa final que Herreros (2009) definió como fase Temprana y a la fase Hidrotermal de Sulfuros I.



Blenda con inclusiones de calcopirita (gotas, textura de emulsión)

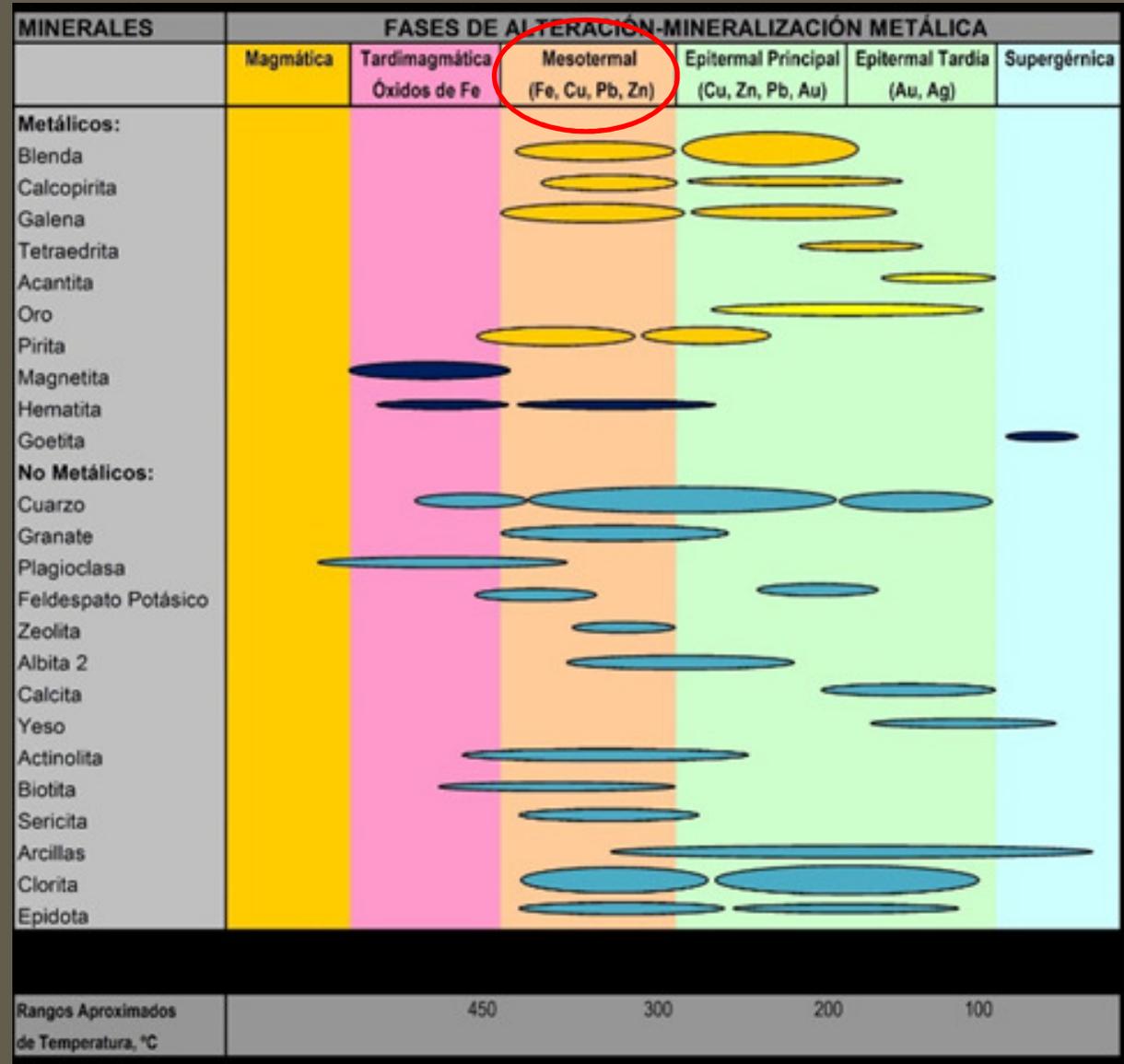


Exsoluciones de calcopirita en blenda: geotermometría (equilibrio entre 400 a 350°C; Edwards, 1974).

Texturas

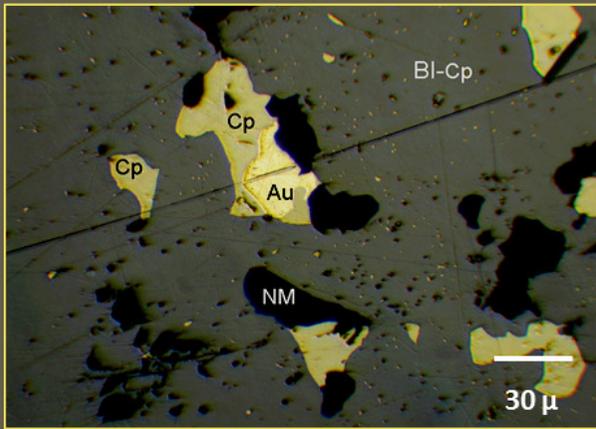


- De pinzas: reemplazo de galena en magnetita.
- Contactos simples: Blenda-Magnetita, Blenda-Pirita, Calcopirita-Galena.



# DISCUSIÓN

- Sulfuros de Cu-Pb-Zn y Au.
- Proceso hidrotermal evolutivo.
- Blenda, galena y calcopirita asociadas a precipitación de oro.
- Fase Hidrotermal II (Herreros, 2009).



Oro (Au), en contacto con blenda (BI), calcopirita (Cp) y no metálico (NM). Microscopía de luz reflejada a nicoles paralelos. Mg 125X.

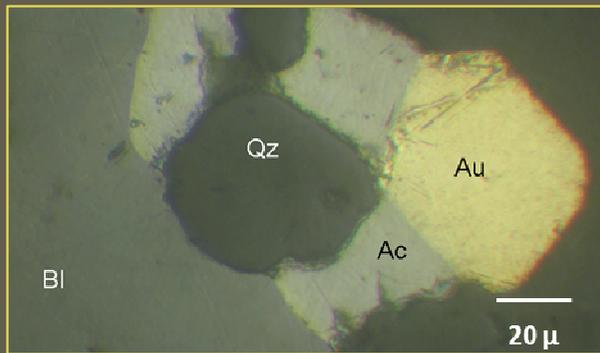
Precipitación de Oro

- • En calcopirita gruesa.
- Planos de fractura de blenda con exsolución de calcopirita.
- Contactos simples con galena.

MINERALES	FASES DE ALTERACIÓN-MINERALIZACIÓN METÁLICA					
	Magmática	Tardímagmática Óxidos de Fe	Mesothermal (Fe, Cu, Pb, Zn)	Epitermal Principal (Cu, Zn, Pb, Au)	Epitermal Tardía (Au, Ag)	Supergénica
<b>Metálicos:</b>						
Blenda						
Calcopirita						
Galena						
Tetraedrita						
Acantita						
Oro						
Pirita						
Magnetita						
Hematita						
Goetita						
<b>No Metálicos:</b>						
Cuarzo						
Granate						
Plagioclasa						
Feldespatos Potásico						
Zeolita						
Albita 2						
Calcita						
Yeso						
Actinolita						
Biotita						
Sericita						
Arcillas						
Clorita						
Epidota						
Rangos Aproximados de Temperatura, °C			450	300	200	100

# DISCUSIÓN

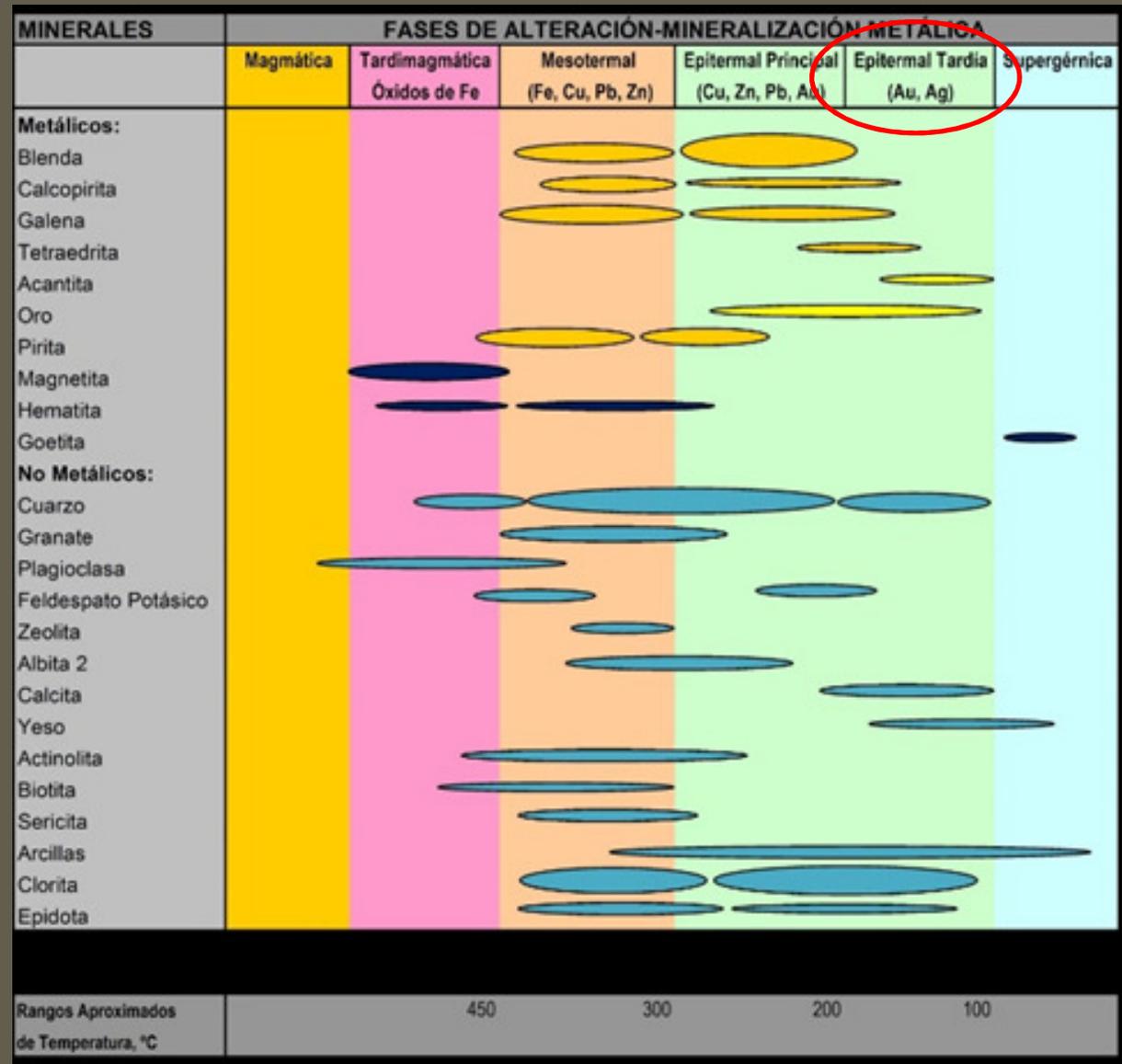
- Oro y plata.
- Tetraedrita-tenantita (Freibergita).
- Fase Hidrotermal II (Herreros, 2009).



Blenda (Bl) y oro (Au) en contacto con acantita (Ac).  
Nicoles paralelos.

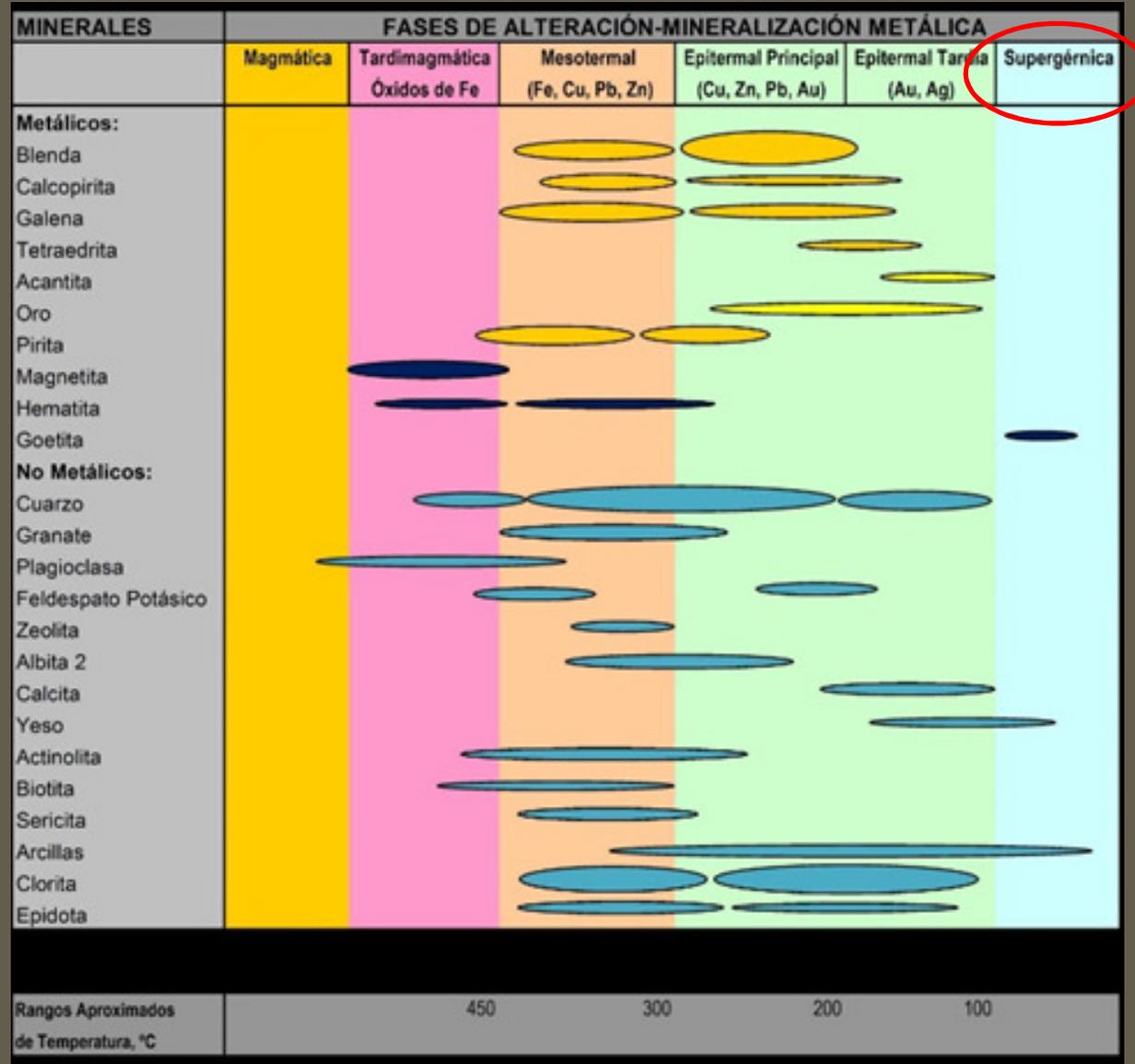
## Acanthita

- 179°C.
- Baja temperatura → acantita anisotrópica (Uytenbogaart y Burke, 1973; Ramdohr, 1980).
- Microtermometría epitermal (140 a 380°C, salinidad de 3,1 a 39% en peso de NaCl equivalente), en cuarzo de la veta Peumo (Herreros, 2009).



# DISCUSIÓN

- Goethita.
- Mezcla de aguas meteóricas y actividad supérgena.



# DISCUSIÓN

Mineralización metálica y submetálica es similar para EP, ES1 y ES2, por lo que se asumen una misma secuencia paragenética.

Origen de la mineralización y alteración → **HIDROTERMAL con zonación vertical.**



Rango de enfriamiento: 300 m aprox → texturas masivas de las HBX.

- Emplazamiento somero de un cuerpo intrusivo (< 1.500 m de profundidad)
- Secuencias de tobas sobre andesitas inferiores → tope del depósito (saturación con agua subterránea fría al momento de la mineralización).

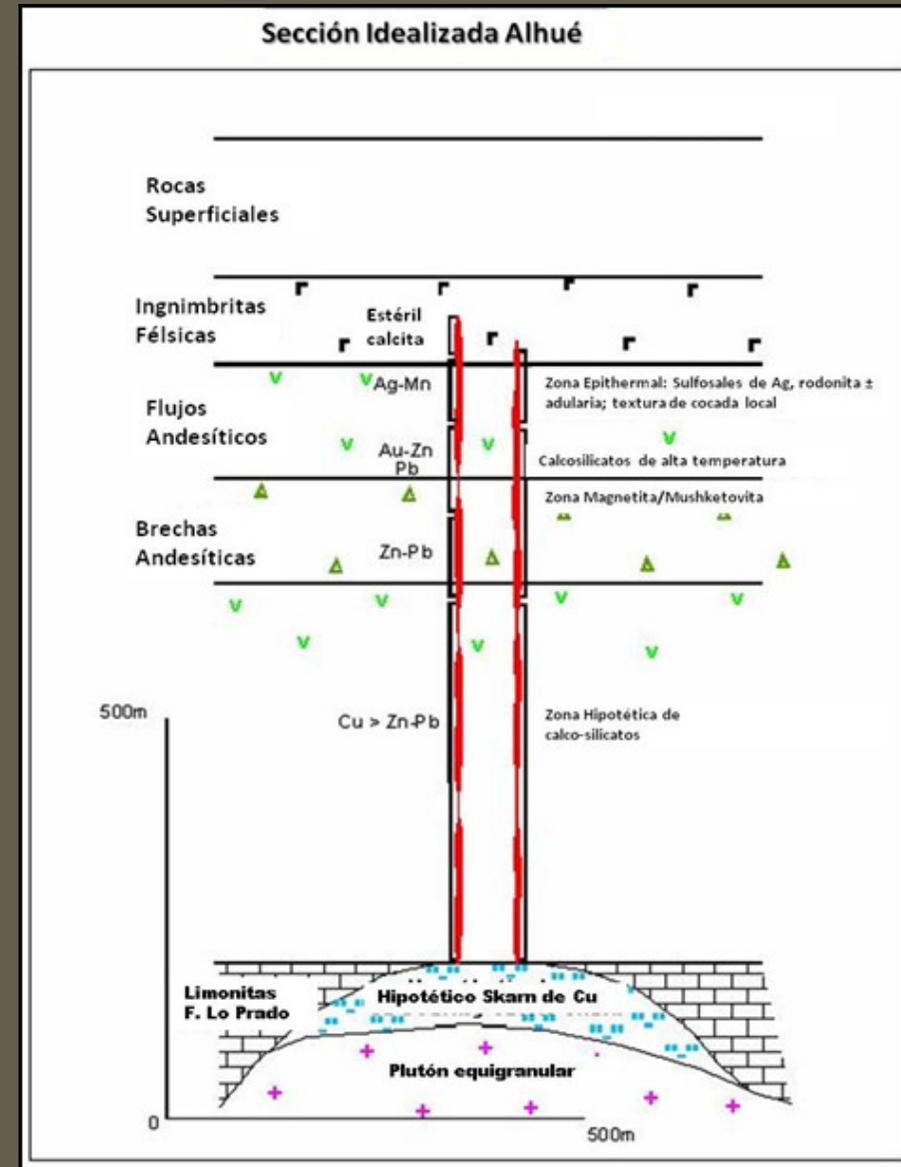
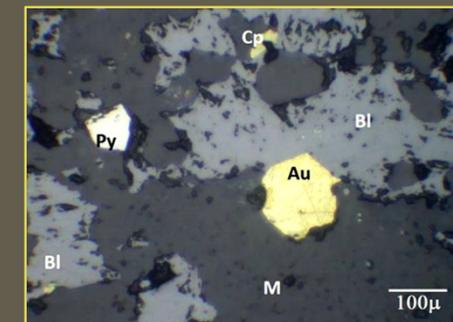
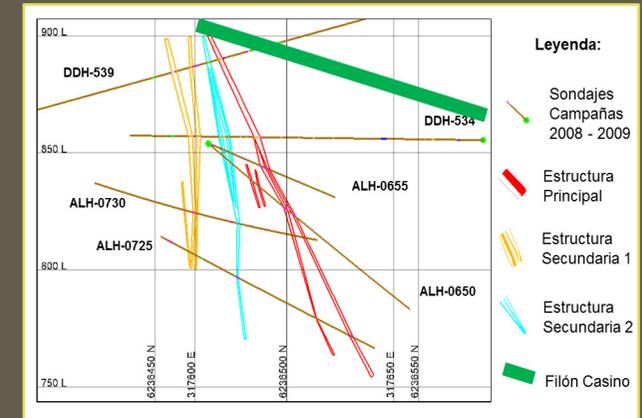


Diagrama propuesto por Sillitoe (2007) para la génesis del distrito de Alhué.

# CONCLUSIONES

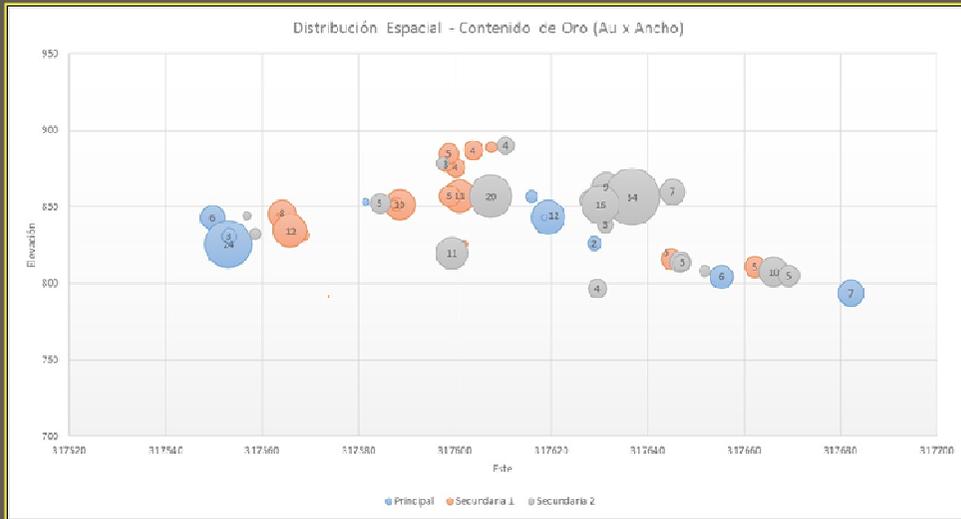
## Características de las estructuras

- Tres vetas-brechas hidrotermales, polimetálicas.
- NW-EW/70-90° NE y 3-4 m potencia.
- Roca caja: Tobas brechosas.
- Brechas Hidrotermales:
  - Matriz soportada de cuarzo masivo y en venillas.
  - Clastos de tobas brechosas semiredondeadas a angulosas (0.5 a 5.0 cm)
  - Mena: pirita, blenda (0.5-3.0%), galena (1.5-5%), calcopirita (< 2.5%), acantita, tetraedrita/tenantita, hematita, magnetita.
  - Oro traza: 8 a 130  $\mu$ , disseminado en matriz, venillas y en contacto con sulfuros
- Alteraciones propilítica intensa (clorita, cuarzo, calcita, epidota) y silicificación moderada (cuarzo en vetillas, zacaroidal)



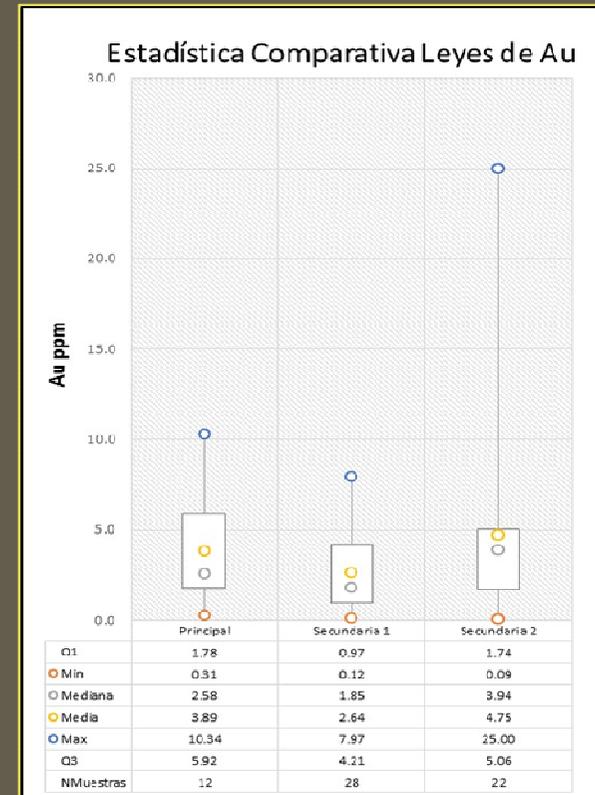
# CONCLUSIONES

Base de datos campaña sondajes 2008-2009



Sección longitudinal espacial de los interceptos y oro contenido.

- Realizar futuras campañas de sondajes en función de la distribución espacial de las estructuras y el contenido de oro.
- Sectores a explorar: sobre la cota 850 y bajo la 750-800 m s.n.m



Comparación estadística de las leyes de oro entre las estructuras estudiadas.

- Sector atractivo para la exploración, pero se necesitan mas sondajes para la generación de recursos indicados y soportar una reserva.

# REFERENCIAS

- **Araya, M. 2001.** Informe Geológico y evaluación de recursos del Distrito Minero Alhué. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédita). Universidad de Chile. Departamento. Geología: 39 pp. Santiago.
- **Collao, S. 2010.** Estudio de Alteración y Mineralización Metálica, mediante la aplicación de microscopía de luz transmitida-reflejada en Mina Este de Minera Florida, Distrito Minero Alhué, Región Metropolitana, Chile. (inédito): 38 pp. Concepción.
- **Herreros, D. 2009.** Caracterización Geológica y antecedentes Microtermométricos de la Veta Peumo, Distrito Minero Pedro valencia, Región Metropolitana Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Concepción Departamento Ciencias de la Tierra: 95 pp. Concepción.
- **Nasi, C. 1981.** Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sureste de Melipilla (Chile Central). Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito) Universidad de Chile, Departamento de Geología: 246 pp. Santiago.
- **Nasi, C y Thiele, R. 1982** Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sur del río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). Revista Geológica de Chile Nº 16: 81-99. Santiago
- **Romero, N.; Mundaca, P. 1997.** Geología del Distrito Minero Alhué. Informe inédito S.L.M. LAS CENIZAS.: 55 pp. Alhué.
- **Sillitoe, R. 2007:** Comments on the Alhue, Jerónimo, Esperanza and Encrucijada Gold properties, Chile. Informe inédito. Yamana Gold Inc.: 3-7. Alhué.



**MUCHAS GRACIAS**