

## El Distrito Polimetálico de Huachocolpa (Huancavelica, Perú)

Cosme R. PÉREZ-PUIG OBIETA <sup>(1)</sup> y José A. YPARRAGUIRRE CALDERÓN <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>E.T.S.I. Minas, Universidad Politécnica de Madrid (UPM).  
C/ Ríos Rosas 21; E-28003 Madrid (Spain)  
E-mail: [cosmeperezpuig@gmail.com](mailto:cosmeperezpuig@gmail.com)

<sup>(2)</sup>Buenaventura Ingenieros BISA  
C/ Larrabure y Unanue 145; Lima - 1 (Peru)  
E-mail: [jyparraquirre@bisa.com.pe](mailto:jyparraquirre@bisa.com.pe)

### Resumen

C.R. PÉREZ-PUIG OBIETA y J.A. YPARRAGUIRRE CALDERÓN (2013) El Distrito Polimetálico de Huachocolpa (Huancavelica, Perú). *Acopios*, **4**: 1-57.

El presente trabajo ofrece una visión global de la mineralogía descriptiva del distrito minero de Huachocolpa, del cual se conocen muy pocos datos, debido a la casi nula cantidad de ejemplares que han llegado hasta el mercado de los minerales. Se describen tanto los minerales en muestra de mano, como al microscopio, tanto de varias vetas mineralizadas, como de las rocas volcánicas en las que están emplazadas. A parte de la ya conocida mina Palomo, se hace énfasis en los ejemplares procedentes de la mina Esperanza, donde destacan la esfalerita, galena, estibnita y el raro sulfato de Zn changoita.

**Palabras clave:** Huachocolpa, Perú, Changoita, Rodocrosita, Esfalerita.

### Abstract

C.R. PÉREZ-PUIG OBIETA y J.A. YPARRAGUIRRE CALDERÓN (2013) The Polymetallic Mining District of Huachocolpa (Huancavelica, Peru). *Acopios*, **4**: 1-57.

This paper provides an overview on the descriptive mineralogy of the Huachocolpa mining district, where very few data are known, due to the very few specimens that have reached the mineral market. Descriptions of minerals in full view and under microscopes include the samples from some of the mineralized veins and their hosting volcanic rock. Apart from the well known Palomo mine, samples from the Esperanza mine are emphasized, such as sphalerite, galena, stibnite and the rare Zn sulfate changoite.

**Keywords:** Huachocolpa, Peru, Changoite, Rhodochrosite, Sphalerite.

## INTRODUCCIÓN

Dentro del mundo mineralogista, el distrito Huachocolpa es relativamente desconocido, ya que hasta el año 2000, época en la que buscadores locales comenzaron a descubrir cristales sueltos de rejalgar con zonas alteradas a pararejalgar e introducirlos en el mercado (Hyrsl & Rosales, 2006), no se conocían muestras de la zona. Esto pudo ser debido a la prohibición de extraer muestras establecidas por las compañías mineras, por lo que cuando comenzaron a cerrar las explotaciones, se dedicaron a recuperar los ejemplares como forma de subsistencia.

De todas las muestras estudiadas para este artículo, caben destacar las esfaleritas de Esperanza (Pérez-Puig, 2008b), los rejalgares y oropimentes de Palomo, así como las estibnitas de Palomo (Hyrsl & Rosales, 2006) y Esperanza (Pérez-Puig, 2008b). Además, se ha observado también la presencia de changoita (un raro sulfato de zinc y sodio) en la mina Esperanza, lo que convierte a esta mina en la segunda localidad mundial para la especie (Pérez-Puig, 2008a). Se conocen también diversas muestras de siderita y rodocrosita con muy bella estética, procedentes del distrito de Huachocolpa aunque la mina donde se extrajeron no es conocida.

El principal mineral explotado en el distrito de Huachocolpa es la esfalerita, pudiéndose observar en todas las labores. Sin embargo, ejemplares cristalizados sólo se encuentran con frecuencia en la mina Esperanza, asociados con galena, cuarzo, barita y calcita, así como en la mina Palomo, donde se asocia con galena, cuarzo, seligmannita, rejalgar, oropimente, tetraedrita y calcopirita. Además de la esfalerita, con interés coleccionístico, también ha sido posible obtener muestras de galena, tetraedrita, bournonita, calcopirita, piritita, estibnita, rejalgar, oropimente, rodocrosita, calcita, siderita, barita, yeso, changoita y cuarzo.

En este trabajo se describen la historia y geología, así como todos los minerales reconocidos a la fecha en el distrito de Huachocolpa, tanto los minerales que se vienen explotando como los formadores de roca, además de aquellos formados por alteración de todos éstos. Se trata de un estudio relacionado con diversos trabajos universitarios (proyectos fin de carrera y tesis de máster) de investigación sobre la génesis de diferentes minas del distrito (Yparraguirre, 2005; Yparraguirre, 2008 y Pérez-Puig, 2008).

## UBICACIÓN

El distrito minero de Huachocolpa se encuentra a unos 400 km al sureste de la ciudad de Lima, en el centro-sur de la provincia de Huancavelica (figura 1); a mitad de camino entre los más conocidos distritos de Julcani (Angaraes) y San Genaro (Castrovirreyna). Está ubicado en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales Peruanos. Las altitudes del distrito oscilan entre los 4.300 m y más de 5.000 m de altitud sobre el nivel del mar.

Para llegar al distrito de Huachocolpa desde Lima existen varias posibilidades de viaje, todas ellas por carretera:

- Salir de Lima por la carretera central, una vez llegados a La Oroya, continuar hacia Huancayo, seguir hacia Huancavelica y de Huancavelica dirigirse hacia Santa Inés para desviarse a Huachocolpa.
- Otro trayecto, más corto, cómodo y rápido, parte de Lima por la Panamericana Sur hacia Pisco, donde se toma el desvío hacia Castrovirreyna, desde ahí continuar hacia la Laguna Choclococha, cruzar el Paso de Chonta y descender a Huachocolpa.

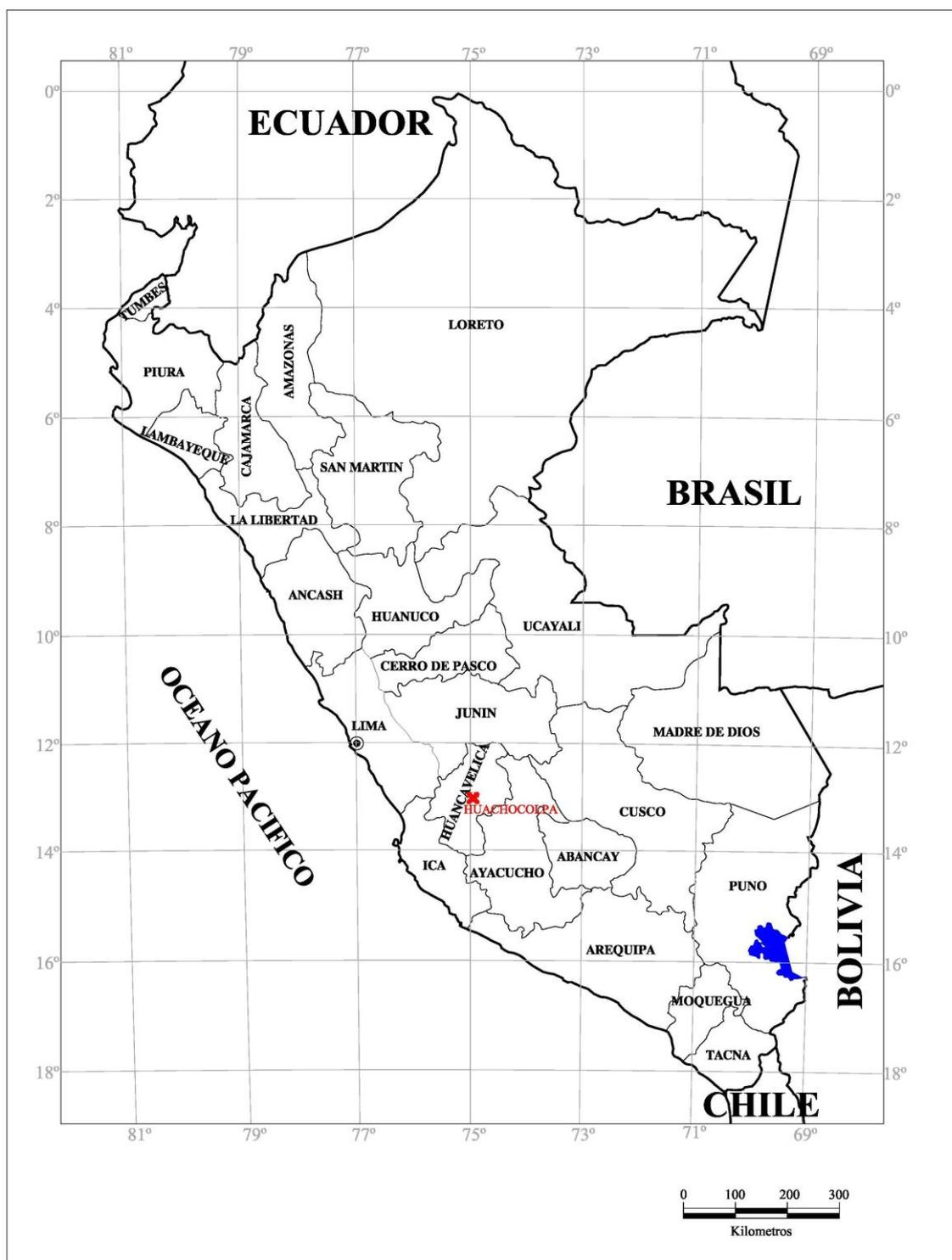


Figura 1: Mapa de Perú con ubicación del distrito minero de Huachocolpa.

- El tercer itinerario posible, más corto y rápido que los anteriores, se asemeja bastante al segundo: una vez se llega a Pisco, se continúa hacia Huaytará, desde aquí a Rumichaca, y desde Rumichaca, continuando hacia el norte, se cruza el Paso de Chonta para llegar a Huachocolpa.

La veta Teresa-Teresita (en adelante veta Teresita, VT) se localiza en la zona central del distrito y, junto con la veta Esperanza (VE), trabajada en las Minas Esperanza y Nancy Luz (para los niveles inferiores) en el extremo sureste del distrito, son explotadas por la compañía de Minas de Buenaventura S.A.A. (CMBSAA).

La veta Bienaventurada (VB), explotada en la mina Bienaventurada, y la veta Rublo (VR), perteneciente a la mina Chonta, están siendo explotadas por la Compañía Minera Caudalosa S.A. (CMCSA) en la zona oeste del distrito Huachocolpa.

A menos de 1 km al norte de las vetas explotadas por CMCSA se encuentra la mina Coquito, actualmente parada pero con vistas a su reapertura por pequeños inversores.

Por último, las mineralizaciones del cerro El Palomo, se encuentran paradas desde el año 2000, cuando CMBSAA paralizó sus explotaciones; sin embargo, buscadores locales suelen entrar en las labores a recuperar muestras para coleccionismo. Estas minas se encuentran en el extremo suroeste del distrito. Dentro del distrito, existen más vetas cuya explotación está parada por encontrarse agotadas o por no esperarse un beneficio con su explotación debido a su pequeño tamaño o poca cantidad de recursos disponibles para la extracción.

## **HISTORIA<sup>1</sup>**

Las primeras referencias conocidas del Distrito de Huachocolpa corresponden a las citas del cronista Marcos Jiménez de la Espada, quien en 1586 habla de la mina Huachocolpa, en Angaraes, con minerales de plata.

En 1920, el español Don Agustín Areas Carrasco recorre la zona, descubriendo varias mineralizaciones aflorantes y comienza a extraer mineral a pequeña escala.

Durante la I Guerra Mundial y la Guerra de Corea comienza un laboreo intensivo, construyéndose la carretera y la Planta concentradora del Banco Minero. En el año 1940 el Sr. Antonio Obradovic registra los denuncios para las minas de Rublo, procediendo a su explotación mediante estrío manual. Al fallecer le sucede su hermano Mateo, quien forma la Compañía minera Huanta S.A., construyendo una planta concentradora y una hidroeléctrica.

Durante esa época se ponen en explotación diferentes minas (Caudalosa Chica, Emmita, Coquito, Asia, Grau, Consuelo, Recuperada, Teresa, Teresita, Isabel y otras), con diferentes propietarios, que trataban su mineral en la recién inaugurada Planta Concentradora del Banco Minero.

Al cabo de uno pocos años, las compañías mineras peruanas empiezan a fijarse en el distrito. CMBSAA, por ejemplo, tras fundarse en Julcani en 1953, visita el distrito en el mismo año y toma varias opciones mineras en 1955 como son la zona de Germana (al norte de la veta Esperanza). A finales de año, también comienza a explorar la zona de la veta Esperanza (específicamente Rico Antimonio).

El 10 de Agosto de 1956 CMBSAA toma en opción las Minas Teresa-Teresita-Isabel, comenzando las tareas de exploración el mismo año que, a la sazón, la VT ha resultado ser la estructura más rica de todo el distrito.

El mineral extraído por CMBSAA en las minas explotadas (Recuperada, Rico Antimonio, Teresa y Teresita) era enviado para su tratamiento a la Planta Concentradora del Banco Minero. Hasta que en el año 1960 construyó en Corralpampa una planta concentradora para ahorrar costes.

La otra gran compañía que se estableció en la zona fue la CMCSA, que se dedicó a la extracción de mineral en la zona oeste del distrito en las minas Chonta, Caudalosa Chica y otras. Dentro de estas minas, destaca por el volumen de mineralización de veta Bienaventurada, casi del orden de la veta Teresita.

---

<sup>1</sup> Tomado del excelente trabajo de Inga (2002)

En el distrito se continuó con una explotación bastante continua y regular hasta que en los años 2000 y 2001 se cerraron casi todas las explotaciones debido a la fuerte bajada del precio de los diferentes metales, especialmente del zinc, que se quedó por debajo de los 800 \$/TM.

Sin embargo, gracias al incremento en el precio de los metales a partir de 2005, se están reabriendo la mayoría de las estructuras principales para recuperar todo el mineral dejado en profundidad y así apoyar a las comunidades campesinas en el área de Huachocolpa (Valdivia & Paullo, 2006), una de las zonas más desfavorecida económicamente de Perú.

## MARCO GEOLÓGICO

### Litologías

El distrito minero de Huachocolpa comprende estructuras hidrotermales de baja temperatura, alojadas en materiales sedimentarios calcáreos triásico-jurásicos y en materiales volcánicos terciarios. Además, en los alrededores del distrito afloran materiales correspondientes al basamento paleozoico, continuando toda la secuencia estratigráfica hasta los recubrimientos cuaternarios.



Figura 2: Afloramiento de materiales volcánicos mostrando una pseudo-estratificación. Presentan una alteración argílica leve y fuerte silicificación debido a la interacción con los fluidos portadores de la mineralización de la veta Rublo.

Los materiales calcáreos de interés en el distrito son los correspondientes al grupo Pucará, conformado por las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga (Harrison, 1943), siendo la formación Condorsinga la que alberga las mineralizaciones, generalmente asociadas a procesos secundarios de dolomitización (Valdivia & Paullo, 2006). Se han reconocido diversos fósiles: moluscos (*Ostridae* *Lopha*), braquiópodos, amonites y corales, que indican una deposición sub-arrecifal y caracterizan a la unidad con edad Toarciense (183 a 175,6 M.a.) (Valdivia & Paullo, 2006).



Figura 3: *Brecha volcánica con disseminación de pirita y alteración sericítica y débil argilización, observada en la veta Rublo.*

Más importantes que las vetas hospedadas en materiales calcáreos son las vetas asociadas a materiales volcánicos, donde se encuentran las vetas Bienaventurada, Rublo, Esperanza, Teresita, las correspondientes al subdistrito argentífero del cerro el Palomo, etc. Estos materiales conforman el grupo Huachocolpa, subdividido en las formaciones Caudalosa, Apacheta, Chahuarma y Portuguesa. Se trata de coladas (figura 2), brechas volcánicas (figura 3) y materiales piroclásticos, los cuales presentan composiciones que varían de dacitas a andesitas y andesitas basálticas. Hay, además, rocas intrusivas de edad cretácica y recientes, datadas entre 3,7 M.a. (método K/Ar; McKee *et al.*, 1975) y 13,40 M.a. (también método K/Ar; Noble *et al.*, 1979), que están asociados a los domos del Cerro El Palomo. También existe un sistema de pequeños diques con edades comprendidas entre los 3.9 M.a. y 4.6 M.a. (método K/Ar; Wise, 1999). Uno de estos diques es sumamente importante ya que corta la falla Chonta, limitando la edad de dicha falla (Wise & Noble, 2001), de la que se va a hablar a continuación.

### **Geología Estructural**

La mineralización del Distrito Huachocolpa se encuentra rellenando espacios abiertos dejados por fallas formadas durante el evento compresivo Quechua III, de edad Mioceno Superior a Plioceno Inferior (Soulas, 1975 y Megard, 1979), originado por movimientos conjugados de bloques (figura 4).

La figura 4 muestra el estado anterior y posterior a dicho evento compresivo, donde también se explica los movimientos dextrales y sinestrales observados en las vetas y fallas del distrito y la importancia que tiene la falla Chonta.

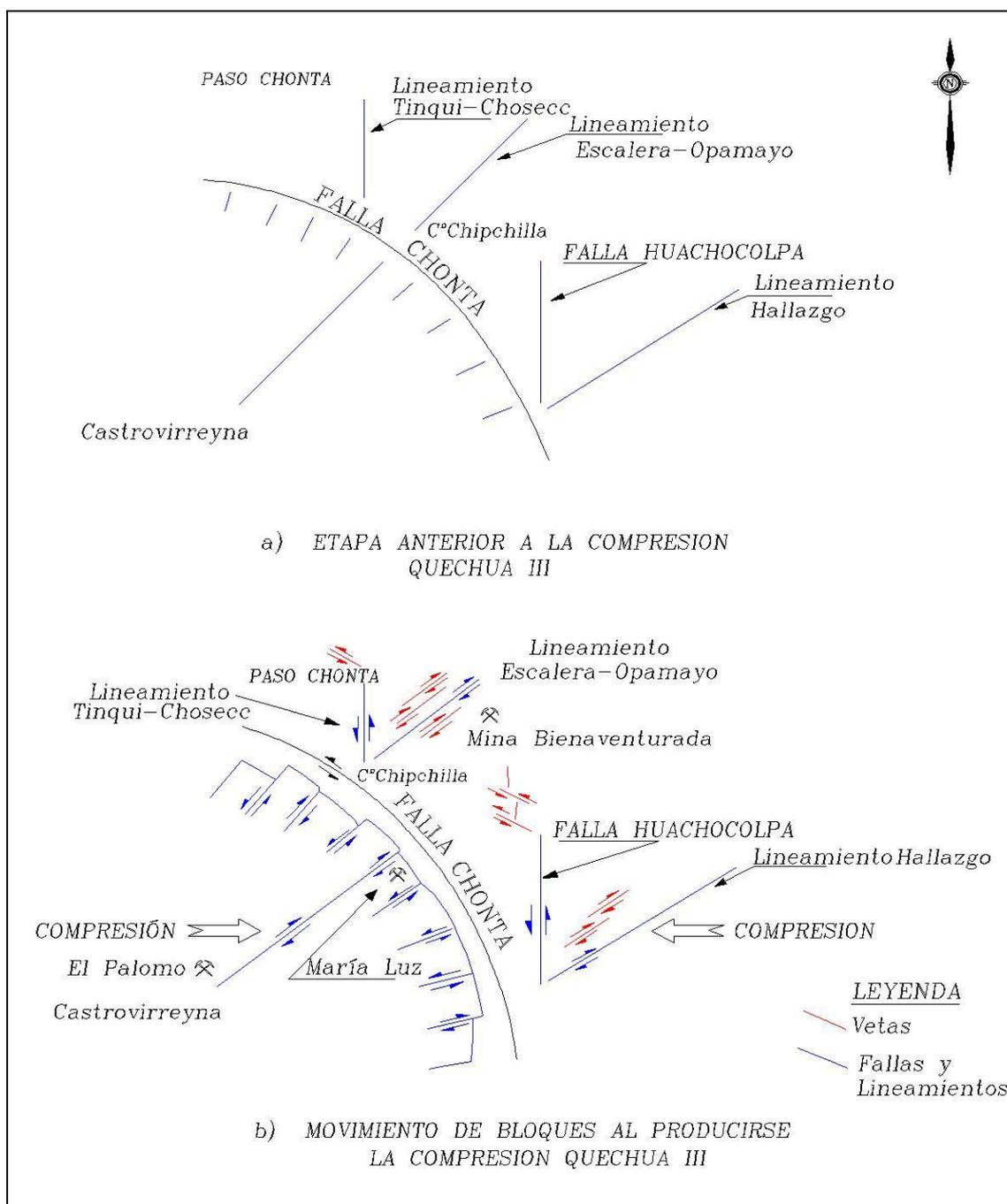


Figura 4: Modelo ideal para explicar la formación de fallas y vetas del distrito de Huachocolpa.

La falla Chonta es una gran estructura de los Andes Centrales Peruanos, pudiendo ser reconocida a lo largo de más de 200 km, con rumbo aproximado N45°W y buzamiento subvertical. Se trata de una falla inversa originada durante el evento compresivo Quechua I del Mioceno Inferior (21 a 14 M.a.) (Soulas, 1975) y que está asociada al gran sinclinorio de Castrovirreyna (Wise & Noble, 2001) (figura 5). Comenzó como una falla inversa asociada a la formación Casapalca (figura 5) hasta que durante la fase Quechua III se reactivó con movimientos sinestrales (Megard, 1979 y Wise & Noble, 2001). Su actividad cesó por lo menos hace 3.9 M.a. como indica un dique que corta la falla (Wise & Noble, 2001).

Hay que destacar que la falla Chonta no controla ningún depósito económico ni tiene asociada alteraciones hidrotermales, lo que implica que la falla estuvo cerrada al paso de

los fluidos hidrotermales durante la génesis de los yacimientos (Wise & Noble, 2001). No así las estructuras tensionales, que dieron lugar a las mineralizaciones económicas (figura 4).

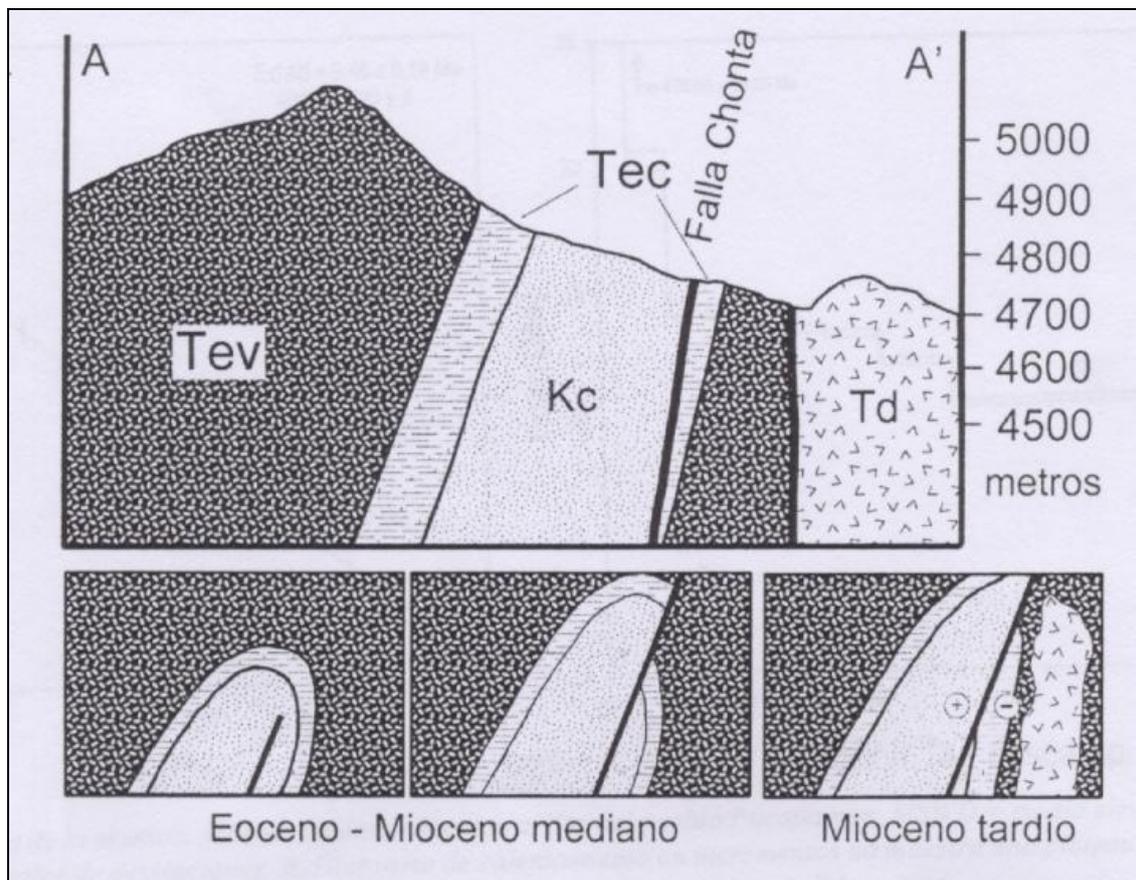


Figura 5: Sección geológica de la falla Chonta (Kc: formación Casapalca; Tec: materiales de techo de la formación Casapalca, de edad terciaria; Tev: materiales volcánicos del terciario, formación Apacheta; Td: diques intrusivos de composiciones dacíticas). Inferior: esquema evolutivo de formación de la falla Chonta. Tomado de Wise et al. (2001).

### Geología económica

El Distrito Huachocolpa presenta mineralizaciones de Zn-Ag-Pb-Cu con algunas anomalías en Au. Según estudios de diversos autores (Bruha, 1983; Yparraguirre, 2005; Yparraguirre, 2008; Pérez-Puig, 2008a) las alteraciones de la roca de caja, el tipo de minerales y los procesos físico-químicos observados en las estructuras son acordes con un modelo epitermal de baja sulfuración en rocas volcánicas.

En la tabla 1 se muestran las características típicas de los diferentes tipo de yacimientos epitermales emplazados en rocas volcánicas según la clasificación de Heald *et al.* (1987). Las características que están en cursiva, respetando la publicación original, son las que los autores consideran diagnósticas para cada tipo, mientras que en negrita se resaltan las que se cumplen en las estructuras estudiadas en el distrito (VB, VR, VT y VE). Hay que destacar, de todas formas, que no todas las vetas citadas cumplen todas las características citadas.

Por otro lado, Hedenquist *et al.* (1996) definen como características de yacimientos epitermales de baja sulfuración las siguientes condiciones encontradas en los estudios realizados sobre las vetas VB, VR, VT y VE:

1. Varios episodios de brechificación.
2. Presencia de calcita laminar (en inglés *bladed calcite*), que indica un proceso de ebullición del fluido hidrotermal.
3. Reemplazo de la calcita laminar por cuarzo.
4. Ausencia de pirofilita, diásporo y alunita. Tampoco se han observado cuarzo oqueroso (en inglés *vuggy silica*) ni alunita, que indican una alteración argilíca avanzada.

Los puntos 1 y 2, de todas formas, hay que considerarlos con cuidado, ya que solo se ha observado una vez este fenómeno en la veta Esperanza, con lo que es arriesgado generalizarlo a todo el distrito. Además, no se ha podido caracterizar adecuadamente la morfología de los cristales, pudiendo tratarse de barita reemplazada por cuarzo, como parece observarse en la figura 15, o como las muestras que se extrajeron en la mina Palomo a comienzos del año 2006 (Hyrsl & Rosales, 2006).

**Tabla I**

<b>ALTA SULFURACIÓN</b> (HS O ÁCIDO-SULFATADA)	<b>BAJA SULFURACIÓN</b> (LS O ADULARIA-SERICITA)
<i>Enargita + pirita ± covellina</i>	<i>Ausencia de enargita</i>
<i>Abundante alunita hipogénica</i>	<i>Domina alteración sericítica</i>
<i>Caolinita hipogénica importante</i>	<b>Rara caolinita (supergénica)</b>
<i>Ausencia de adularia</i>	<i>Adularia</i>
<b>Ausencia de seleniuros</b>	A menudo seleniuros
Minerales de Mn raros	<b>Ganga de Mn presente</b>
Clorita rara	<b>Clorita abundante</b>
A veces bismutinita	<b>Ausencia de bismutinita</b>

Tabla I: *Características mineralógicas de los diferentes yacimientos epitermales. Modificado de P. Heald et al. 1987.*

La composición de las menas reconocidas en el distrito corresponde a esfalerita, galena (argentífera), tetraedrita, platas rojas y calcopirita, en una ganga de cuarzo, calcita, barita, adularia y yeso. Además, se reconocen otros minerales metálicos como pirita, estibnita, rejalgar, geocronita y diversos sulfuros y sulfosales minoritarios.

### **Metalogenia**

Gracias a los trabajos llevados a cabo por diversos geólogos consultores (por ejemplo, D.C. Noble, U. Petersen, etc.), Bruha (1983) y más recientemente por Yparraguirre (2005 y 2008) y Pérez-Puig (2008a), se puede conocer los procesos que dieron lugar a la formación de las vetas del distrito. De estos trabajos, los más interesantes son los dos últimos, ya que se centran en las estructuras que se van a considerar para este artículo.

Mediante estudios de microtermometría de inclusiones fluidas (figura 6), se han podido conocer las temperaturas de formación de las VB, VR, y VE, que varían entre los 220 °C y 330 °C, con salinidades en el rango de 5 a 8 % equiv. en peso de NaCl. Además, con el reconocimiento de procesos de ebullición, se establece que los depósitos son epitermales. Los estudios de Bruha (1983) sobre VT, caracterizan el fluido del principal evento mineralizador con una temperatura entre 325 °C y 375 °C, con una salinidad entre 7,5 y 12 % equiv. en peso de NaCl.

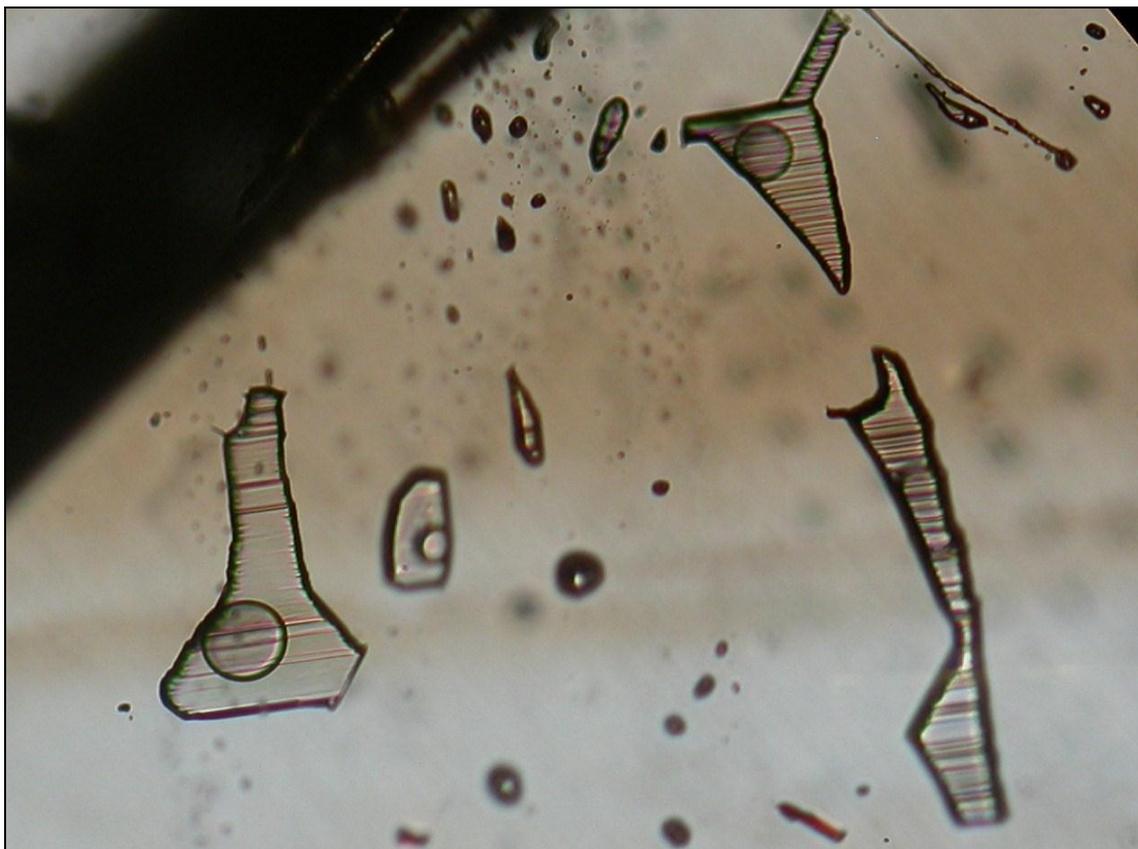


Figura 6: *Microfotografía de varias inclusiones fluidas, con morfologías poligonales, bifásicas, con agua y una burbuja de vapor, en esfalerita. Ancho de la imagen: 0,8 mm.*

Estos resultados están conformes con el zonado existente en el distrito, en el cual se tiene una zona central de mayor temperatura, con un gradiente térmico descendente hacia los extremos. Geoquímicamente, observando la distribución de los elementos Ag, Au, Cu, Zn y Pb: se observa un núcleo central con predominancia del ZN (VT, VB) y en cuyo interior existe una zona con mayores valores de Cu y Au. Hacia el norte, se pasa a una zona con predominio del Pb (mina Angélica), mientras que hacia el sur-suroeste existe una aureola argentífera (minas de El Palomo). Por último, la franja rica en plomo continuaría bordeando por el este la zona central de zinc hasta llegar a la zona de mina Esperanza, donde se igualan los contenidos en Pb y Ag. Esta disposición de los elementos indica un foco térmico en la zona rica en zinc (probablemente donde aumenta el contenido en Au y Cu) que disminuye hacia las zonas externas donde se reconocen sulfosales de Ag (al sur) y Pb (al norte).

Debido a la anomalía provocada por el solape de las zonas de plomo y plata en el área de mina Esperanza, diversos autores (J. Herrera & G. Pamo, en Inga, 2002) que han estudiado el zonado del distrito Huachocolpa han subdividido el área de Rico Antimonio, Esperanza, Quellomachay, Nancy Luz y Germana en un subdistrito con su propio zonamiento, cuya área de plata estaría representada por Nancy Luz, Germana y el extremo oeste de Esperanza.

### **MINAS TRATADAS EN ESTE TRABAJO**

A continuación, se describen las minas en las que se han realizado estudios y se han recuperado muestras de diversos minerales.

Como se observa en la figura 4, el distrito de Huachocolpa está atravesado en su extremo suroeste por la falla Chonta, quedando la mayoría de las minas tratadas en este trabajo en la zona noreste, a excepción de la mina El Palomo, que se encuentra en el extremo suroeste del distrito, ya en la zona que queda al oeste de la falla Chonta.

### Mina Esperanza (veta Esperanza)

La mina Esperanza se localiza en la zona sureste del distrito de Huachocolpa. En superficie, se divide en dos zonas, situadas en las laderas este y oeste de un pequeño valle, mientras que, en profundidad, se comunican siguiendo la veta Esperanza. Los accesos principales se localizan a una altitud de 4.500 m aproximadamente (figura 7).



Figura 7: Uno de los autores en la entrada oeste de la mina Esperanza. Fotografía: G. Iriarte.

En esta mina se explotan diversas estructuras, siendo la principal la veta Esperanza. La veta Esperanza está reconocida a lo largo de más de 1.500 m, en cotas superiores a los 4.400 m de altitud. Tiene un rumbo general W-E, buzando 70° a 80° al sur; sin embargo, en el extremo este, la orientación es de N75°W, mientras que en el extremo oeste, tiene una dirección N80°E. Observando la disposición de los principales clavos mineralizados, la veta presenta una morfología en rosario, pasando de anchos centimétricos rellenos con panizo (en inglés *gouge*) a anchos de varios de metros (hasta 4 m) con relleno de minerales de mena, ganga y roca de caja (Pérez-Puig, 2008a).

En la figura 8 se observan los estériles y la plaza del nivel 595, mientras que a media ladera se reconocen las labores de los niveles superiores. En los barrancos se reconocen alteraciones argilíticas con caolinita, asociada a vetas. Al fondo, a la derecha, las alteraciones se corresponden a la expresión superficial de las vetas del área de Rico Antimonio. En superficie también se reconoce una alteración propilítica débil, con diseminación de pirita sobre la que se superpone la alteración supergénica. En profundidad la alteración pasa a cuarzo-sericita, con una ligera silicificación de la matriz de lavas y fenocristales de plagioclasas alterados, así como impregnaciones de pirita en forma de diseminaciones, puntos, reemplazos, venilleos y rellenos de craquel brechas de fractura (Pérez-Puig, 2008a).



Figura 8: Vista del área oeste de la veta Esperanza, desde la bocamina del nivel 630.



Figura 9: Vista de la veta Esperanza en el interior de la mina (nivel 630), englobando un gran fragmento de roca. Ancho de la zona mineralizada: 1,20 m.

La mineralogía de mena se compone de galena argentífera y esfalerita marrón, con menor tetraedrita, en ganga de cuarzo y barita, además de yeso en zonas distales y en muchos casos con fragmentos de roca encajante englobados por la estructura (figura 9).

Además se ha observado, asociado con la esfalerita, rejalgar, junto con estibnitas de gran tamaño (>1 cm) acompañadas de cuarzo y yeso, en el extremo superior este de la veta.

### **Mina Chonta (veta Rublo)**

La veta Rublo (VR) es una de las principales estructuras de la mina Chonta. En superficie puede reconocerse a lo largo de 1.000 m de longitud (figura 10), de los cuales 753 m son productivos, llegando a 270 m de extensión vertical; tiene una dirección promedio de N58°-80°E y buzamientos de 60° a 70° al sureste, con potencias que varían entre los 0,3 m y los 2,2 m (Yparraguirre, 2008).



Figura 10: Vista panorámica del entorno de la veta Rublo, con indicación de su afloramiento.

La estructura en general se presenta brechificada, con mena de esfalerita, galena, calcopirita, en núcleos, diseminaciones y bandas irregulares que engloban inclusiones de roca argilizada; la ganga está constituida por cuarzo, pirita y minerales de arcilla (Yparraguirre, 2008). En la veta Rublo se ha reconocido un zonamiento según la vertical: el cobre y la plata predominan en las labores superiores, mientras que el zinc y el plomo aumentan en profundidad (Yparraguirre, 2008).

La roca de caja se compone de rocas volcánicas y brechas de composición andesítica a dacítica. Hacia superficie, predomina una alteración argílica débil a moderada, que se superpone a la filica presente en profundidad. La roca de caja hacia el extremo oeste cambia rotundamente de una brecha andesítica a una riolita, donde la estructura se ramifica y en donde disminuyen las leyes de mineral (Yparraguirre, 2008).

### **Mina Bienaventurada (veta Bienaventurada)**

La mina Bienaventurada, operada por la CMCSA, se encuentra al norte/noreste de la mina Chonta. La principal estructura explotada en esta mina es la Bienaventurada, además de las vetas Sur 1, Tatiana y Ramal Bienaventurada.

La veta Bienaventurada se ha reconocido en una longitud superior a los 1.000 m con potencias variables desde unos centímetros hasta 3 m (figura 11). Tiene una dirección promedio de N52°-65°E, buzando entre 55° y 75° al sureste. La cota de emplazamiento, con posibilidad de desarrollo en profundidad, ha sido entre los 4.300 m y los 4.550 m sobre el nivel del mar. Presenta una morfología en rosario, al igual que la veta

Esperanza. En este caso, las zonas de apertura se corresponden con la intersección con otras estructuras (Yparraguirre, 2005).



Figura 11: Vista panorámica de las vetas Bienaventurada y ramales. En primer plano, a la izquierda, se localiza la veta Rublo. Se han marcado los afloramientos de las vetas para facilitar su comprensión.

En general, se observa una brecha hidrotermal con clastos de la roca encajante en una matriz compuesta por abundante cuarzo y diversos sulfuros de Zn, Pb, Ag y Cu y, en menor medida, sulfosales de Pb y Ag. Hay zonas en las que la veta se presenta en forma de relleno hidrotermal con la típica morfología bandeada (figura 12) y relleno de vetillas (Yparraguirre, 2005).



Figura 12: Bandeado y relleno de vetillas subparalelas en la veta Bienaventurada. Ancho de la zona mineralizada: 0,75 m.

Como se observa en la figura 11, la disposición de los ramales indica que la veta Bienaventurada se formó por un cizallamiento con una componente dextral.

### **Mina Coquito**

La mina Coquito se localiza al norte de las minas Chonta y Caudalosa Chica, siguiendo el curso del río Escalera (figura 13). La mineralización es similar a la de estas minas, pero de menor entidad. A finales del año 2006, cuando fue visitada por uno de los autores, se encontraba parada, aunque los dueños deseaban poder reabrirla y/o arrendarla.



Figura 13: Vista panorámica, mirando al suroeste, de las minas de Coquito, en la ladera noroeste del río Escalera.

### **Mina El Palomo**

Las minas del cerro El Palomo se localizan en el extremo suroeste del distrito, ya en la zona que queda al oeste de la falla Chonta. En esta zona, las mineralizaciones poseen un mayor contenido en plata. La mineralización consiste en galena, esfalerita y calcopirita, con menor presencia de tetraedrita y sulfosales de plata (pirargirita, proustita y polibasita) y argentita, en ganga de rodocrosita, rodonita, adularia, calcita y cuarzo (Inga, 2002, Hyrsl, 2008). Desgraciadamente, las labores están abandonadas y no parece ser que existan planes de reapertura por parte de las compañías que trabajan en el distrito.

Pero no todo son malas noticias, buscadores locales están recuperando abundantes muestras de rejalgar, pararejalgar, estibnita, esfalerita y otros sulfuros desde el año 2000 (Hyrsl & Rosales, 2006, Hyrsl, 2008).

### **Minas Angélica y Elsa**

Las minas Angélica y Elsa se encuentran justo al norte del poblado de Huachocolpa, en la zona de contacto entre rocas intrusivas y las rocas calcáreas del grupo Pucará (figura 14). Desde el punto de vista mineralógico destacan por la presencia en sus alrededores de geocronita.



Figura 14: Antiguo valle glaciar ocupado actualmente por el río Opamayo. Al fondo, en la ladera izquierda, afloran los materiales del grupo Pucará, donde están emplazadas las minas Angélica y Elsa.

## MINERALOGÍA

El orden seguido en la descripción de los minerales ha sido:

1. Minerales de mena principales (> 5% de abundancia),
2. Minerales de mena accesorios (< 5% de abundancia),
3. Sulfuros no explotables,
4. Minerales de ganga,
5. Minerales de alteración en las estructuras,
6. Minerales de alteración sobre la roca encajante,
7. Minerales formadores de la roca encajante.

Y, para cada mineral, se ha comenzado con las muestras procedentes de la veta Esperanza, después de la veta Bienaventurada, veta Rublo y se finaliza con las de la mina Palomo. En algunos casos, se ha considerado interesante completar la información con el resto de muestras procedentes del distrito.

Para las descripciones de minerales de veta Esperanza se ha recurrido a Pérez-Puig (2008a y 2008b), de la veta Bienaventurada a Yparraguirre (2005), de la veta Rublo a Yparraguirre (2008) y de la mina Palomo a Inga (2002); Hyrsl & Rosales (2006), Hyrsl (2008) y Pérez-Puig (2008b). Para las muestras referidas al distrito de Huachocolpa, se ha consultado a Hyrsl (2011) y Hyrsl *et al.* (2010).

### **Esfalerita (ZnS)**

Las muestras procedentes de la mina Esperanza aparecen junto con cristales de galena en una matriz compuesta fundamentalmente por barita y, en menor medida, cuarzo. En

estas muestras existe un predominio de la esfalerita sobre la galena. Observaciones en muestra de mano permiten distinguir tres variedades de esfalerita (Pérez-Puig, 2008a y 2008b):

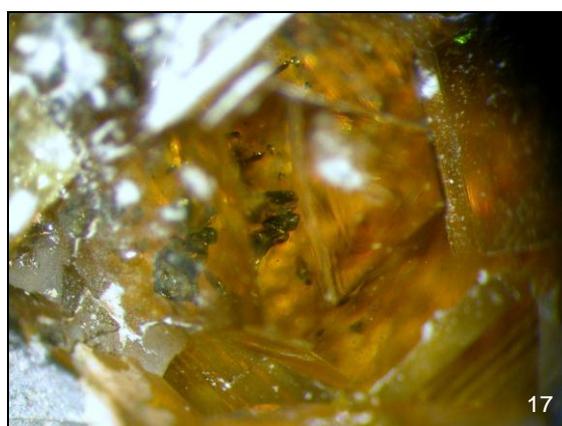
1. Esfaleritas más oscuras, generalmente de mayor tamaño, no siendo raro cristales de más de 4 cm de diámetro, presentes en la zona oeste de la veta (figuras 15 y 16).
2. Esfaleritas rubias, de pequeño tamaño (hasta 1 cm), con brillo vítreo, colores rojizos y transparentes. Está asociada a pequeños octaedros de galena, con una matriz muy rica en barita, con cuarzo y calcita recubierta por una pátina de óxidos. Se ha observado en muestras recogidas en la zona central de la veta.
3. Esfaleritas, también rubias y de pequeño tamaño, pero con colores más verdosos; asociados a cubos de galena, en una matriz con barita y un poco de cuarzo (figura 17). Estas esfaleritas están presentes en la zona este del yacimiento.



Figura 15: Cristales de esfalerita y galena, en ganga de cuarzo y barita (reemplazada parcialmente por cuarzo). Mina Esperanza. Longitud del ejemplar: 9,5 cm.



16



17

Figura 16: Cristales de esfalerita, sobre matriz de cuarzo reemplazando barita. Mina Esperanza. Longitud del ejemplar: 5,3 cm.

Figura 17: Cristal de esfalerita, de color verdoso, con inclusiones sólidas de galena. Mina Esperanza. Longitud del cristal: 0,35 cm.

Sin embargo, observando los cristales de esfalerita con microscopía de luz reflejada, sólo se han podido distinguir dos tipos (Pérez-Puig, 2008a):

1. Esfalerita rojiza, de pequeño tamaño, en muestras de zonas distales de la veta, dentro de secuencias rítmicas con cuarzo y cristalizaciones fibroso-radiales de estibnita en el núcleo del cristal.
2. Esfalerita parda beige, con cristales de gran tamaño, presentes en todo el yacimiento, asociados a cuarzo y barita, en ocasiones presentándose como fragmentos de brecha hidrotermal o como cristales en espacios abiertos. Se trata de esfaleritas con una transparencia muy elevada.

Por otro lado, en la veta Bienaventurada, la esfalerita se presenta de dos formas (Yparraguirre, 2005):

1. Blenda rubia: se presenta cristalizada, de forma compacta, en núcleos y franjas; en las zonas de falla se reconoce de manera diseminada. Generalmente se asocia a la galena y calcopirita.
2. Marmatita: esfalerita con alto contenido en Fe. Se reconoce por su coloración negruzca y brillo submetálico. Se presenta a modo de núcleos masivos y compactos.

Además de aparecer en mina Esperanza, en la mina Palomo también se encuentran bellos ejemplares cristalizados de esfalerita. De todas las muestras observadas, sólo se puede describir una familia de esfaleritas, con tamaños entre 2 y 3 cm y de color pardo (figura 20) (Pérez-Puig, 2008b).

Hyrsl & Rosales (2006) citan el hallazgo en 2003 de cristales de rejalgos asociados a tetraedrita, galena y esfalerita. En algunos casos, estas esfaleritas se presentan recubiertas por pequeños cristales de tetraedrita y, en otras ocasiones, la esfalerita se presenta como agregados botroidales brillantes de color marrón chocolate, compuestos por microcristales de esfalerita (Hyrsl, 2008).

Se tiene constancia de un nuevo hallazgo (en 2010 ó 2011) de cristales de esfalerita de color negro, maclados, y tamaños de hasta 5 cm; asociados a cristales de tetraedrita de hasta 1 cm, cubiertos por calcopirita (Hyrsl, 2011).

### **Galena (PbS)**

La galena es un mineral muy común en esta clase de yacimientos. Los cristales observados en la veta Esperanza presentan un color gris claro, un fuerte brillo metálico, pero como en muchos casos están recubiertos por pequeños cristales de galena, presentan una apariencia “arenosa”. Estos cristales se pueden clasificar en al menos tres familias diferentes (Pérez-Puig, 2008b):

1. Cristales de galena de hasta 1 cm, generalmente cubo-octaédricos, y en ocasiones octaédricos, presentes en la zona oeste del yacimiento (figura 18).
2. Cristales similares a los de la zona oeste pero con tamaños inferiores y en algunos casos con las caras del cubo más desarrolladas, asociados a abundante barita, parcialmente recubierta o reemplazada por cuarzo, y calcita con pátinas de óxidos de Fe (figura 19) que aparecen en la zona central de la veta, predominando sobre la esfalerita.
3. Cristales cubo-octaédricos, con aristas menores a 0,5 cm, presentes en la zona este del yacimiento, asociados a esfalerita. Se presentan a modo de cristales o fragmentos englobados por la esfalerita (figura 17).



Figura 18: Cristales octaédricos y cubo-octaédricos de galena, cubiertos por una segunda generación de cristales de galena microscópicos, que le confieren una textura "arenosa", asociados a barita reemplazada por cuarzo, en matriz de roca volcánica. Mina Esperanza. Longitud del agrupamiento: 5,5 cm.

Observada al microscopio, la galena se presenta asociada con cuarzo, barita, esfalerita, tetraedrita, calcopirita y el resto de minerales de mena. Se encuentra intercrecida con cuarzo, rellenando espacios en éste. Las relaciones texturales indican una deposición contemporánea o ligeramente posterior con el cuarzo y previa a la esfalerita. En ocasiones se observa el crecimiento de bourbonita a través de los planos de exfoliación (Pérez-Puig, 2008a).



Figura 19: Pequeños cristales de carbonatos, con una pátina de óxidos que le dan coloración amarilla, junto con un octaedro de galena, en una matriz de barita y cuarzo. Mina Esperanza. Tamaño del cristal de galena: 0,5 cm.

En algunos casos, se han reconocido galenas con anisotropismo marcado, consultando bibliografía especializada, indican que existen casos en que pueden tenerse galenas anisótropas debido a que en su composición hay abundante plata y/o antimonio (Picot & Johan, 1982). Para confirmar que se trata de galena, se realizó un estudio de microreflectometría espectral, lo que confirmó la especie (Pérez-Puig, 2008a). Teniendo en cuenta la relación con la tetraedrita y esta propiedad, se puede entender los contenidos en plata presentes en la veta Esperanza.



Figura 20: Cristales de galena y esfalerita, recubiertos por seligmannita; además la esfalerita está recubierta parcialmente por una pátina de oropimente, en matriz de cuarzo y barita. Mina Palomo. Tamaño del ejemplar: 8 cm x 6 cm.

En la veta Bienaventurada, se observa la galena cristalizada, asociada a la esfalerita y calcopirita, así como de forma masiva, en núcleos, venas y disseminaciones. En general, es más abundante en los niveles superiores (Yparraguirre, 2005).

En la mina Palomo también se han encontrado muestras de galena. En general, el tamaño de los cristales es superior al de mina Esperanza, teniendo un color más oscuro y una morfología más complicada (figuras 20 y 21), en algunos casos por maclado. Las muestras observadas de galena se presentan en asociación con rejalgar y oropimente. Hyrsl & Rosales (2006) ya detallan la aparición de galena en esta mina, al describir el hallazgo en 2003 de cristales de rejalgar asociados a tetraedrita, galena y esfalerita. Sin embargo, los mejores cristales aparecieron a finales del año 2006, con formas cubo-octaédricas de hasta 2 cm con irisaciones en la superficie, a la que los vendedores peruanos denominan galena “pecho paloma” (Hyrsl, 2008).



Figura 21: Cristales de galena con crecimiento esquelético, y cubiertos parcialmente por pequeños cristales de rejalgar y seligmannita. Mina Palomo. Tamaño del ejemplar: 5,5 cm x 4 cm.

### **Calcopirita** ( $\text{CuFeS}_2$ )

La calcopirita, junto con la tetraedrita, es la principal mena de cobre en las minas Esperanza y Bienaventurada, aunque al encontrarse el cobre en concentraciones tan bajas no es interesante su recuperación y las muestras sólo son observables al microscopio.

En la veta Esperanza, la calcopirita se encuentra como masas asociadas a los sulfuros del evento principal de mineralización en forma de intercrecimiento o como exsoluciones y relleno de fracturas en la tetraedrita y/o esfalerita. En el primer caso, la deposición de la calcopirita es previa a la de la galena y la esfalerita, aunque llega a solaparse con la galena. Y en el segundo (textura de relleno y reemplazo a través de fracturas), la calcopirita es claramente posterior tanto a la tetraedrita como a la esfalerita y galena (Pérez-Puig, 2008a).

En la veta Bienaventurada ocurre en forma masiva, o como núcleos y venillas, asociada a esfalerita y galena. Se puede observar una mayor abundancia en los extremos E y W de los niveles superiores (Yparraguirre, 2005).

Por otro lado, en la mina Palomo se han observado muestras, extraídas en 2006, con cristales de calcopirita de hasta 3 cm que, desgraciadamente, presentan un brillo mate por el crecimiento de pequeños cristales de tetraedrita epitaxiales sobre la superficie (Hyrsl 2008).

**Bornita** ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )

La bornita se ha detectado, a nivel microscópico, asociada a la calcopirita en la veta Rublo (Yparraguirre, 2008).

**Cobres grises**

Bajo la denominación genérica de “cobres grises” se designa la serie de sulfosales de cobre con hierro, plata y zinc cuyos extremos son la tetraedrita (sulfosal de antimonio) y tennantita (sulfosal de arsénico).

No se ha podido observar la presencia de cobres grises en la mina Palomo, pero se sabe de su aparición gracias a Hyrsi & Rosales (2006), quienes citan el hallazgo en 2003 de cristales de rejalgar asociados a tetraedrita, galena y esfalerita. Desde el punto de vista metalogenético, era esperable la presencia de tetraedrita debido a la presencia de otras sulfosales (argentíferas) en la mina; además, la presencia de estos minerales en el resto del distrito hace más probable la aparición de estas especies.

**Tetraedrita** ( $[\text{Cu},\text{Fe},\text{Ag},\text{Zn}]_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ )

Se tiene constancia de la presencia de este mineral en la mina Esperanza gracias a los levantamientos geológicos llevados a cabo por geólogos de la mina, sin embargo, no se ha podido obtener ninguna muestra de mano con la presencia de este mineral, aunque sí fue posible su observación en las muestras del yacimiento que posee el departamento de geología de la mina.

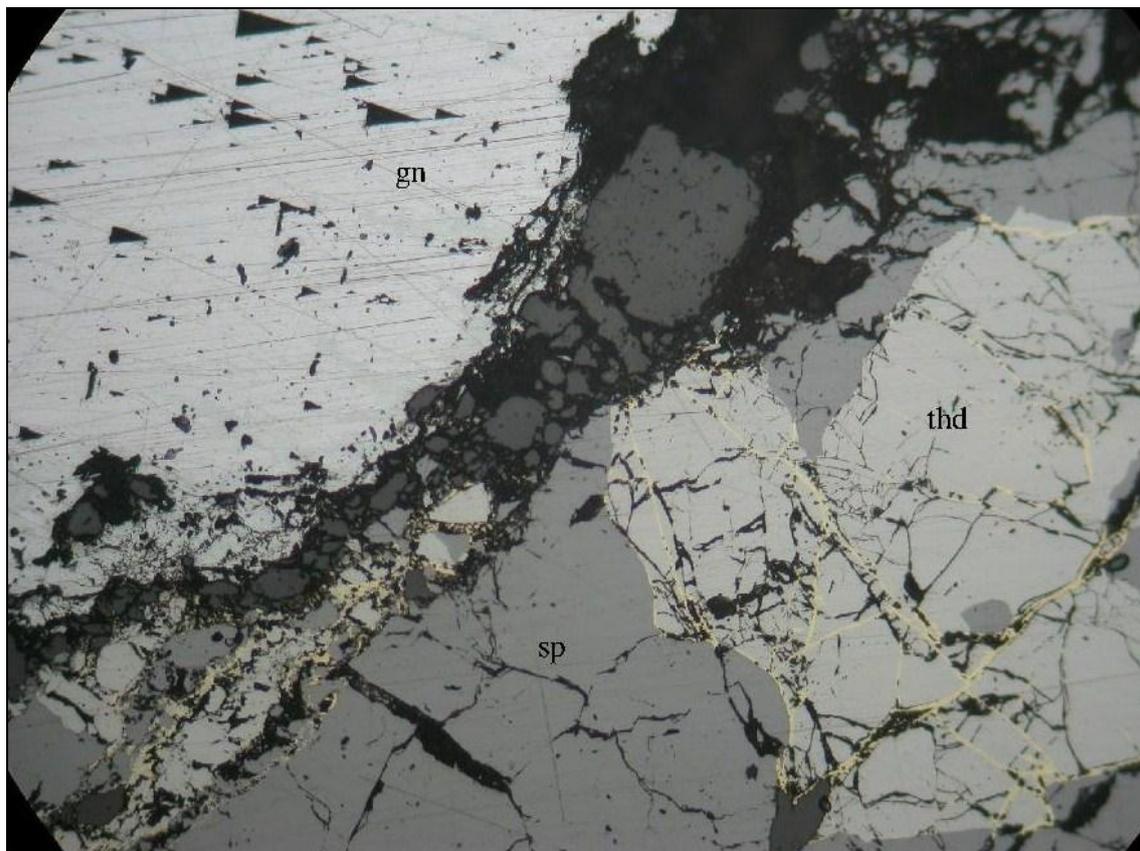


Figura 22: *Cristal de tetraedrita "thd", englobado por esfalerita "sp" y galena "gn", con fracturas rellenas de calcopirita (amarillo). Luz reflejada, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,8 mm.*

Al microscopio, se encuentra intercrecida con calcopirita, marcasita, esfalerita, galena, bournonita y jamesonita en forma de granos alotriomorfos o, más frecuentemente, como masas intercrecidas y, en muchos casos, rodeada por granos de galena y/o esfalerita (figura 22). En ambos casos se debería efectuar un análisis químico para confirmar la especie y descartar que sea la variedad argentífera (freibergita).

También está citada la tetraedrita en la veta Bienaventurada, sin embargo, los estudios con microscopía electrónica de barrido han detectado cantidades apreciables de plata, tratándose, por tanto, de la variedad freibergita, que se describe a continuación.

Por otro lado, Hyrsl & Rosales (2006) citan la presencia de tetraedrita junto con esfalerita, galena y rejalgar. Por falta de estudios no se puede establecer si es tetraedrita, o por el contrario, como se debiera esperar por el gran contenido en plata de estas minas, se trate de freibergita. Hyrsl (2008) cita el hallazgo a finales de 2006 de *agregados esféricos de tetraedrita formados por docenas de cristales tetraédricos de hasta 1 cm*; además, como ya se ha comentado, la tetraedrita aparece en crecimientos epitaxiales sobre la calcopirita y, además, también sobre la esfalerita. En un reciente hallazgo, descrito para la esfalerita, se obtuvieron ejemplares de hasta 1 cm de tetraedrita, asociados a esfalerita negra maclada, y cubiertos por una fina costra amarilla de calcopirita (Hyrsl, 2011).

#### **Freibergita** ( $[\text{Ag,Cu,Fe}]_{12}[\text{As,Sb}]_4\text{S}_{13}$ )

Se ha localizado únicamente en la mina Bienaventurada, donde se encuentra en forma masiva y diseminada, con colores entre el gris verdoso y el gris acero, con brillo metálico, raya de colores pardos a marrón rojizos y dureza entre 3 y 4,5 según la escala de Mohs. Se encuentra distribuida por toda la veta, especialmente en los niveles más altos. Se presenta alterando a la esfalerita y a la galena (Yparraguirre, 2005) (figuras 23 y 24).

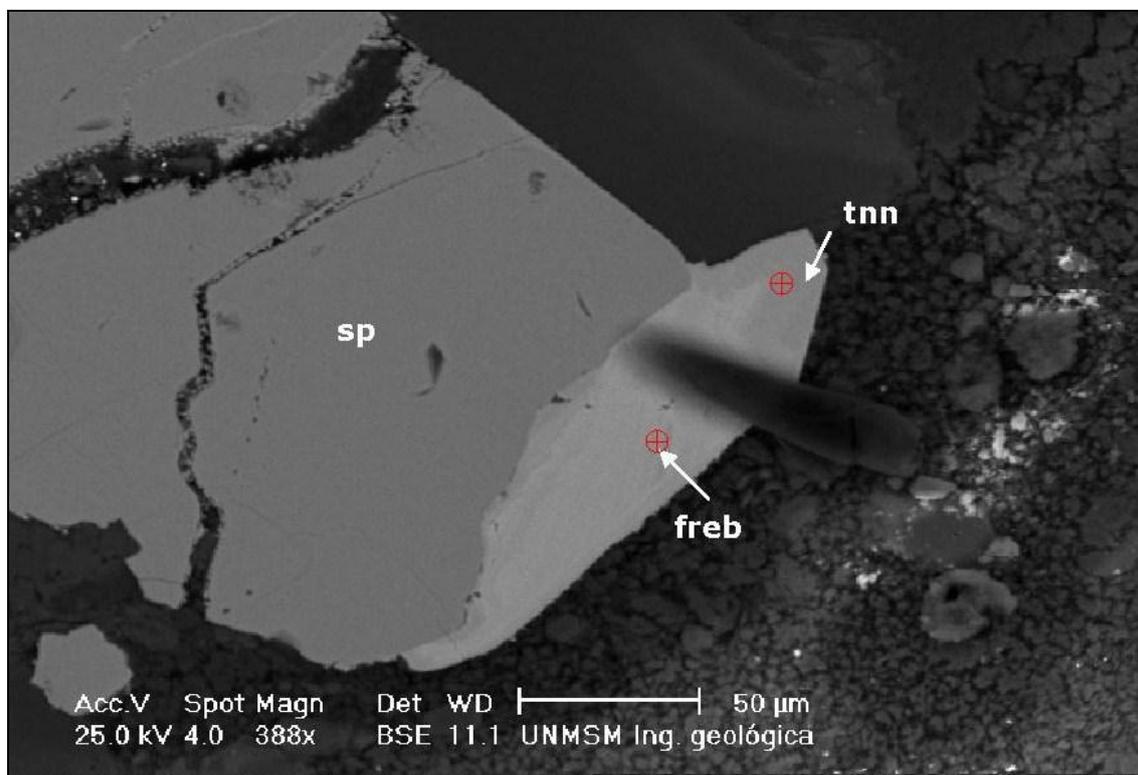


Figura 23: Imagen SEM que muestra freibergita "freb" (gris claro) y tennantita "tnn" (gris intermedio), reemplazando a la esfalerita "sp" (gris oscuro). Mina Bienaventurada.

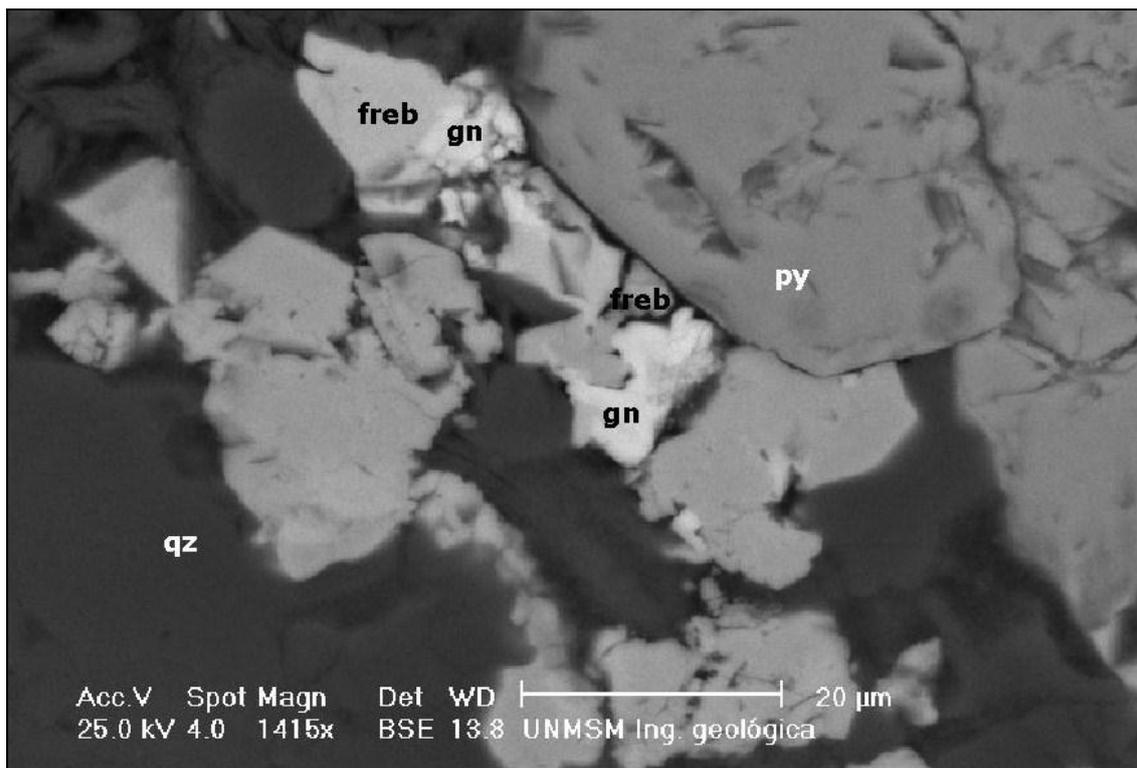


Figura 24: Imagen SEM que muestra freibergita "freb" sustituyendo a la galena "gn". También se observa pirita "py" y una ganga compuesta por cuarzo "qz". Mina Bienaventurada.

#### **Tennantita** ( $[\text{Cu,Fe}]_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ )

Este mineral se ha reconocido únicamente en la veta Bienaventurada, mediante estudios de microscopía electrónica de barrido. Se presenta en forma masiva y diseminada, de color gris verdoso a gris acero. Es menos común que la tetraedrita (freibergita) y se reconoce en las zonas donde existe mayor cantidad de ésta. Se ha observado sustituyendo a la esfalerita (Yparraguirre, 2005) (figura 23).

#### **Argentotennantita** ( $[\text{Ag,Cu}]_{10}[\text{Zn,Fe}]_2[\text{As,Sb}]_4\text{S}_{13}$ )

Se trata de un mineral bastante rico en plata, comparando con los otros cobres grises, que se ha localizado exclusivamente en los niveles intermedios y superiores de la zona suroeste de la mina Bienaventurada (Yparraguirre, 2005). En esta mina se encuentra reemplazando a la galena y esfalerita (figura 25).

#### **Polibasita** ( $[\text{Ag,Cu}]_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$ )

La polibasita se ha detectado, a nivel microscópico, en la veta Esperanza asociada a esfalerita, galena, pirita y calcopirita (figura 26). Debido a la imposibilidad de distinguir qué composición tenía dicha plata roja bajo el microscopio petrográfico, se recurrió a estudiarla mediante microreflectometría espectral, obteniéndose el espectro de reflectancias de polibasita (Pérez-Puig, 2008a).

Hyrsl (2008) cita como menas de plata en la mina Palomo la polibasita, además de la pirargirita y la proustita.

#### **Pirargirita** ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ) y **Proustita** ( $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ )

Tal y como se ha citado previamente, Hyrsl (2008) indica la presencia de pirargirita y proustita en la mina Palomo, pero no detalla la aparición de muestras con interés coleccionístico.

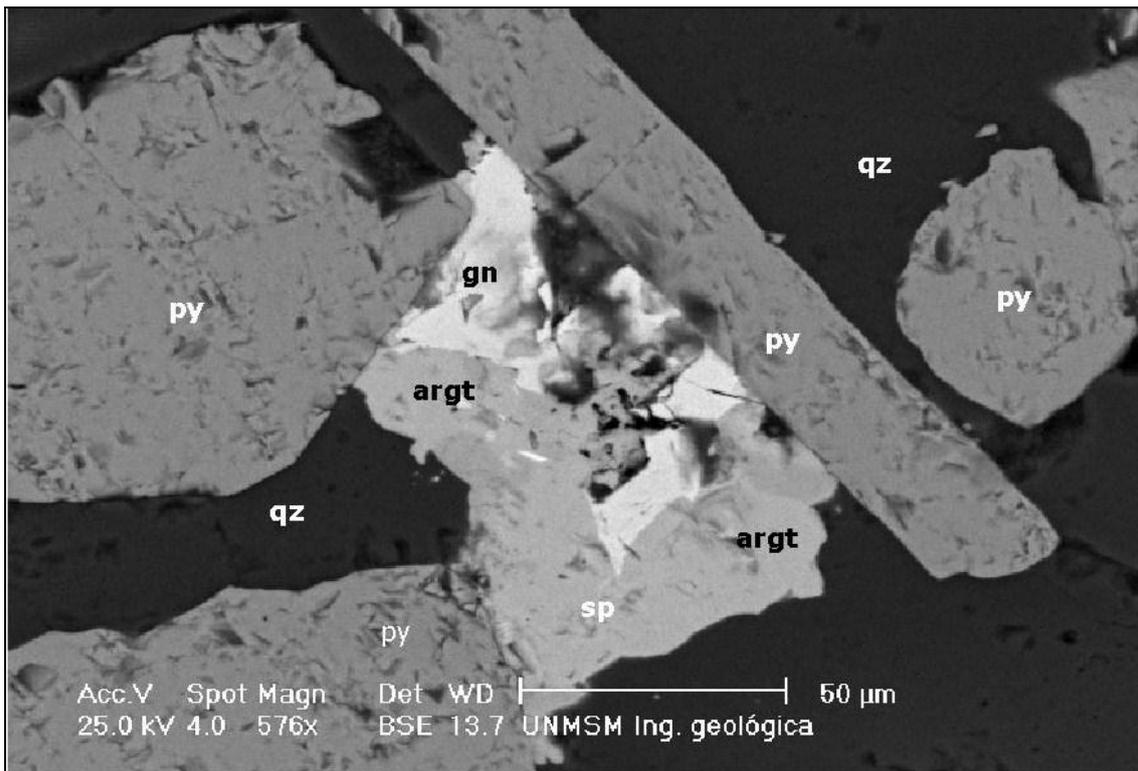


Figura 25: Imagen SEM que muestra argentotennantita "argt" reemplazando cristales de galena "gn" y esfalerita "sp". También se reconoce pirita "py" en una ganga de cuarzo "qz". Mina Bienaventurada.

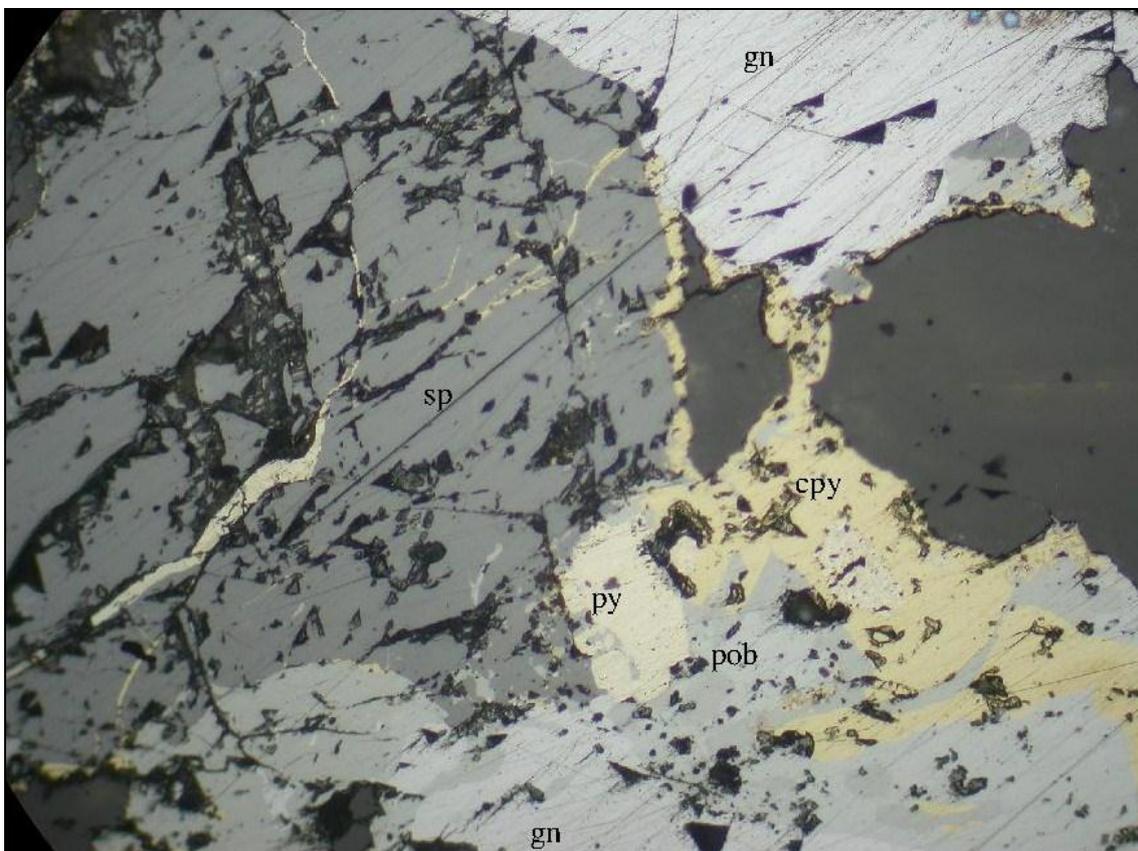


Figura 26: Fotomicrografía mostrando cristales de polibasita "pob" con esfalerita "sf", calcopirita "cpy", galena "gn" y pirita "py". Luz reflejada, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,8 mm.

**Acantita** ( $\text{Ag}_2\text{S}$ )

Inga (2002) también cita como mena de plata en el distrito de Huachocolpa a la argentita, aunque no ha sido posible observar ninguna muestra, ni confirmar dicha afirmación en otras publicaciones.

**Sulfosales de plomo**

A continuación se describen varias sulfosales de plomo que se han encontrado en las vetas Esperanza, Bienaventurada y Rublo, así como en las veta de la mina Palomo. De todas ellas, las únicas de interés coleccionístico son algunas bournonitas procedentes de la veta Esperanza y crecimientos epitaxiales de seligmannita sobre galena de la mina Palomo; el resto se encuentran de manera microscópica y se ha debido recurrir a la utilización del microscopio electrónico de barrido para su caracterización. Las especies localizadas a la fecha son: bournonita, jamesonita, seligmannita, dufrenoyita, jordanita, gratonita y geocronita.

**Bournonita** ( $\text{PbCuSbS}_3$ )

La bournonita es una sulfosal bastante común en depósitos con galena, presente de manera primaria o secundaria reemplazando a la galena. Cuando su origen es netamente hidrotermal, es bastante frecuente la cristalización primaria en maclas en “rueda dentada” que permiten su identificación, tal y como se observa en la figura 27.



Figura 27: *Cristal de bournonita maclada en "rueda dentada" sobre cuarzo. Mina Esperanza. Longitud del cristal: 0,3 cm.*

Mediante la observación al microscopio, se han localizado granos de bournonita asociados a pirita, jamesonita, calcopirita y tretaedrita englobados por galena y, de manera secundaria, alterando a la galena a través de los planos de exfoliación (Pérez-Puig, 2008a) (figura 28).

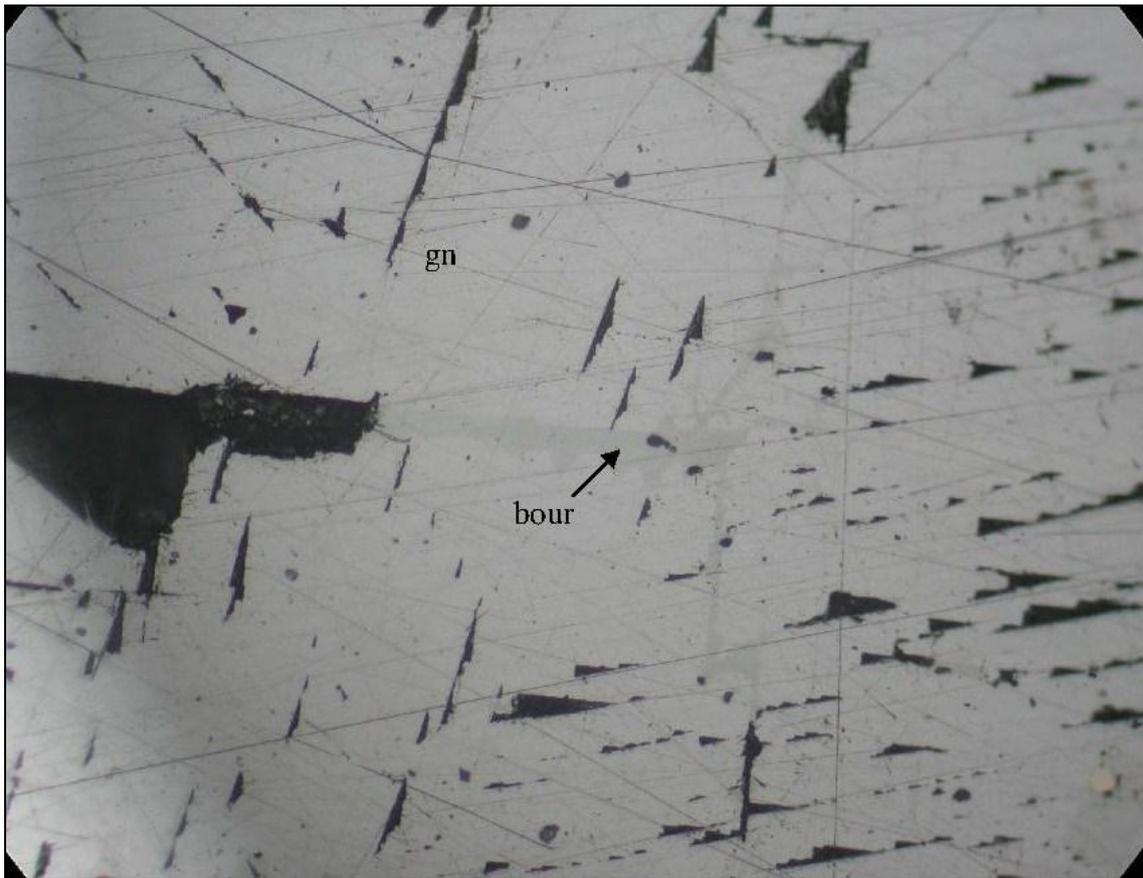


Figura 28: Fotomicrografía de bournonita creciendo a partir de los planos de exfoliación de la galena. Luz reflejada, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,8 mm.

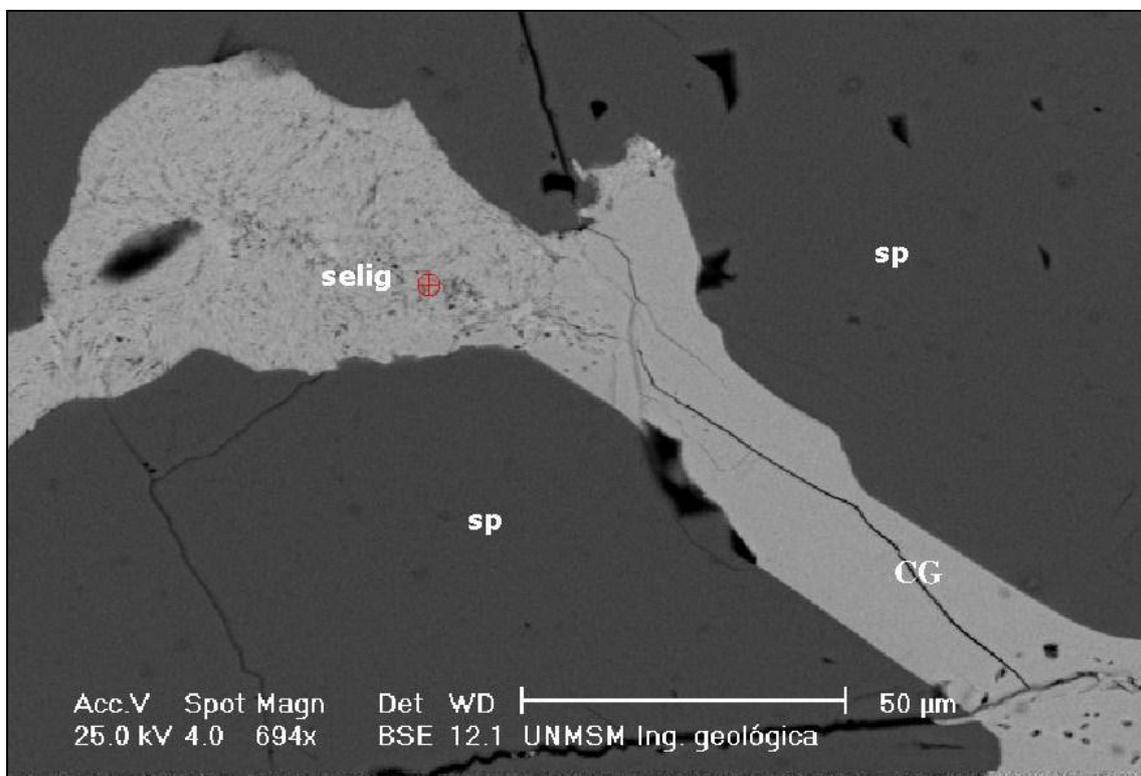


Figura 29: Imagen SEM que muestra seligmannita "selig" y cobres grises "CG" rellenando una fractura en la esfalerita "sp". Mina Bienaventurada.

En la veta Bienaventurada se ha localizado, microscópicamente, la bournonita rellenando espacios y/o alterando a la galena (Yparraguirre, 2005).

Hyrsl *et al.* (2010) citan la presencia de bournonita en Huachocolpa como pequeños cristales tabulares de 5 mm, sobre rodocrosita y, en otros casos, creciendo junto con esfalerita sobre cuarzo.

#### **Seligmannita** ( $\text{PbCuAsS}_3$ )

La seligmannita ha sido observada, de manera microscópica, por Yparraguirre (2005) en la veta Bienaventurada rellenando fracturas en la esfalerita, en algunos casos conjuntamente con cobres grises (figura 29). Se trata de la única sulfosal de plomo que está asociada a la esfalerita, ya que el resto siempre se presentan con la galena.

Hyrsl (2008) en base a una comunicación personal de Anthony R. Kampf (2007), cita la seligmannita, con una presencia relativamente rara, a modo de cristales de menos de 1 mm, muy brillantes, que recubren superficies de esfalerita o galena (figura 20) y que, en algunos casos, se presentan con un crecimiento en estrella, probablemente debido a maclado.

#### **Jamesonita** ( $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ )

La jamesonita se ha encontrado únicamente en la veta Esperanza. Se presenta, también microscópicamente, de manera anecdótica en algunos granos con varios sulfuros (pirita, calcopirita, bournonita y tetraedrita) del episodio principal de mineralización (Pérez-Puig, 2008a).

#### **Dufrenoycita** ( $\text{Pb}_2\text{As}_2\text{S}_5$ )

Yparraguirre (2005) ha detectado la dufrenoycita, en muestras procedentes de la veta Bienaventurada, reemplazando casi completamente pequeños granos de galena, dejando una textura de galena en “islas” (figura 30).

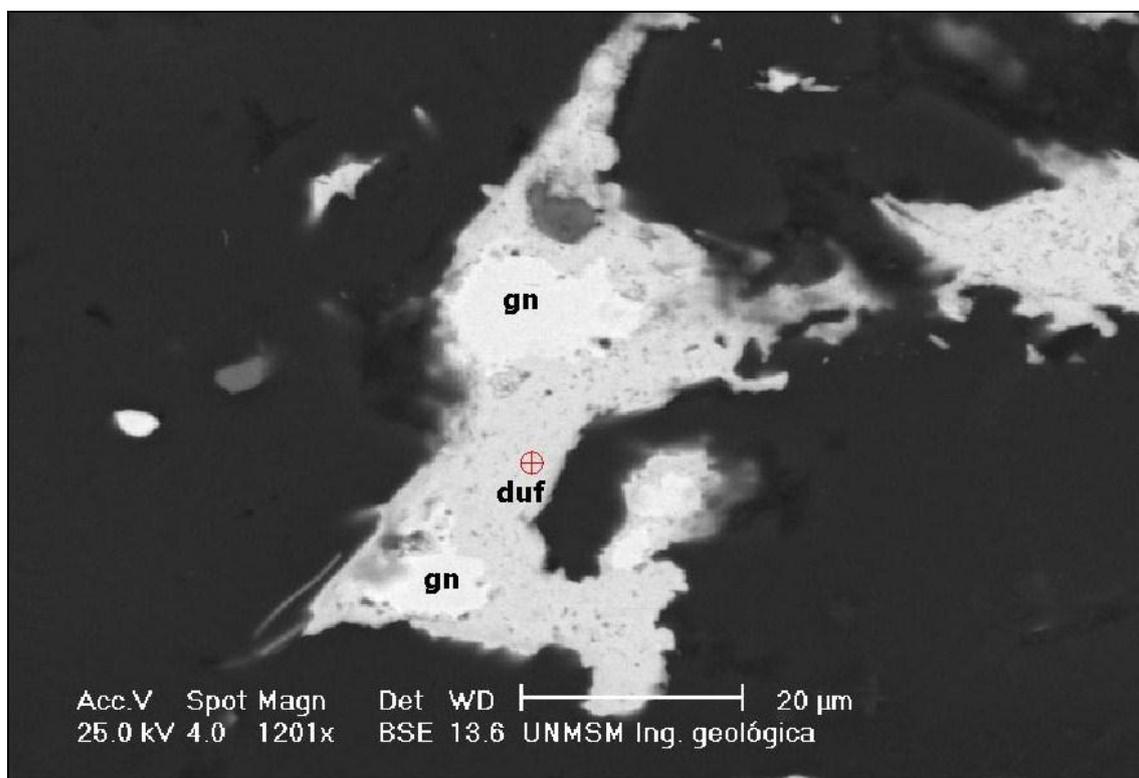


Figura 30: Imagen SEM que muestra dufrenoycita "duf" reemplazando a la galena "gn", que se muestra a modo de "islas". Mina Bienaventurada.

**Jordanita** ( $\text{Pb}_{14}[\text{As,Sb}]_6\text{S}_{23}$ )

La jordanita ha aparecido de manera anecdótica en la mina Bienaventurada reemplazando granos de galena en los bordes (Yparraguirre, 2005) (figura 31).

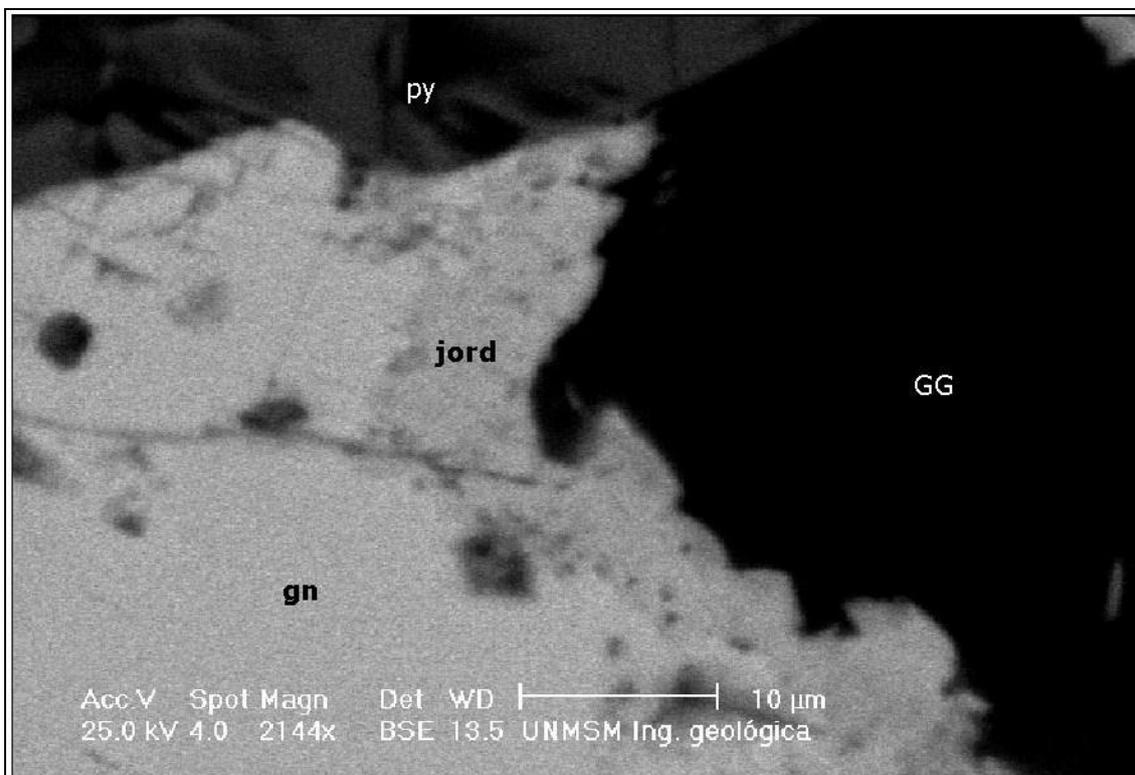


Figura 31: Imagen SEM que muestra a la jordanita "jord" reemplazando a la galena "gn" en los bordes. También se reconocen pirita "py" y cobres grises "CG". Mina Bienaventurada.

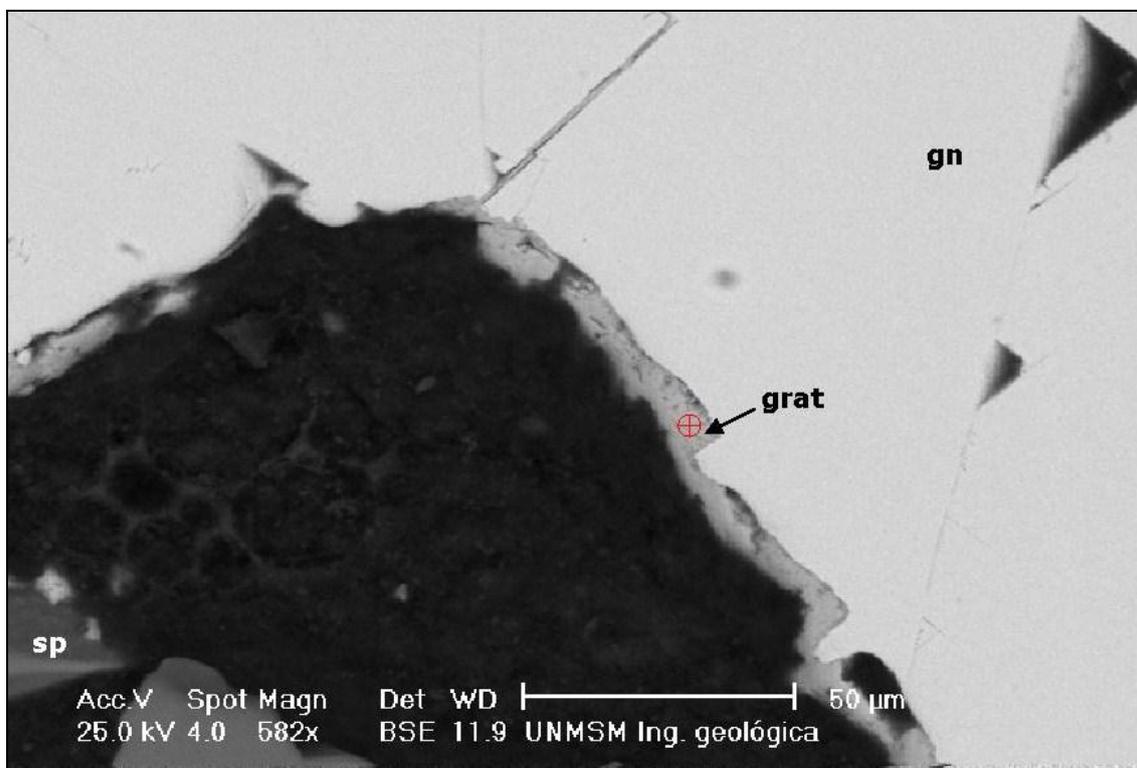


Figura 32: Imagen SEM que muestra a la gratonita "grat" alterando en los bordes y fracturas a la galena "gn". Mina Bienaventurada.

**Gratonita** ( $\text{Pb}_9\text{As}_4\text{S}_{15}$ )

La gratonita, al igual que la dufrenoyita y la jordanita, se ha reconocido alterando a la galena desde los bordes en muestras de la veta Bienaventurada (Yparraguirre, 2005) (figura 32).

**Geocronita** ( $\text{Pb}_{14}\text{S}_5(\text{AsS}_3)_2[(\text{Sb,As})\text{S}_3]_4$ )

La geocronita se puede observar en una zona muy local del distrito, en el entorno de las minas Angélica, Elsa y San Francisco, intercrecida con galena. Según Hyrsl (2011), la geocronita era uno de los principales minerales de mena de la mina San Francisco. En esta zona es bastante abundante y se reconoce por su color rosado y brillo metálico (distinto del de la galena).

**Veenita** ( $\text{Pb}_2(\text{As,Sb})_2\text{S}_5$ )

La veenita ha sido detectada por H.J. Bernhardt mediante estudios de microsonda, en muestras de la veta Rublo (Yparraguirre, 2008).

Además, se tiene constancia que la veenita era un mineral común junto con la geocronita en Huachocolpa (Birnie & Petersen, 1977).

**Guettardita** ( $\text{Pb}_9(\text{Sb,As})_{16}$ )

La guettardita, al igual que la veenita, ha sido caracterizada por H. J. Bernhardt mediante microsonda en probetas de sulfuros de la veta Rublo (Yparraguirre, 2008).

**Pirita** ( $\text{FeS}_2$ )

La pirita es un mineral muy extendido en cualquier ambiente geotectónico. En los yacimientos epitermales se puede encontrar como mineral de alteración por fluidos hidrotermales en la roca encajante o formando parte de la estructura mineralizada. En algunos otros casos, sí se pueden recuperar y obtener ejemplares de pirita para coleccionar, pero no es el caso del distrito de Huachocolpa.

En la veta Esperanza la pirita se presenta como mineral de alteración de la roca encajante en forma de vetillas, en el cemento de brechas hidrotermales, en diseminaciones y como puntos y pequeños núcleos (Pérez-Puig, 2008a). En los casos en que la roca presenta alguna fisura se han llegado a reconocer cristales cúbicos de colores bastante amarillentos que alcanzan hasta 2 mm de arista (Pérez-Puig, 2008b).

En la veta propiamente dicha, la pirita se presenta junto con el cuarzo temprano, con los sulfuros de mena, cortando al cuarzo que acompaña a los sulfuros del principal evento mineralizador, y también en forma de puntos dispersos que van asociados con la calcita póstuma que rellena espacios en la esfalerita o en las vetillas de cuarzo estéril que atraviesan la roca encajante (Pérez-Puig, 2008a).

En la mina Bienaventurada se presenta de igual manera que en la veta Esperanza.

En la mina Palomo la pirita es bastante abundante cuando se presenta con la mena. Se reconoce la pirita por su brillo metálico y color amarillo muy ligero. Sin embargo, en las muestras observadas, se presenta en cubos microscópicos de manera posterior a la galena, ya que está englobando fragmentos de ésta o alterándola. Sobre esta pirita se ha depositado una pequeña capa de cuarzo lechoso y, por último, rejalgar, que se presenta parcialmente alterado a oropimente y menos comúnmente a pararejalgar. En el hallazgo realizado a finales del 2006 de galena “pecho de paloma” (irisada), se pudieron obtener también algunas muestras de piritodros irisados de hasta 1 cm (Hyrsl, 2008).

**Melnikovita (FeS<sub>2</sub>)**

La melnikovita no es exactamente una especie mineral, sino que se trata de una variedad criptocristalina de pirita y marcasita, con morfología botroidal (figura 33). Es un indicador de temperaturas de formación del yacimiento bajas.

En zonas distales de la veta Esperanza se han encontrado crecimientos framboidales de pirita, pero sin textura radiada. Por tanto, no se puede confirmar la especie, sin embargo, la presencia en la misma zona de minerales de baja temperatura (yeso, rejalgar, estibnita) apoyan la posible presencia de esta variedad mineralógica (Pérez-Puig, 2008a).

En la veta Bienaventurada se presenta en la zona noreste de la veta, habiéndose reconocido en los niveles intermedios de la mina (Yparraguirre, 2005) (figura 33).

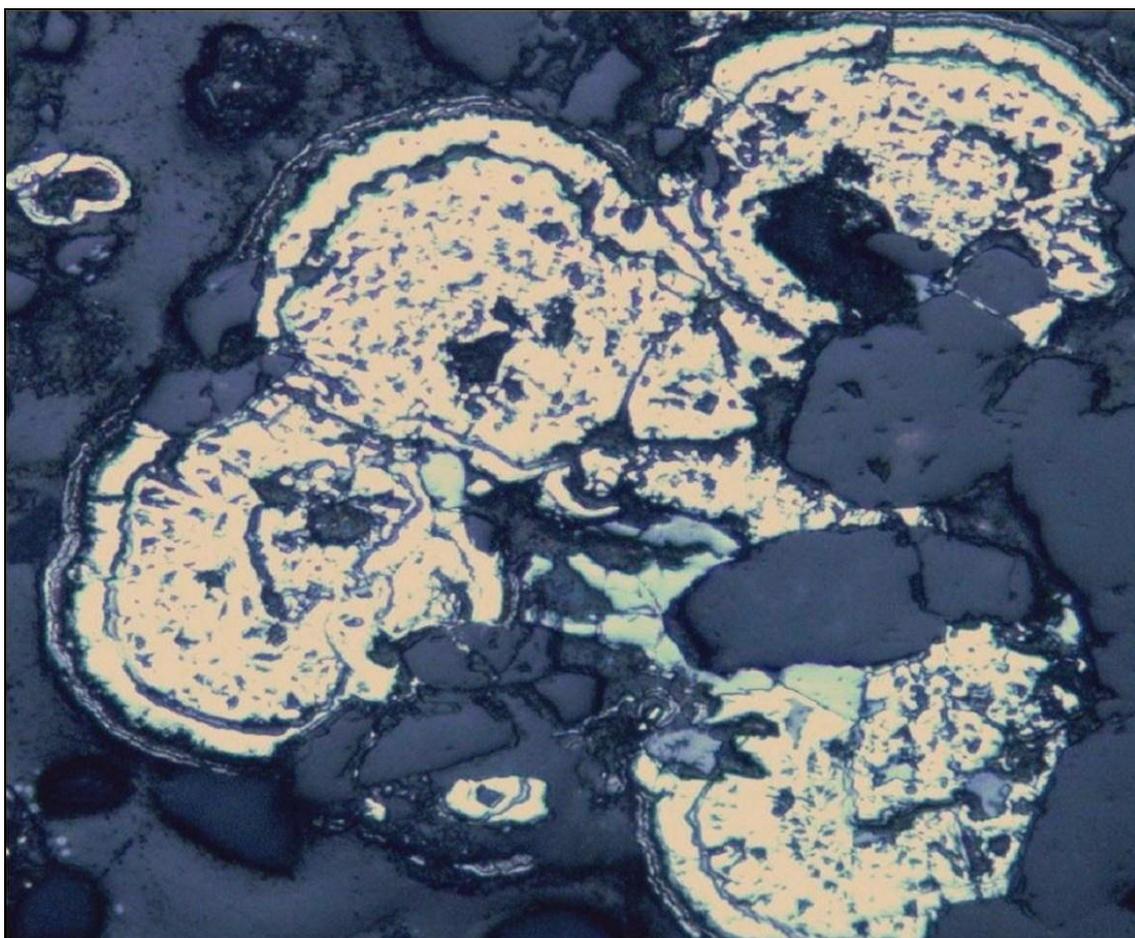


Figura 33: Fotomicrografía que muestra melnikovita (blanquecino liso) rodeando framboides de pirita (blanquecino picado) que, a su vez, engloban al cuarzo. Luz reflejada, nicoles paralelos. Mina Bienaventurada. Campo de visión: 0,8 mm.

**Marcasita (FeS<sub>2</sub>)**

La marcasita es un polimorfo de la pirita levemente magnético que se reconoce al microscopio por su anisotropismo.

En la veta Esperanza se encuentra, vista al microscopio, como grandes cristales, formando núcleos y asociada a la tetraedrita (Pérez-Puig, 2008a) (figura 34).

En la mina Bienaventurada, la marcasita rellena fracturas y/o cavidades de la estructura, de la roca encajante y microfracturas en la pirita (Yparraguirre, 2005).

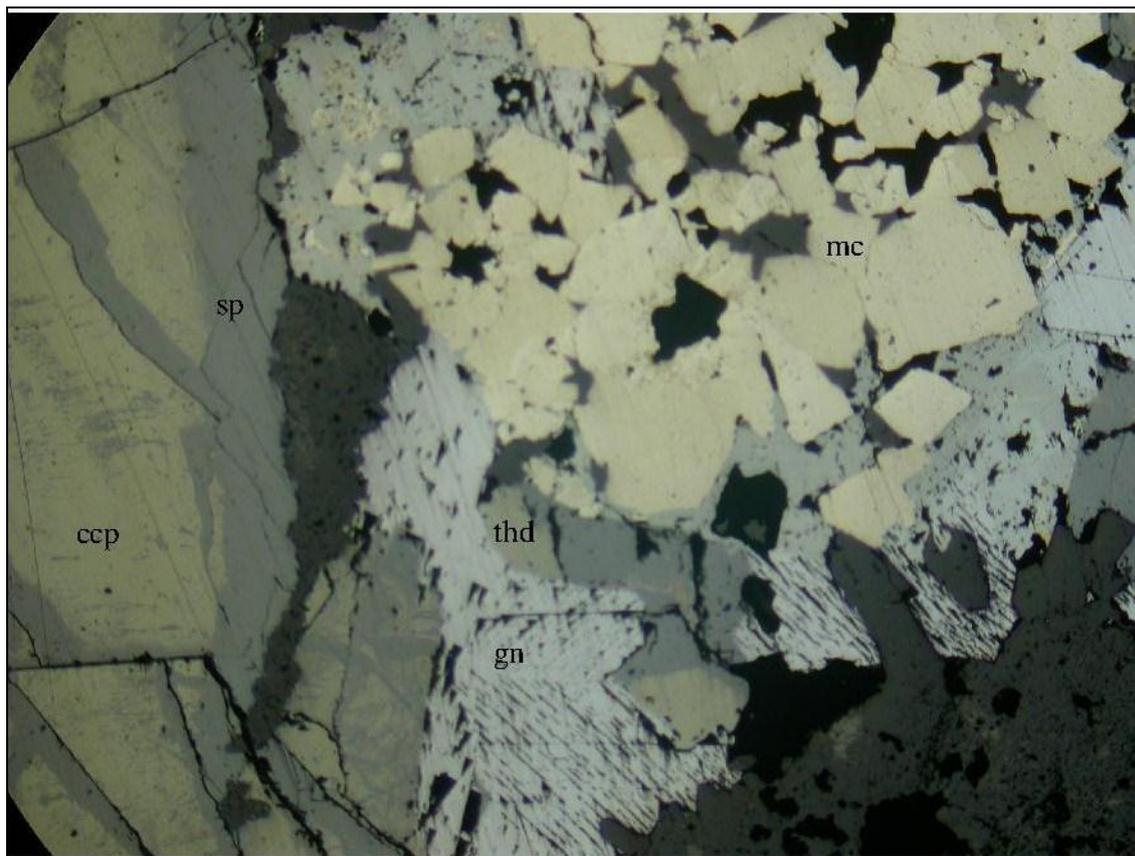


Figura 34: Fotomicrografía mostrando cristales de marcasita "mc" (que tienen una débil birreflectancia), englobados por tetraedrita "thd", calcopirita "ccp", galena "gn" y esfalerita "sp". Luz reflejada, nicols paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 6,2 mm.

En la mina Palomo, al carecer de estudios en detalle, no se ha observado este mineral.

Hyrsl *et al.* (2011) muestran un interesante ejemplar de cristales elongados de marcasita formando grupos redondeados de 1 cm de diámetro, que crecen junto con octaedros de pirita; procedente de Huachocolpa.

### **Rejalgar (AsS)**

El rejalgar, en yacimientos epitermales, se puede encontrar en zonas distales de la veta, asociado con estibnita, yeso, goethita, oropimente y otros minerales.

En la mina Esperanza se han encontrado pequeños ejemplares de rejalgar, que no sobrepasan los 3 mm de longitud, sobre una matriz de pequeños cristales de estibnita en los niveles superiores de la zona este de la veta (figura 35) (Pérez-Puig, 2008a). Hay que tener mucho cuidado con la conservación de estos ejemplares, ya que son extremadamente fotosensibles, alterándose a oropimente en pocas horas. Al microscopio destacan por el brillo y por las reflexiones internas tan marcadas.

En la mina Bienaventurada, su presencia, mínima, se ha observado en todos los niveles. Se presenta, generalmente, en forma cristalizada y menos comúnmente de manera masiva, en venas y diseminaciones junto con otros sulfuros (Yparraguirre, 2005).

De todas formas, los ejemplares más notables de rejalgar procedentes del distrito de Huachocolpa son los que se están extrayendo en la mina Palomo, donde los cristales llegan a alcanzar hasta casi 10 cm de longitud (figuras 21, 36 y 37). No son raros los casos en los que estos ejemplares se encuentran alterados superficialmente o completamente a oropimente (figura 37).



Figura 35: Pequeño cristal de realgar sobre una matriz de estibnita submilimétrica. Mina Esperanza. Longitud del cristal: 2,5 mm.

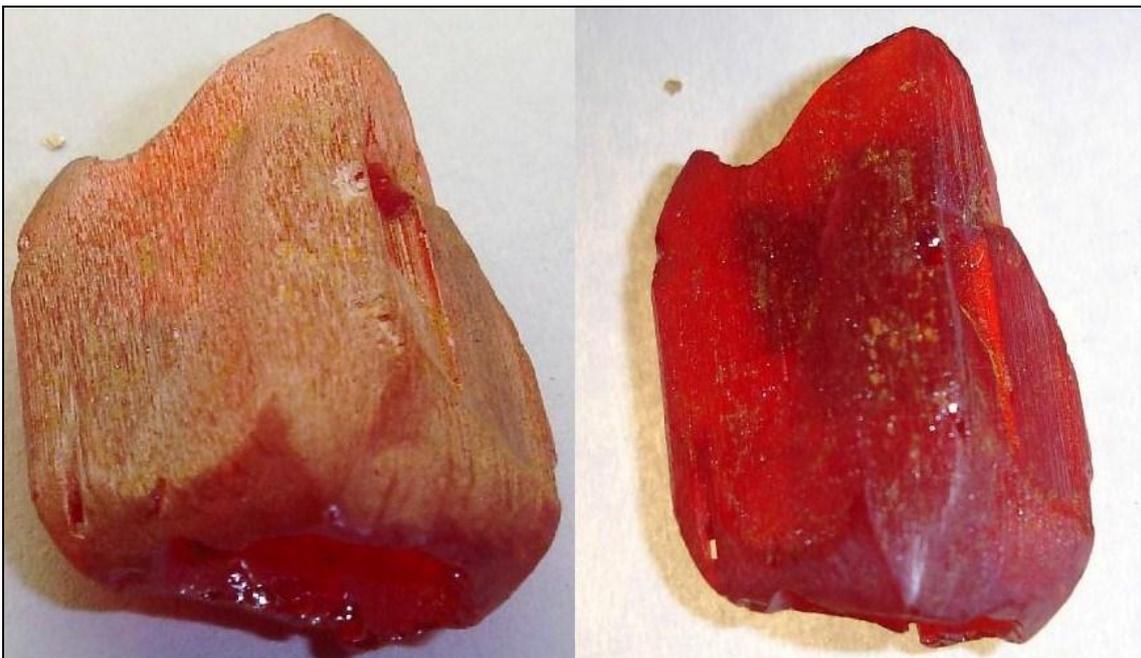


Figura 36: Diferentes vistas de un cristal hueco de realgar. Mina Palomo. Longitud del cristal: 1,4 cm.



Figura 37: Cristales de rejalgar recubiertos por una pátina de oropimente en una matriz de galena, pirita, cuarzo y barita. Mina Palomo. Longitud del cristal principal de rejalgar: 2,8 cm.

Estos cristales son conocidos desde el año 2000, cuando comenzaron a encontrarse bonitos cristales sueltos, en ocasiones con zonas alteradas a pararejalgar naranja. En el año 2003 se tuvo un nuevo hallazgo de rejalgar en la mina Palomo, esta vez asociados a esfalerita, galena y tetraedrita con, en algunas ocasiones, oropimente amarillo y crecimientos botroidales de cinabrio (Hyrs1 & Rosales, 2006).

Recientemente, en el año 2010, tuvo lugar un pequeño hallazgo de crecimientos botroidales de cristales de rejalgar, sobre drusas de cuarzo (figura 38).

### **Pararejalgar (AsS)**

Observando las muestras de rejalgar de la mina Palomo es posible observar los cristales de rejalgar con costras amarillas de oropimente y, raras veces, con otro mineral de color anaranjado. A falta de la posibilidad de confirmar la especie, otros autores caracterizan este mineral como pararejalgar, encontrado alterando cristales de rejalgar o “salpicando” cristales de oropimente (Hyrs1 & Rosales, 2006). Aunque en estudios más recientes (Hyrs1, 2008), se dice que las descripciones del posible pararejalgar se corresponden con una nueva generación de oropimente de color anaranjado (véase la descripción del oropimente de la mina Palomo a continuación). Dicho trabajo, confirma únicamente la presencia de pararejalgar en zonas naranjas, cristalográficamente

paralelas, de algunos cristales sueltos de rejalgar recuperados en el año 2000 (Hyrsl, 2008) y, por tanto, no formados por alteración debida a la exposición a la luz de los ejemplares (Hyrsl *et al.*, 2011).



Figura 38: Pequeños cristales botroidales de rejalgar sobre cuarzo. Mina Palomo. Tamaño del ejemplar: 3 cm x 2,8 cm.

### **Oropimente** ( $\text{As}_2\text{S}_3$ )

El oropimente generalmente se halla como producto de alteración del rejalgar, tal y como sucede al exponer a la luz ejemplares de rejalgar de la mina Esperanza (como los de la figura 35).

En la mina Bienaventurada se observa en forma de núcleos y venas y tapizando a los otros sulfuros o las franjas de cuarzo y, en todos los casos, como producto de degradación del rejalgar (Yparraguirre, 2005).

En la mina Palomo se ha identificado el oropimente formando una pátina que recubre algunos cristales de rejalgar (figura 37), lo que les da mayor estabilidad frente a la luz, permitiendo su exposición de manera más prolongada. Este mineral es conocido, al menos, desde el año 2003 cuando apareció en algunos casos asociados a cristalizaciones de rejalgar, esfalerita, galena y tetraedrita. También son conocidos los cristales de yeso

con fantasmas amarillos de azufre y/o oropimente (Hyrsl & Rosales, 2006). Sin embargo, el mejor oropimente salió en enero de 2005, formando agregados botroidales amarillos muy estéticos sobre cuarzo, con parte de la superficie “salpicada” con cristales muy pequeños anaranjados de pararejalgar (Hyrsl & Rosales, 2006) (figura 39). Sin embargo, tal y como se ha comentado previamente con el pararejalgar, dichos cristales eran de oropimente de color naranja (Hyrsl, 2008).



Figura 39: Pequeños cristales botroidales de realgar sobre cuarzo. Mina Palomo. Tamaño del ejemplar: 3 cm x 2,8 cm.

### **Estibnita ( $Sb_2S_3$ )**

La estibnita, en muestras para colección, es conocida desde el año 2003, cuando comenzaron a salir las primeras muestras de colección al mercado desde la mina Palomo (Hyrsl & Rosales, 2006). Estas primeras muestras se denominaron por parte de los comerciantes peruanos como antimonitas “cactus” por presentar una segunda generación de cristales de estibnita de menor tamaño, perpendiculares y recubriendo los cristales previos con tamaños de hasta 2 cm (Hyrsl & Rosales, 2006; Hyrsl, 2008). En los años 2004 y 2005 volvieron a salir nuevas muestras de estibnita, esta vez incluidas en cristales de yeso; además, en este mismo hallazgo se encontraron también drusas formadas por cristalizaciones aciculares en disposición radial, dando morfologías de semiesferas (figura 40) (Hyrsl & Rosales, 2006; Hyrsl, 2008).

En el resto de minas del distrito, no se habían obtenido muestras de colección, aunque ya se conocía de su existencia, debido a que se trata de un mineral relativamente común en este tipo de yacimientos. Conjuntamente a los sulfatos (yeso y en menor medida barita), sulfuros residuales (realgar) y los óxidos delimita las zonas superiores de los yacimientos epitermales, indicando con su presencia el final de la paragénesis.

En la mina Esperanza se han obtenido diferentes cristalizaciones de estibnita, siempre en las zonas superiores de la mina (Pérez-Puig, 2008a):

- Pequeños cristales aciculares de estibnita englobadas por el crecimiento de los cristales de esfalerita (figuras 41 y 42). Estas muestras tienen un tamaño inferior al centímetro, pero son fácilmente observables con lupa debido a la gran transparencia de las esfaleritas que los envuelven.
- Las muestras más vistosas son cristales individualizados (figura 43), sueltos o agrupados, en una matriz de yeso (figura 44), que alcanzan hasta los 6 cm y se presentan como cristales fuertemente estriados según el eje C del prisma.
- Por último, se han observado cristales submilimétricos de estibnita sobre los que se depositan los cristales de rejalgar (figura 35).



Figura 40: *Estibnita "botroidal"*. Mina Palomo. Tamaño del ejemplar: 6 cm x 5 cm.

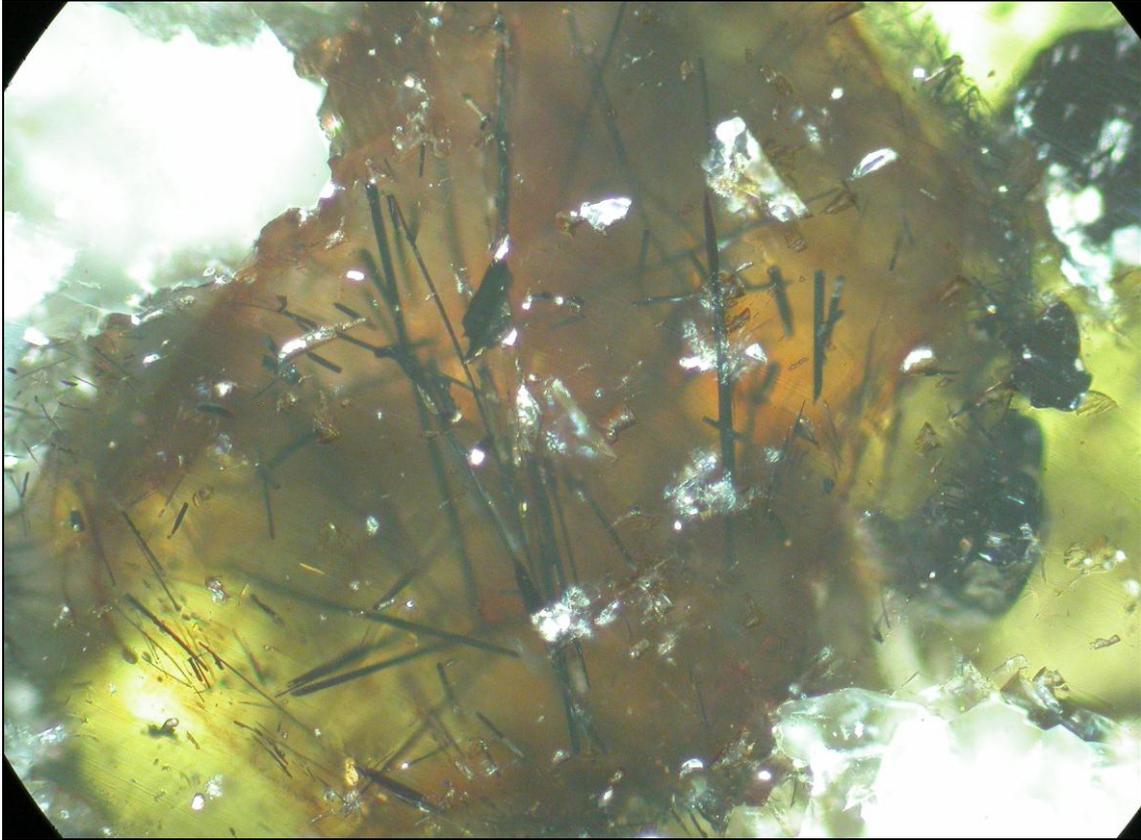


Figura 41: Cristal de esfalerita mostrando inclusiones de cristales aciculares, en disposición radiada, de estibnita. Luz reflejada, nicoles cruzados. Mina Esperanza. Campo: 0,8 mm.

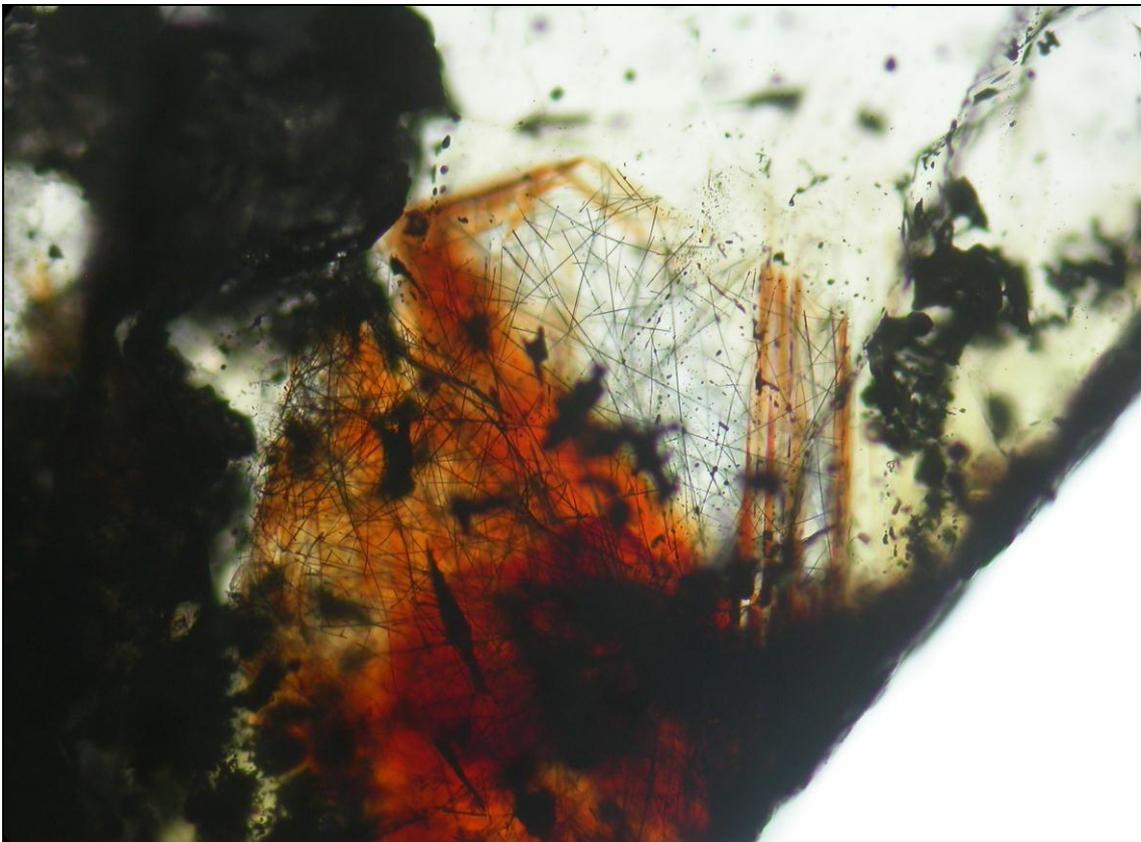


Figura 42: Fotomicrografía de un cristal de esfalerita con un fantasma de crecimiento y, dentro de esta primera fase, cristales aciculares de estibnita y abundantes inclusiones fluidas. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 1,6 mm.



Figura 43: *Cristal aislado de estibnita. Mina Esperanza. Longitud del cristal: 6 cm.*



Figura 44: *Cristal de estibnita en matriz de yeso. Mina Esperanza. Longitud del cristal: 3 cm.*

Yparraguirre (2005) cita la presencia de estibnita en cristales y agregados cristalinos en cavidades y fracturas de la estructura, sin dar más detalles.

### **Cuarzo** (SiO<sub>2</sub>)

El cuarzo es un mineral muy común en todos los yacimientos hidrotermales, estando presente en muy diversas formas: calcedonia, ágata, cristales de diversos colores, etc. Por lo que es frecuente encontrar muestras cristalizadas en oquedades dentro de la estructura y en las fracturas que recorren la roca encajante. En algunos casos, especialmente en los yacimientos de baja temperatura, como los epitermales de este trabajo, está demostrado que el cuarzo precipita a partir de un gel en forma de calcedonia y que sufre procesos de recrystalización (Demoustier *et al.*, 1998) (figura 45).

En la veta Esperanza se han recogido drusas de cuarzo de hasta 8 cm x 8 cm, con los cristales de cuarzo, lechosos, muy brillantes de hasta 1 cm. En las zonas de mayor mineralización se encuentra junto con la esfalerita y la galena, mientras que en las zonas de deposición residual se observa junto con antimonita, rejalgar, goethita y yeso, minerales típicos de las paragénesis distales de yacimientos epitermales (Pérez-Puig, 2008a). En otros casos (la mayoría) se presenta de manera masiva o en texturas sin un desarrollo visible de los cristales.

En ocasiones, estos cuarzos se encuentran dentro de los cristales de esfalerita (figura 46), arrancados durante los procesos de ebullición hidrotermal y englobados por los cristales de esfalerita (Pérez-Puig, 2008a), dando lugar a defectos que han favorecido la captura de inclusiones fluidas (figura 47).

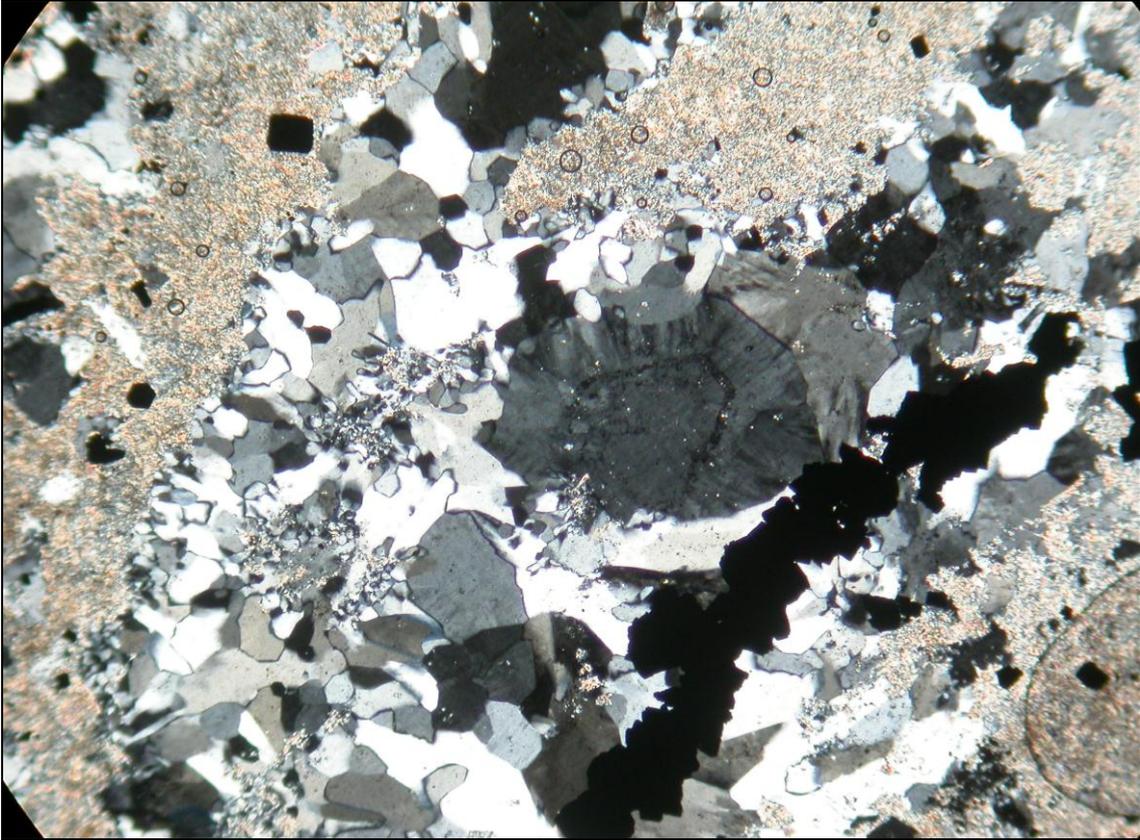


Figura 45: Microfotografía de un cristal de cuarzo mostrando un zonado de crecimiento y una aureola final de recristalización a partir de un gel, asociado con crecimientos de pirita (mineral opaco). Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo: 6,2 mm.

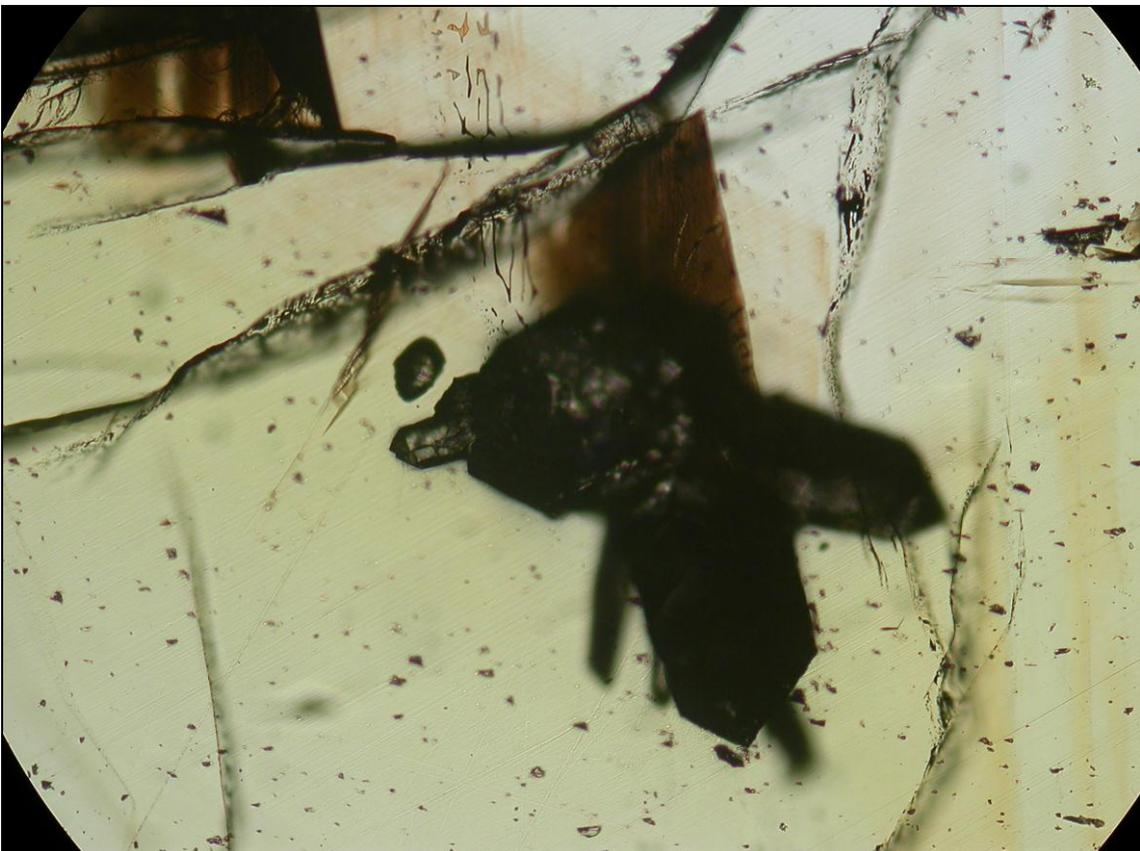


Figura 46: Fotomicrografía mostrando un agregado de cristales de cuarzo dentro de un cristal de esfalerita. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo: 1,6 mm.

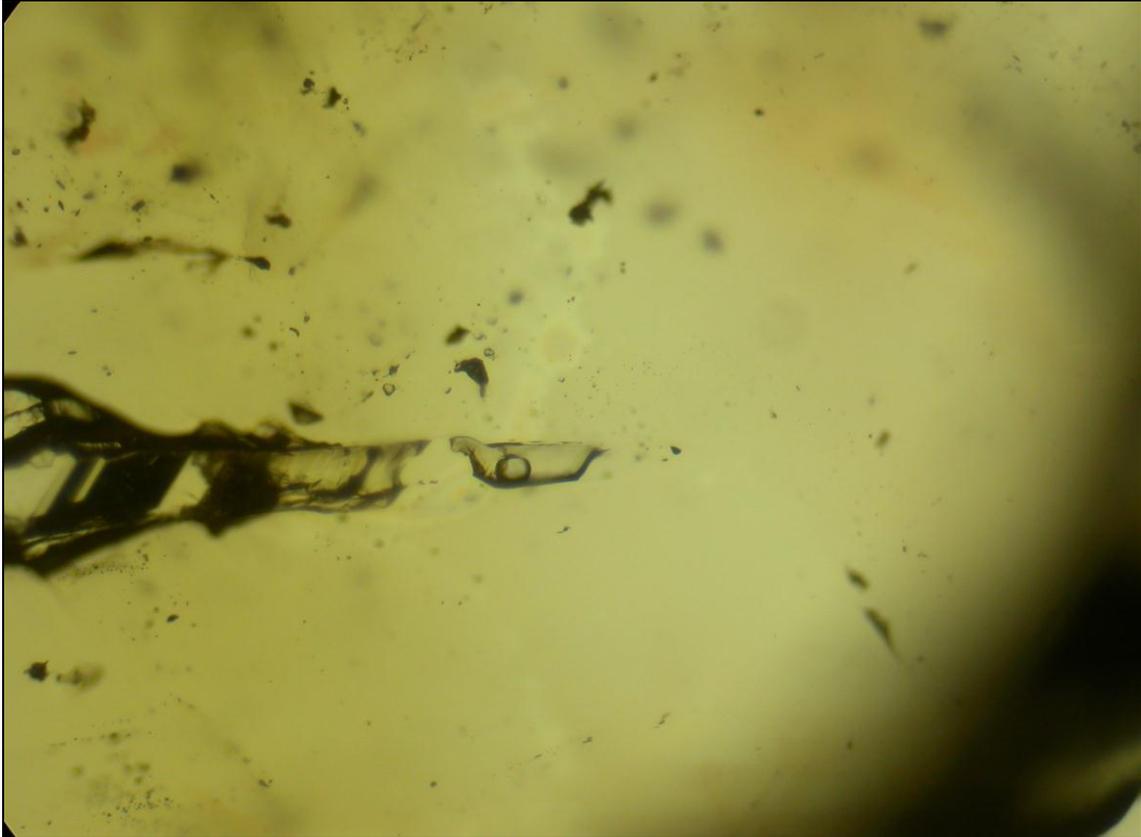


Figura 47: Fotomicrografía donde se observa una inclusión fluida bifásica (agua y burbuja de vapor) en esfalerita, asociada a un cristal de cuarzo arrancado, fracturado y atrapado por la esfalerita. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 1,6 mm.

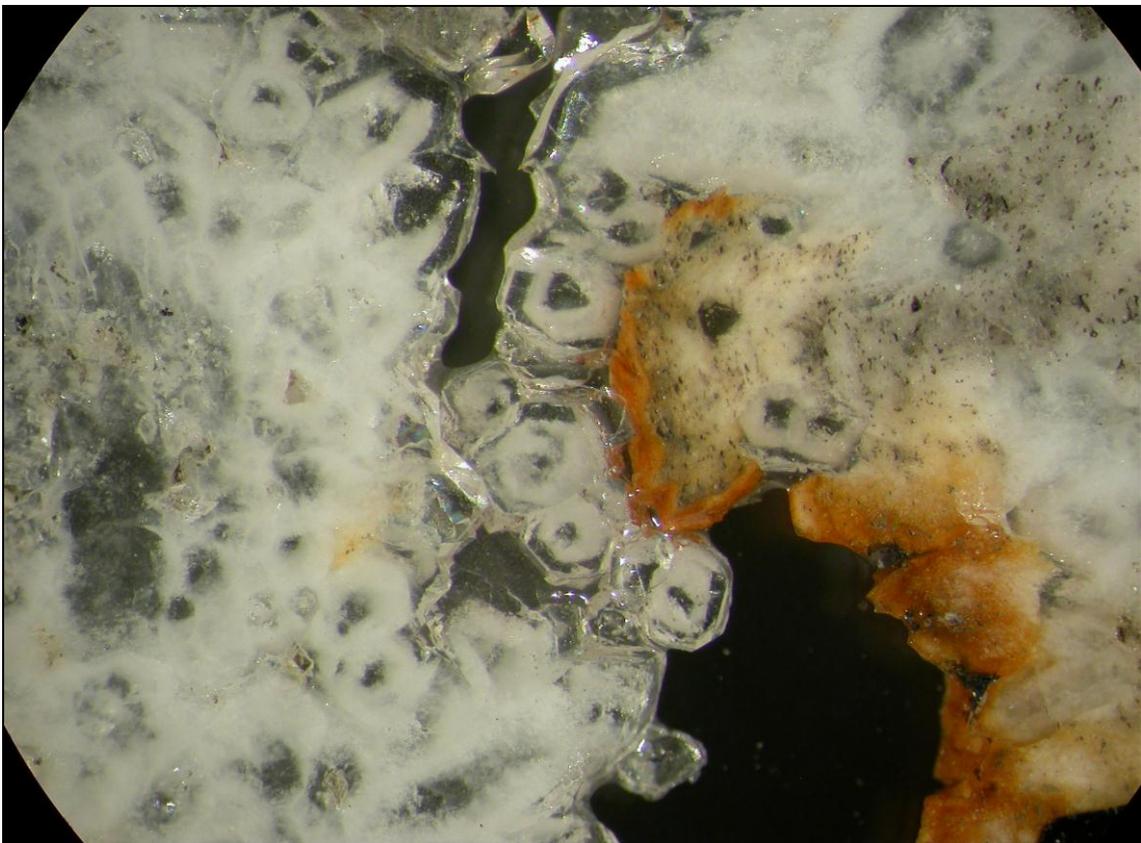


Figura 48: Fotografía mostrando cristales de cuarzo con un núcleo hialino, una zona lechosa muy rica en inclusiones fluidas y un crecimiento final hialino. Mina Esperanza. Campo de visión: 1,2 cm.

En varias vetas (Teresita, Esperanza, Bienaventurada) el cuarzo presenta unos fantasmas de crecimiento (figura 48) marcados por una zona lechosa muy rica en inclusiones fluidas de tamaño muy pequeño.

En la veta Bienaventurada se presenta distribuido por toda la estructura, a modo de bandas masivas, núcleos y venillas, con un color blanco lechoso excepto en las geodas, que se observa cuarzo hialino; se encuentra asociado generalmente a pirita, rejalgar y oropimente (Yparraguirre, 2005).

En la mina Palomo el cuarzo se asocia a la esfalerita y la galena, actuando como matriz para la cristalización de ejemplares de estos minerales (Pérez-Puig, 2008b). Además, a principios de 2006, se obtuvieron muestras de cuarzo pseudomorfo de barita (Hyrsl & Rosales, 2006).

En 2008 se produjo un hallazgo de calcedonia azul pálida con una bella estética, así como algunos nódulos de ágata, en el distrito de Huachocolpa (Hyrsl *et al.*, 2011).

### **Calcita (CaCO<sub>3</sub>)**

La calcita es un mineral muy común en yacimientos epitermales de baja sulfuración, donde la abundancia de carbonatos, principalmente rodocrosita (MnCO<sub>3</sub>), es muy importante. En la veta Esperanza se observa la calcita como un episodio final rellenando los últimos espacios abiertos presentes en la veta, como pueden ser los que quedan entre los cristales de esfalerita (Pérez-Puig, 2008a). No es rara la presencia de masas espáticas que rellenan todo el hueco o, en algunos casos, que presenten pequeñas geodas con cristales (figura 49).

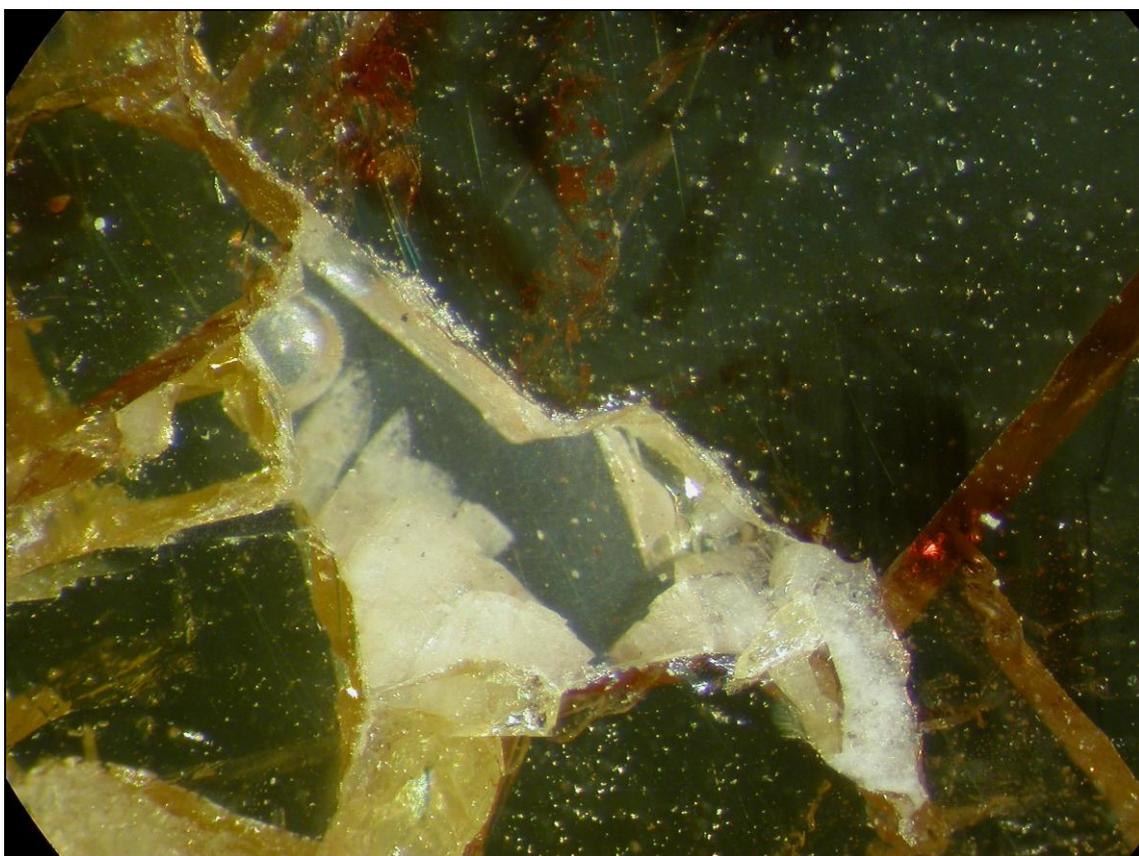


Figura 49: Fotografía que muestra un crecimiento de cristales de calcita en una cavidad entre cristales de esfalerita. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,8 cm.

La calcita presenta una diseminación de cristales diminutos de pirita. En algunos casos (figura 19), se reconocen cristales de calcita con una pátina amarillenta de neutralización y precipitación de óxidos de hierro (Pérez-Puig, 2008a).

De todas formas, estas muestras no poseen ningún interés coleccionístico, al igual que las procedentes del resto del distrito, donde está citada pero no se han descrito hallazgos interesantes.

### **Rodocrosita** ( $\text{MnCO}_3$ )

La rodocrosita es un mineral muy habitual en los yacimientos epitermales de baja sulfuración. Sin embargo, durante las visitas de campo no se pudo observar su presencia, aunque es bien conocida por las imágenes y referencias existentes (Hyrsl *et al.* 2010; Hyrsl, 2011) que, desgraciadamente, no indican la(s) mina(s) de procedencia de los ejemplares.

La rodocrosita de Huachocolpa se presenta generalmente con morfologías curvas, y en algunos casos en forma de “flores”, sobre drusas de cuarzo. Dichas “flores” están compuestas en su parte interior por rodocrosita rosa pálida de una primera generación, y los bordes son de rodocrosita blanca (posiblemente rica en calcio), y están cubiertas por cuarzo hialino (Hyrsl, 2011).

Es probable, que los ejemplares caracterizados como calcita, por ausencia de análisis para comprobar la presencia de Mn, pudieran ser de rodocrosita blanca.

### **Siderita** ( $\text{FeCO}_3$ )

En base a ejemplares existentes en la colección del Museo Andrés del Castillo, Hyrsl *et al.* (2011) describen los ejemplares de siderita procedentes de Huachocolpa. Se trata de agrupamientos paralelos de varios cristales de hasta 4 mm, de color beige, que crecen sobre cuarzo.

### **Barita** ( $\text{BaSO}_4$ )

La barita es un mineral relativamente abundante en la mina Esperanza, que se presenta asociado a esfalerita, galena y cuarzo, distribuida por todas las labores de la mina.

En la veta Bienaventurada se presenta con la clásica cristalización tabular, en algunos casos formando “rosas de barita” de color blanco opaco; generalmente se reconoce en los niveles superiores, en ocasiones tapizada por oropimente (Yparraguirre, 2005).

En las muestras observadas de mina Palomo no es destacable la presencia de barita, que se presenta a modo de matriz para otros minerales (Pérez-Puig, 2008b). A finales de 2006 se localizaron muestras de barita pseudomorfizadas por cuarzo con bonita estética (Hyrsl & Rosales, 2006; Hyrsl, 2008).

### **Yeso** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

El yeso es un mineral no muy abundante en los yacimientos epitermales de baja sulfuración, sin embargo en el distrito de Huachocolpa se ha observado con bastante facilidad en todas las minas tratadas en este artículo. Hay que destacar que siempre aparece en zonas superiores (más alejadas del foco origen de los fluidos) asociado a otros minerales “residuales” del fluido: antimonita, rejalgá, oropimente, etc.

En la mina Esperanza se han recuperado ejemplares de yeso con cristales de estibnita asociada (Pérez-Puig, 2008a) (figura 44).

En la mina Bienaventurada se han observado cristales bien desarrollados de yeso dentro de fracturas en niveles intermedios (Yparraguirre, 2005).

En la mina Palomo Hyrsl & Rosales (2006) y Hyrsl (2008) citan varios hallazgos de cristales de yeso entre finales del año 2003 y 2005:

1. Grandes cristales de yeso, de hasta 25 cm, transparentes, similares a los de la mina Raura. Estos autores también declaran que un comerciante hablaba de cristales de más de 50 cm que se fracturaron para facilitar el transporte.
2. Cristales de hasta 10 cm en matriz, transparentes pero con las caras corroídas y lechosas.
3. Cristales de yeso englobando drusas de estibnita que, desde el punto de vista de Hyrsl & Rosales (2006), son las muestras más bonitas de la mina Palomo y las mejores de Perú.
4. Cristales de yeso con fantasmas amarillos de azufre y oropimente.

### **Azufre (S)**

Se ha observado azufre en la mina Bienaventurada rellenando fracturas o cavidades de la estructura y, en otros casos, rellenando algunas fracturas de la roca encajante. Aparentemente es primario y de origen volcánico, debido a las emanaciones de vapores de  $\text{SH}_2$ , que al oxidarse se transforman en azufre, el cual, a veces, tiende a cristalizar por sublimación (Yparraguirre, 2005).

De la misma manera, está citado el azufre nativo en las rocas volcánicas de la veta Holler, mina Mauricio (Hyrsl, 2011).

También se ha observado azufre en la mina Palomo, a modo de cristales microscópicos amarillos en fantasmas de crecimiento de yesos obtenidos en los años 2004 y 2005 (Hyrsl & Rosales, 2006; Hyrsl, 2008).



Figura 50: *Crecimiento de minerales fibrosos, posiblemente halotriquite, en el techo de una labor de la mina Coquito.*

**Covellina (CuS)**

La covellina ha sido observada en la veta Rublo alterando a los sulfuros de cobre (calcopirita y bornita), en muestras estudiadas al microscopio por Yparraguirre (2008).

**Anglesita (PbSO<sub>4</sub>)**

La anglesita se ha detectado microscópicamente, de manera anecdótica, reemplazando a la galena en muestras de la mina Bienaventurada (Yparraguirre, 2005).

**Halotriquita (Fe<sup>+2</sup>Al<sub>2</sub>[SO<sub>4</sub>]<sub>4</sub> 22H<sub>2</sub>O)**

Durante una visita a las labores abandonadas de la mina Coquito se observó en el techo de algunas galerías la presencia de un mineral fibroso de color blanco cuya apariencia se asemeja bastante a la halotriquita (figura 50). Su origen es la infiltración de aguas de lluvia a través de la masa mineralizada y que al llegar a las galerías en contacto con el aire se produce un cambio de quimismo y la consiguiente deposición de sales (en un proceso similar al de formación de estalactitas).

**Óxidos de hierro**

Con esta denominación genérica se engloban todas las pátinas, generalmente de colores amarillentos, anaranjados a rojizos que se observan en las zonas de oxidación de las vetas, procedentes de la alteración de la pirita y, en menor medida, de la calcopirita. En la figura 19 se puede observar una pátina amarillenta de óxidos de hierro coloreando cristales de calcita de la veta Esperanza.

En la veta Rublo, Yparraguirre (2008) caracteriza estos óxidos como hematites (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y limonita (FeO(OH)).

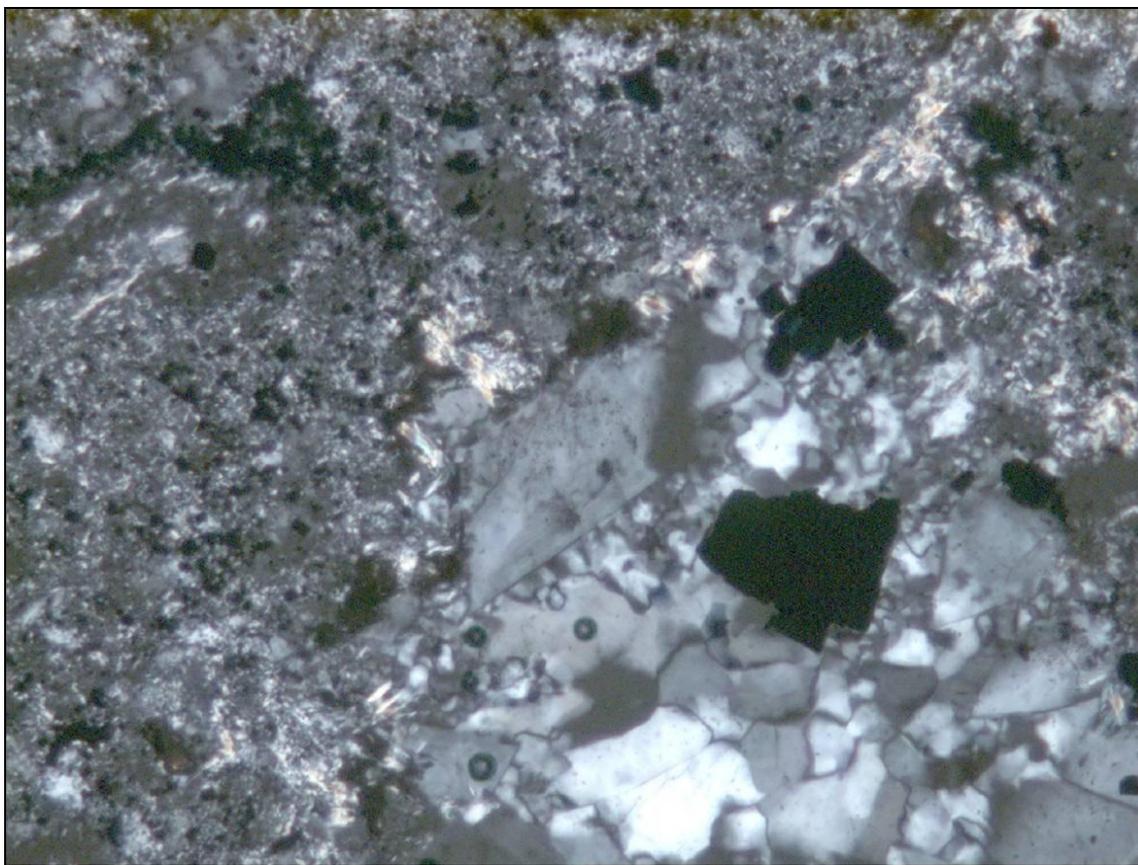


Figura 51: Fotomicrografía de un cristal rómbico de adularia asociado a cuarzo y pirita (opaco). Luz transmitida, nicoles cruzados. Mina Bienaventurada. Campo de visión: 3,1 mm.

**Adularia** ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )

La adularia es una variedad de ortosa de muy baja temperatura, clásica de yacimientos epitermales de baja sulfuración. Ha sido localizada en la mina Bienaventurada, en las labores superiores. Se presenta como cristales idiomorfos rómbicos incoloros, muy característicos, lo que permiten su caracterización al microscopio (Yparraguirre, 2005) (figura 51).

En la veta Bienaventurada, donde está bien reconocida, hay casos que está reemplazada por sericita e illita (Yparraguirre, 2005).

También se conoce la presencia de adularia en la mina Palomo (Inga, 2002), presentándose de la misma manera que en la veta Bienaventurada.



Figura 52: Costras de changoita blanca sobre cuarzo, esfalerita y matriz volcánica. Mina Esperanza. Longitud del ejemplar: 3,5 cm.

**Changoita** ( $\text{Na}_2\text{Zn}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

La changoita es un raro sulfato de Zn y Na, conocido únicamente en la localidad tipo: mina San Francisco, Sierra Gorda, Antofagasta, Chile, donde se asocia con thenardita, yeso y paraatacamita zincífera (Schlüter *et al.*, 1999), minerales de ambientes áridos. Además de formar costras de alteración sobre monedas acuñadas en zinc vietnamitas (Kartashov, 2006). Por otro lado, en la mina Esperanza se encuentra como producto secundario sobre el nivel freático a no mucha profundidad (menos de 100 m en la vertical desde superficie), en un ambiente diferente (Pérez-Puig, 2008a).

Recientemente, acorde a la información existente en mindat.org, se han caracterizado muestras de changoita procedentes de la mina La Compañía, Caracoles, distrito de Sierra Gorda, Antofagasta, Chile (Schlüter, s.a.; en mindat.org) así como de la mina de

plomo Namib, área de Spitzkopje, distrito de Karibib, Erongo, Namibia (Krassman, s.a.; en mindat.org).

En la veta Esperanza se han observado en pocas muestras unas pátinas blanquecinas que presentan cristales microscópicos, en los que no se puede describir su morfología, generalmente cerca del contacto de la esfalerita y la ganga y/o encajante que, caracterizadas mediante fluorescencia y difracción de rayos X, han resultado ser changoíta (Pérez-Puig, 2008a) (figuras 52 y 53).

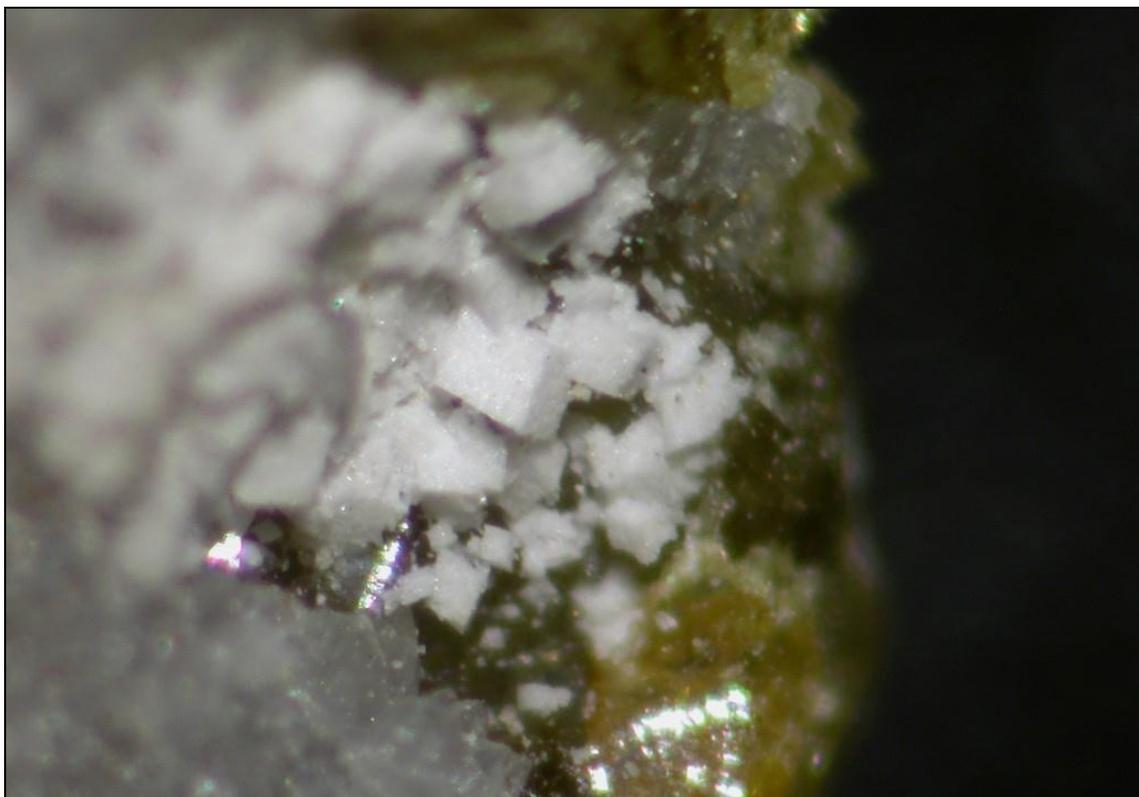


Figura 53: Fotografía de detalle de changoíta. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,3 mm. Colección y fotografía: C. Menor Salván.

En el momento del hallazgo (año 2008), según la información existente en mindat.org, la changoíta era conocida únicamente en la localidad tipo y formando crecimientos de alteración en las monedas vietnamitas. Por tanto, la veta Esperanza se puede considerar como la segunda localidad conocida en el mundo para este mineral (Pérez-Puig, 2008a).

#### **Caolinita** ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ )

Se trata de un mineral de alteración de la roca alumínica encajante en la veta Bienaventurada. Se presenta como cristales alargados con formas retorcidas, en escamas aplastadas o en agregados criptocristalinos (Yparraguirre, 2005).

#### **Pirofilita** ( $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )

Se asocia con el cuarzo, sericita y caolinita en las alteraciones de la roca encajante de la veta Bienaventurada (Yparraguirre, 2005).

#### **Anhidrita** ( $\text{CaSO}_4$ )

Se ha encontrado relleno de pequeñas vetillas en la roca encajante en la mina Bienaventurada. Generalmente se presenta reemplazada por yeso (Yparraguirre, 2005).

**Gibbsita** ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )

Se ha observado relleno de fracturas o cavidades de la veta Bienaventurada y su roca encajante, procedente de la alteración de las rocas alumínicas (Yparraguirre, 2005).

**Halloysita** ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ )

Se trata de un mineral procedente de la alteración de los feldespatos para dar lugar a sericita, y que se ha observado en la veta Bienaventurada (Yparraguirre, 2005).

**Illita** ( $((\text{K},\text{H}_2\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}])$ )

Se encuentra relleno de fracturas o cavidades de la estructura y parte de las grietas en la roca encajante alumínica de la veta Bienaventurada (Yparraguirre, 2005).

**Montmorillonita** ( $((\text{Na},\text{Ca})_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \text{nH}_2\text{O})$ )

Se encuentra asociado con la caolinita en la roca encajante alterada de la veta Bienaventurada (Yparraguirre, 2005).

**Clorita** ( $((\text{Fe},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{OH})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10})$ )

Se han observado minerales del grupo de la clorita, de manera general, en todas las rocas volcánicas del distrito Huachocolpa, como uno de los principales minerales de alteración, dando tonos verdosos a la roca.

Esta clorita es sustituida posteriormente por la alteración fílica (sericita, cuarzo y piritita), tal y como se observa en las aureolas de alteración del granate de la figura 58.

**Sericita** ( $\text{KAl}_2[(\text{OH},\text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ )

La sericita es una variedad de moscovita de grano muy fino, común en ciertos yacimientos minerales, que se forma por alteración de los feldespatos y que, en muchos casos, aparece pseudomorfizándose. En el entorno de las vetas es muy común observar muestras de roca con un reemplazo selectivo de los fenocristales de feldespatos por sericita (figura 54).



Figura 54: Reemplazo selectivo de feldespatos (plagioclase) por sericita. Mina Esperanza. Tamaño del ejemplar: 5 cm x 2 cm.

**Rutilo** ( $\text{TiO}_2$ )

El rutilo es un mineral observado, a nivel microscópico, en todas las estructuras emplazadas en rocas volcánicas ya que se forma por la descomposición de los minerales máficos presentes (biotita, piroxenos, etc.), asociado a otros minerales de alteración de las rocas volcánicas (cuarzo, sericita, pirita, etc.).

En la veta Esperanza se ha concentrado a modo de cristales en la misma roca encajante (Pérez-Puig, 2008a) (figura 55).

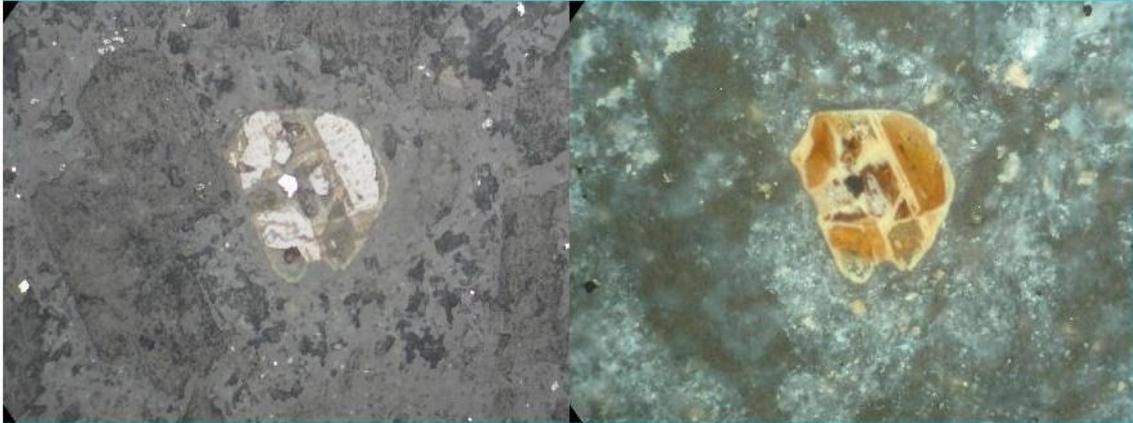


Figura 55: Microfotografías de un agregado de cristales de rutilo, leucoxeno (mezcla de rutilo, titanita y otros minerales de titanio) y pirita (blanco brillante). Luz reflejada, nicoles paralelos (izquierda) y cruzados (derecha). Mina Esperanza. Campo de visión: 1,6 mm.

En la veta Bienaventurada, por otro lado, se han observado cristales fibrosos incluidos en cuarzo (Yparraguirre, 2005) (figura 56).

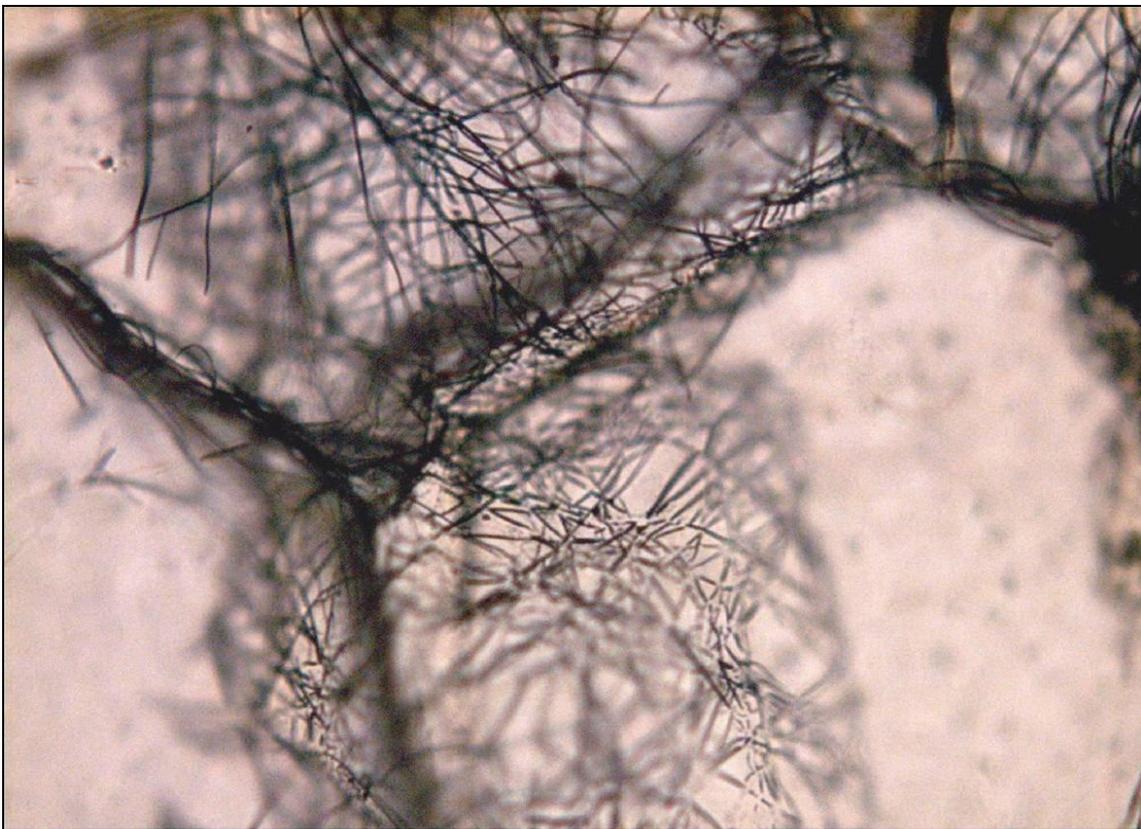


Figura 56: Fotomicrografía de una lámina delgada de cuarzo con cristales fibrosos de rutilo atrapados. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Bienaventurada. Campo: 6,2 mm.

Debido a la inexistencia de estudios petrográficos sobre la mina Palomo, no se conoce la presencia de rutilo.

### **Apatito** ( $\text{Ca}_5(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$ )

El apatito se presenta en diminutos cristales prismáticos en la roca de caja de las vetas del distrito, como mineral de alteración de la roca (figura 57). En ningún caso se han observado cristales de apatito en muestra de mano, por lo que se puede decir que el interés coleccionístico es nulo.

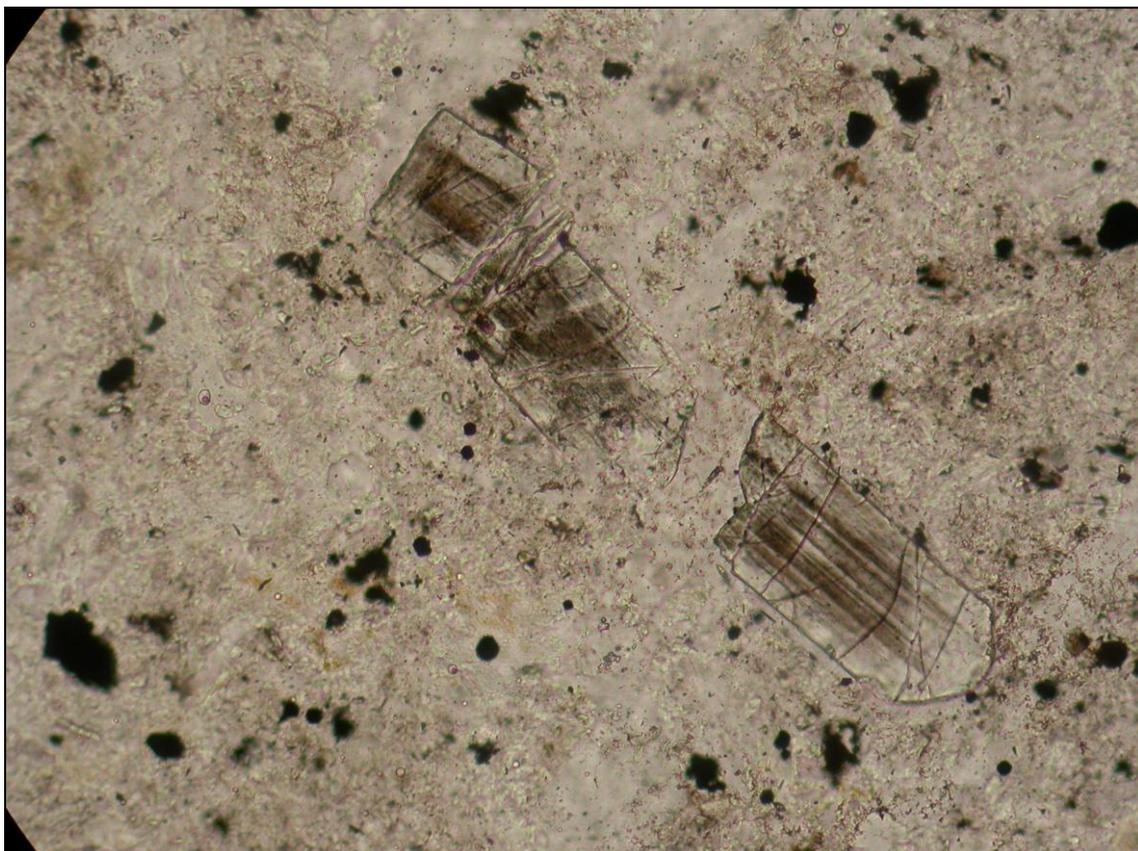


Figura 57: Fotomicrografía de un cristal de apatito fracturado, con fantasmas de crecimiento. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 3,1 mm.

### **Granate**

Los granates conforman un grupo difícilmente caracterizable sin análisis químicos y, además, hay que considerar su posible variación composicional, por lo que se puede afirmar que no haya un granate característico de las rocas volcánicas presentes en el distrito Huachocolpa.

La presencia de granate, como mineral refractario presente en los materiales volcánicos, puede encontrarse en cualquiera de las minas emplazadas en materiales volcánicos, como un mineral primario que ha sufrido los procesos de alteración asociados al hidrotermalismo (figura 58).

Además, en las zonas de contacto de los materiales calcáreos con las rocas intrusivas, ha sucedido un metamorfismo de contacto (yacimientos de skarn) con granate grosularia ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) (Inga, 2002).

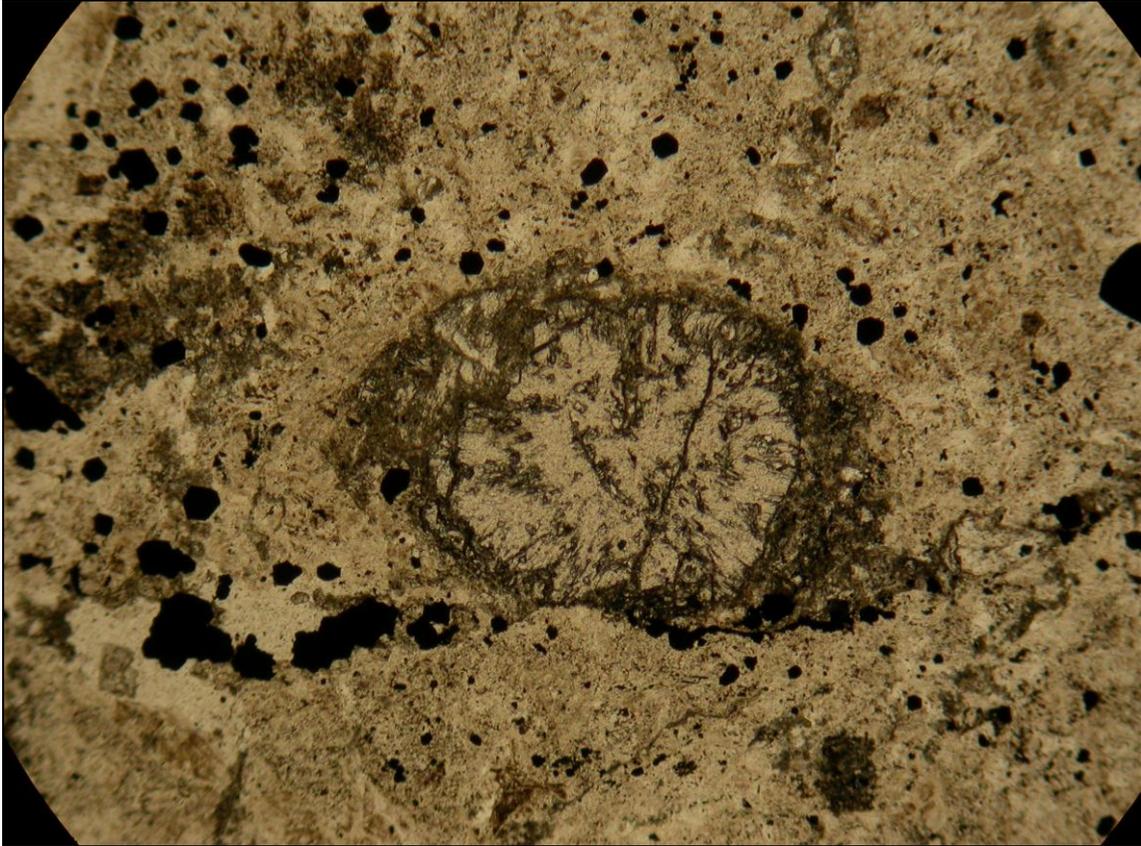


Figura 58: Fotomicrografía de un cristal de granate, con una corona de clorita (verdosa) y otra corona posterior que engloba y altera a la clorita de sericita. Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 1,6 mm.

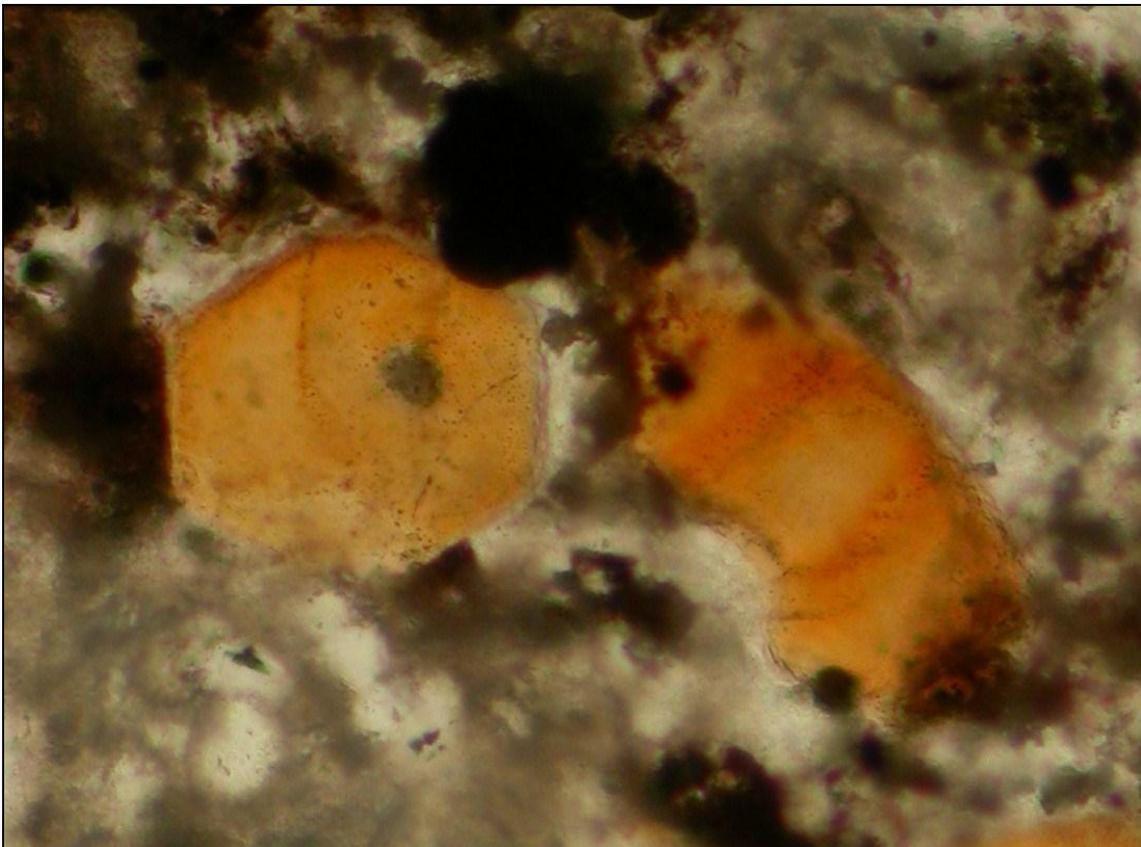


Figura 59: Fotomicrografía de dos cristales de turmalina (anaranjados) asociados a clorita (verde) y pirita (opaca). Luz transmitida, nicoles paralelos. Mina Esperanza. Campo de visión: 0,8 mm.

**Turmalina (chorlo)**  $(\text{NaFe}^{2+}_3(\text{Al,Fe}^{3+})_{16}[(\text{OH})_4(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}])$ 

La turmalina, al igual que sucede con los granates, es un grupo con varias variedades. Se presenta también en las rocas volcánicas pero en ningún caso es un mineral refractario, pudiendo ser su origen netamente ígneo (volcánico) o de alteración hidrotermal. En la figura 59 parece que la clorita está corroyendo los cristales de turmalina, con lo que puede suponerse un origen ígneo, ya que la cloritización es el primer evento de alteración detectado en el distrito. Sin embargo, Yparraguirre (2008) describe la presencia microscópica de turmalina reemplazando a cristales de posibles anfíboles en la roca encajante en la mina Chonta (figura 60).

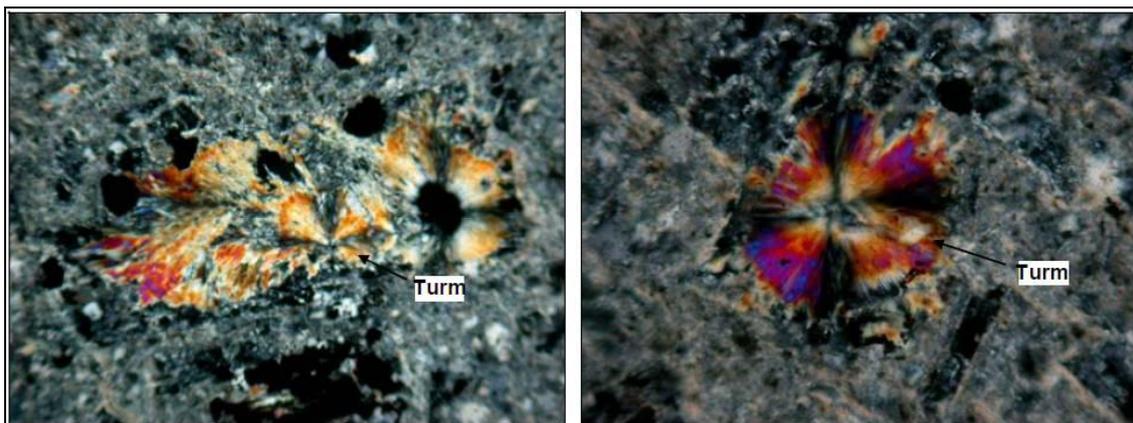


Figura 60: Fotomicrografías de cristales de turmalina fibroso-radiados. Luz transmitida, nicoles cruzados. Mina Chonta. Campo de visión: 0,8 mm.

**METODOLOGÍA**

Las descripciones microscópicas y fotomicrografías se han realizado con un microscopio petrográfico Leica DMRXP 301-371, de luz transmitida y reflejada, montados con objetivos de 2,5, 5, 10, 20 y 40 aumentos. La cámara utilizada para tomar imágenes es una Nikon Coolpix 4500, con un adaptador de rosca C para acoplarla sobre un tercer ocular.

Por su parte, las imágenes con estereoscopio binocular se han tomado con el mismo equipo fotográfico, sobre un equipo Leica MZ6 y fuente de luz externa Leica CLS 150.

La microscopía electrónica de barrido se ha realizado con un equipo Philips 505 en condiciones de alto vacío, a voltaje de aceleración 25 KV y tamaño de spot de 4  $\mu\text{m}$ .

La difracción y fluorescencia de rayos X, se ha realizado en el servicio analítico del Instituto Geológico y Minero de España. El difractómetro de Rayos X es un equipo PANalytical con detector Xcelerator, tubo de cobre, monocromador de grafito y rendija de divergencia automática; con software de PANalytical XPert Quantify y SPert High Scorer y Base de Datos ICDD (Set 1 a 47). El espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X, por dispersión de longitudes de onda, es un Magix de PANalytical, con tubo de rodio y muestreador automático.

El estudio de microreflectometría espectral consiste en medir valores de niveles de gris, que son proporcionales a su reflectancia (Berrezueta, 2004), con luz de diferentes longitudes de onda, obteniéndose un espectro característico de los minerales, sobre probetas pulidas. Para este trabajo, el equipo que se utilizó fue<sup>2</sup> un microscopio Leica DM6000M sin polarizadores, una rueda de filtros DTA RPF16 intercalada entre la

<sup>2</sup> Tomado de la descripción metodológica de Brea (2012)

fuente luminosa y el estativo, dotada de 13 filtros Melles Griot que permiten medir 13 tramos de 50 nm, entre los 400 y 1000 nm). El microscopio tiene un objetivo Leica PL-Fluotar de 20 aumentos. Para la obtención de imágenes en B/N, se utilizó una cámara digital monocromática BASLER SCA1400-17FM, con una interfase IEEE-1394. La calibración del equipo se realizó con patrones Ocean Optics SSH y SSL, para alta y baja reflectancia, respectivamente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Profesor D. Antonio Arribas, de la Universidad Politécnica de Madrid, y a un revisor anónimo por sus correcciones y sugerencias para mejorar el manuscrito.

A la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y a la Compañía Minera Caudalosa S.A. por permitir el acceso a las labores para la realización de los trabajos de campo.

A la Red DESIR y al Máster ALFA por el apoyo en la realización de los proyectos fin de carrera y tesis de máster en los que se ha basado este documento.

Al Dr. Ricardo Castroviejo, de la Universidad Politécnica de Madrid (España) por permitir el acceso al Laboratorio de Microscopía Aplicada y Análisis Digital de Imágenes (LMAAI) para realizar los estudios pertinentes con la instrumentación adquirida mediante los proyectos GR92-0135, UE95-0007 y UE98-0027 del Ministerio de Educación y Cultura español y mediante fondos FEDER de la Unión Europea.

A Juan Antonio Martín Rubí, del Instituto Geológico y Minero de España, y a Carolina Brea, del LMAAI, por la caracterización de la changoita.

A la Universidad Mayor de San Marcos (Lima, Perú) por el apoyo y permiso de utilización del microscopio electrónico de barrido para la caracterización de diversos minerales.

Al Dr. Heinz-Juergen Bernhardt, de la Universidad RU-Bochum (Alemania), por la caracterización de sulfosales mediante microsonda electrónica.

## BIBLIOGRAFÍA

E. BERREZUETA (2004) Caracterización de menas metálicas mediante Análisis Digital de Imagen: investigación de un sistema experto aplicable a problemas mineros. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

R.W. BIRNIE, U. PETERSEN (1977) The paragenetic association and compositional zoning of lead sulfosalts at Huachocolpa, Peru. *Economic Geology*, **72**: 983-992.

C.B. BREA (2012) Aplicación del Análisis Multiespectral al reconocimiento automatizado de menas con microscopio de reflexión. En Fundación Taeda (ed.) *El valor estratégico de los recursos naturales*: 145-179.

D.J. BRUHA (1983) Paragenetic and fluid inclusion study of Pb-Zn-Ag mineralization at mina Teresita, Huachocolpa district, Peru. MSc Thesis, University of Nevada, Reno. 55 p.

A. DEMOUSTIER, R. CASTROVIEJO, J.M. CHARLET (1998) Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería. *Boletín Geológico y Minero*, **109-5** y **109-6**: 449-468.

- J.V. HARRISON (1943) Geología de los Andes Centrales en parte del departamento de Junín, Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **16**: 7-97.
- P. HEALD, N.K. FOLEY, D.O. HAIBA (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, **82**: 1-26.
- J.W. HEDENQUIST, E. IZAWA, A. ARRIBAS Jr., N.C. WHITE (1996) Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *The Society of Resource Geology, Resource Geology Special Publication*, **1**.
- J. HYRSL (2008) The Palomo mine, Huancavelica Department, Peru. *The Mineralogical Record*, **39-1**: 95-99.
- J. HYRSL (2011) New mineral finds from Peru (2003-2010). *The Mineralogical Record*, **42-2**: 141-172.
- J. HYRSL, Z. ROSALES (2006) Nuevos hallazgos de minerales en Perú (2000-2006). *Revista de Minerales*, **III-1**: 4-21.
- J. HYRSL, J.A. CROWLEY, R.H. CURRIER, T. SZENICS (2010) Perú Paraíso de Minerales. Ed.: Museo Andrés del Castillo. Lima. 385-405.
- A. INGA (2002): Informe final mina Teresita. Informe interno CMBSAA, inédito. 67 p.
- E.H. McKEE, D.C. NOBLE, U. PETERSEN, M.J. ARENAS, A. BENAVIDES (1975) Chronology of late Tertiary volcanism and mineralization, Huachocolpa District, Central Peru. *Economic Geology*, **70**: 388-404.
- F. MEGARD (1979) Estudio geológico de los Andes del Perú Central. Boletín nº 8, Serie D, INGEMMET, Lima.
- D.C. NOBLE, E.H. McKEE, F. MEGARD (1979) Early tertiary Incaic tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, **90**: 903-907.
- C.R. PÉREZ-PUIG (2008a) Investigación de los controles geológicos en la mineralización de Veta Esperanza (Huachocolpa, Perú). Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 107 p.
- C.R. PÉREZ-PUIG (2008b) Minerales del Distrito de Huachocolpa, Perú: Minas Esperanza y Palomo. *Nuevo Azogue*, **1**: 42-58.
- P. PICOT, Z. JOHAN (1982) Atlas of Ore Minerals. B.R.G.M. 458 p.
- J. SCHLÜTER, K.-H. KLASKA, G. GEBHARD (1999) Changoite, Na<sub>2</sub>Zn(SO<sub>4</sub>)·2·4H<sub>2</sub>O, the Zn analogue of blödite, a new mineral from Sierra Gorda, Antofagasta, Chile. *Neues Jahrbuch für Mineralogie: Monatshefte*, **1999-1**: 97-103.
- J.P. SOULAS (1975) Las fases tectónicas jóvenes de los Andes Centrales del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **50**: 77-86.
- J. VALDIVIA, J. PAULLO (2006) Mineralización polimetálica en el extremo sur de los afloramientos del Pucará, en la región de Huancavelica. *Resúmenes extendidos del XIII Congreso Peruano de Geología*. 816-819.
- J.M. WISE (1999) Geologic Map of the Huachocolpa District, Peru. Informe interno CMBSAA, inédito.
- J.M. WISE, D.C. NOBLE (2001) La falla Chonta del Perú Central – una falla inversa con reactivación de rumbo sinistral respondiendo a un cambio de la oblicuidad relativa

de convergencia de las placas tectónicas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, **92**: 29-41.

J.A. YPARRAGUIRRE (2005) Secuencias paragenéticas, alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas de la Veta Bienaventurada, Mina Bienaventurada, Huachocolpa – Huancavelica. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de San Marcos (UNMSM), Lima, inédito. 113 p.

J.A. YPARRAGUIRRE (2008) Geoquímica y microtermometría de los fluidos mineralizantes de la veta Rublo, mina Chonta, Huachocolpa, Huancavelica, Perú. MSc. Universidad Politécnica de Madrid, Lima, inédito. 103 p.