

SECUENCIAS PARAGENÉTICAS, ALTERACIONES HIDROTERMALES E INCLUSIONES FLUIDAS DE LA VETA BIENAVENTURADA - HUACHOCOLPA - HUANCVELICA

PARAGENETIC SECUENCES HIDROTHERMAL ALTERATIONS AND FLUID INCLUSIONS IN THE BUENAVENTURADA VEIN - HUACHOCOLPA - HUANCVELICA

José Andrés Yparraguirre Calderón*

RESUMEN

La Veta Bienaventurada está ubicada dentro del distrito minero de Huachocolpa, departamento de Huancavelica sobre los 4550 m. s. n. m., en rocas volcánicas del Neógeno correspondiente a la «Formación Domos de Lava»; son primordialmente andesitas, su rumbo promedio es N52° - 65°E y buzamiento 55° - 75° SE, la potencia de esta veta es variable 1-4 m. El relleno mineral es de origen hidrotermal, del alcance epitermal emplazado por procesos de relleno de fisura con brecha. Estudios de inclusiones fluidas sugieren que intervinieron dos tipos de fluidos. Uno con salinidades entre 5-8% NaCl con temperaturas de homogeneización entre 220-230°C, mientras que otro diluido (1,5-4% NaCl) se encuentra en las partes externas con temperaturas de homogeneización entre 298-300°C. Ambos muestran evidencias de ebullición. Paragenéticamente la pirita fue el primer mineral depositado en las estructuras, el cuarzo es otro mineral abundante de largo período de mineralización seguida por la esfalerita, calcopirita, cobre gris, galena, sulfosales de plomo y baritina; algo más tarde realgar y oropimente. La segunda secuencia está constituida por pirita, cobres grises, sulfosales de plomo y estibina. Finalmente se puede observar una secuencia de minerales supérgenos constituidos por melnikovita, anglesita, yeso, hematita y limonita. El zonamiento que presenta la veta es vertical; los valores de Ag predominan en profundidad, el zinc y plomo aumentan en las partes altas.

Presentan halos de alteración hipógena de caja, constituidas por argilización, silicificación, sericitización y alteración potásica-adularia.

Palabras clave: Inclusiones fluidas, asociación mineralógica, Huachocolpa-Huancavelica.

ABSTRACT

The Bienaventurada vein is located within the mining District of Huachocolpa, department of Huancavelica at 4550 m above sea level, in volcanic rocks of Neogene corresponding to the formation «Domos de Lava»; they are fundamentally andesites. They strike is N52° - 65°E and dip 55° - 75°, the potent of this vein is variable 1 - 4m. The mineral filling has a hydrothermal origin, of the epithermal reach located by processes of stuffed of fissure with breach. Studies of fluid inclusions suggest that two types of fluids were implicated. The first, with salinities between 5-8% NaCl and homogenization temperatures between 220-230°C; whereas diluted other (1,5-4% NaCl) is in the external parts with homogenization temperatures between 298-300°C. Both show boiling evidences. The mineralogical association consists on pyrite, which was the first mineral deposited in the structures; the quartz, another abundant mineral with a long period of mineralization; followed by the sphalerite, chalcopyrite, tetrahedrite, galena, lead sulfosalts and barite; and later realgar and orpiment. The second sequence this constituted by pyrite, tetrahedrite, lead sulfosats and stibnite. Finally it is possible to observe a supergene mineral sequence constituted by melnicovite, anglesite, gypsum, hematite and limonite. The mineral distribution that presents the vein is vertical; with Ag values predominating in depth, while the zinc and lead are increased in upper levels.

They present halos of hipogene wallrock alteration, constituted by argilization, silicification, sericitization and k-adularia alteration.

Keywords: fluid inclusions, mineralogical association, Huachocolpa-Huancavelica.

* Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: joseandres54@yahoo.es

1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La veta Bienaventurada pertenece a la Cía. Caudalosa S.A. que se encuentra en el distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huanca-

velica, a una altura de 4550 m.s.n.m. (Figura N° 1). El área de la mina presenta una topografía suave, ubicada al este del río Escalera, que es el colector principal de la zona. En toda la zona se observa evidencias de erosión glaciar (Morche, 1996).

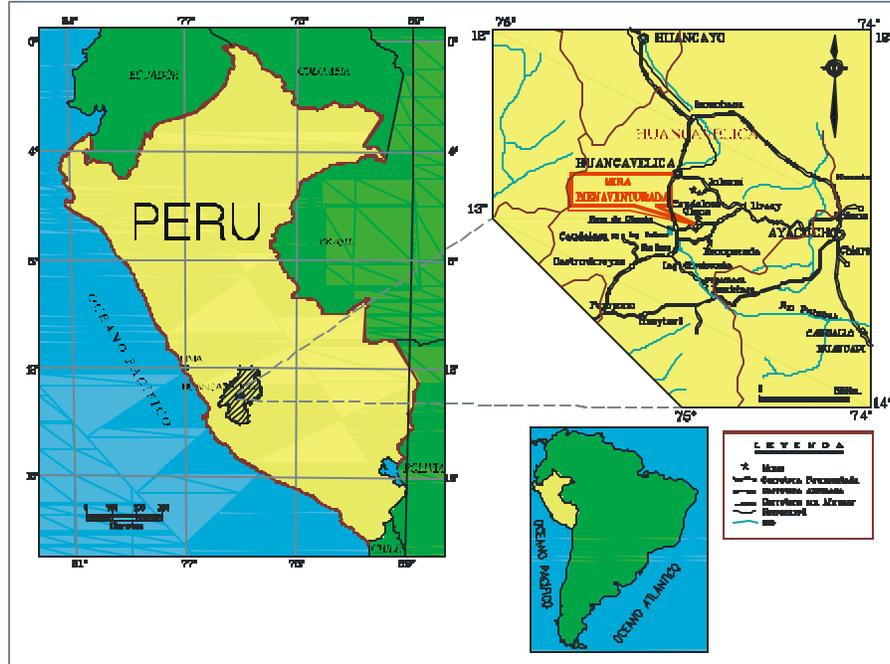


Figura N° 1. Mapa de localización.

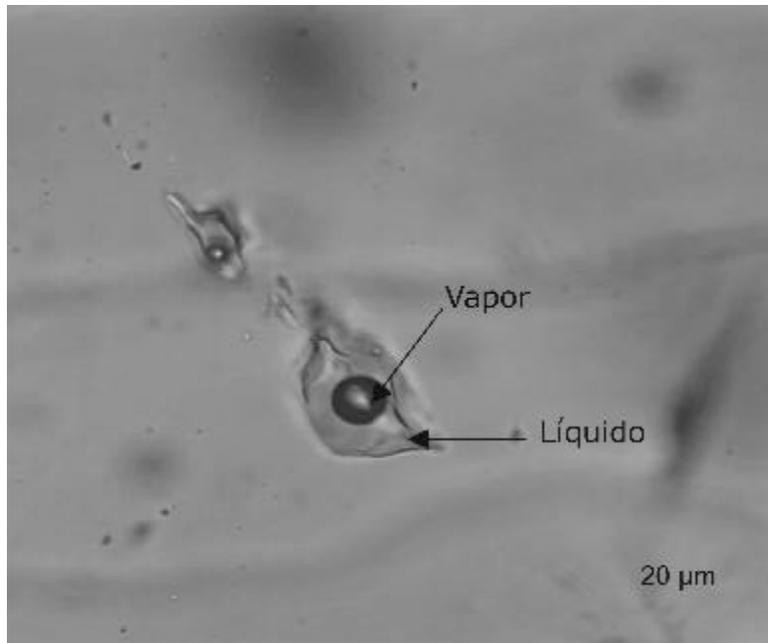
2. GEOLOGÍA LOCAL

La mina Bienaventurada se emplaza en rocas volcánicas del Neógeno, correspondientes a la «Formación Domos de Lava» (Noble, 1973), son primordialmente andesitas de color gris-marrón-amarillento, debido principalmente a la débil alteración argílica supérgena; su rumbo promedio es $N52^{\circ} - 65^{\circ}E$ y buzamiento $55^{\circ} - 75^{\circ} SE$; la potencia de esta veta es variable: 1-4 m. El relleno mineral es de origen hidrotermal epitermal, emplazado por procesos de relleno de fisura con brecha. Como principales minerales constituyentes se tienen: esfalerita, galena, cuarzo y pirita; en menor proporción, tetraedrita, calcopirita, estibina, baritina, yeso, y rejalgar. Estos minerales se presentan con una textura brechoide a orbicular, siendo el cuarzo el relleno principal a manera de matriz, englobando fragmentos de galena-esfalerita (Valdivia, 1994).

3. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS

Son pequeñas cantidades de fluidos atrapados en cristales (vacuolas) en el momento de su crecimiento, e introducidos a lo largo de microfracturas y clivajes después de la cristalización del mineral que los contiene (ver fotomicrografías 1, 2 y 4). Estos fluidos están relacionados a procesos hidrotermales magmáticos que han ocurrido en dicho yacimiento (Shepherd, 1995).

Debido a varias evidencias, se supone, que las inclusiones fluidas han conservado las propiedades químicas y físicas de las soluciones originales, y se les considera como muestras directas de las fases volátiles. Los resultados de los estudios microtermométricos contribuyen a conocer temperatura, presión, densidad y composición de los fluidos que originaron la mineralización.



Fotomicrografía N° 1. Muestras de inclusiones fluidas.

Para este estudio se tomaron 14 muestras, cuya ubicación se observa en la Figura N° 2, en la

que se bosqueja el laboreo de la veta Bienaventurada. En cada una de ellas se han estudiado las inclusiones fluidas en cuarzo.

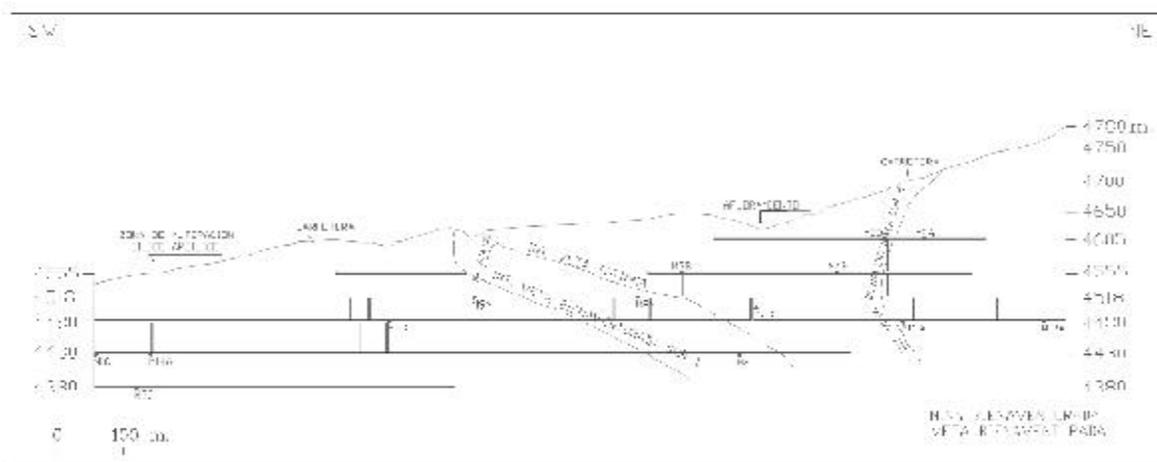


Figura N° 2. Bosquejo parcial del laboreo minero Bienaventurada.

Para el estudio petrográfico y termométrico se utilizaron sólo aquellas inclusiones que se consideran formadas en o cerca del momento de la formación del mineral hospedante, es decir, las primarias y pseudosecundarias (Sheperd, 1985).

De acuerdo a su origen:

1. *Primarias*. Son aquellas que quedaron atrapadas durante el crecimiento del mineral y están asociadas con los rasgos de cristalización, tal

como las zonas de crecimiento, y también pueden aparecer aisladas a causa de imperfecciones del cristal durante su crecimiento.

2. *Secundarias*. Son aquellas que se forman posteriormente al crecimiento total del mineral. Estas cortan toda la sección de crecimiento hasta incluso los límites del cristal y pueden representar infiltraciones en microgrietas por fluidos tardíos no relacionados con los eventos de formación de la mina.

3. *Pseudosecundarias*. Son aquellas formadas durante las dos etapas descritas anteriormente y se caracterizan por estar alineadas con microfracturas que finalizan contra zonas de crecimiento del mineral.

4. ANÁLISIS POR FAMILIA DE INCLUSIONES FLUIDAS

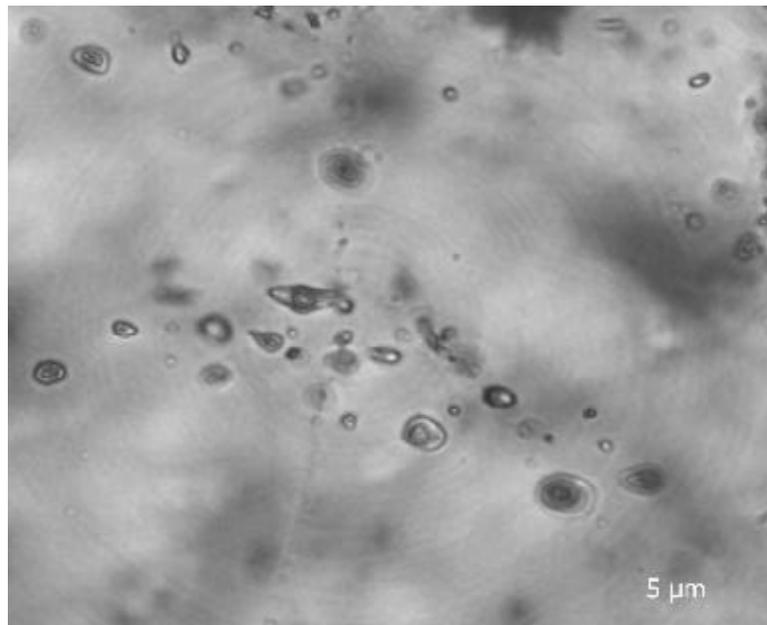
El sistema clásico presentado anteriormente contiene ciertas dispersiones de valores de Temperaturas de Homogeneización (Th), para ello se tuvo que hacer un análisis adicional, al cual se aplica un estudio petrográfico de detalle para discriminar Familias de Inclusiones Fluidas (FIF).

Familia de inclusiones fluidas (FIF o FIA: «Fluid Inclusion Assemblage», Goldstein y Reynolds, 1994). Consiste en un grupo de inclusiones fluidas estrechamente asociadas petrográficamente, con evidencias de origen común, simultaneidad y mismas condiciones físico-químicas. Las FIF son la

asociación de IF más finamente discriminadas desde el punto de vista petrográfico, proporcionando el control más eficaz y directo de los valores medidos que permitan detectar de inmediato variaciones anómalas.

Síntesis petrográfica de FIF. Las observaciones realizadas confirman las características de un ambiente epitermal de baja sulfuración:

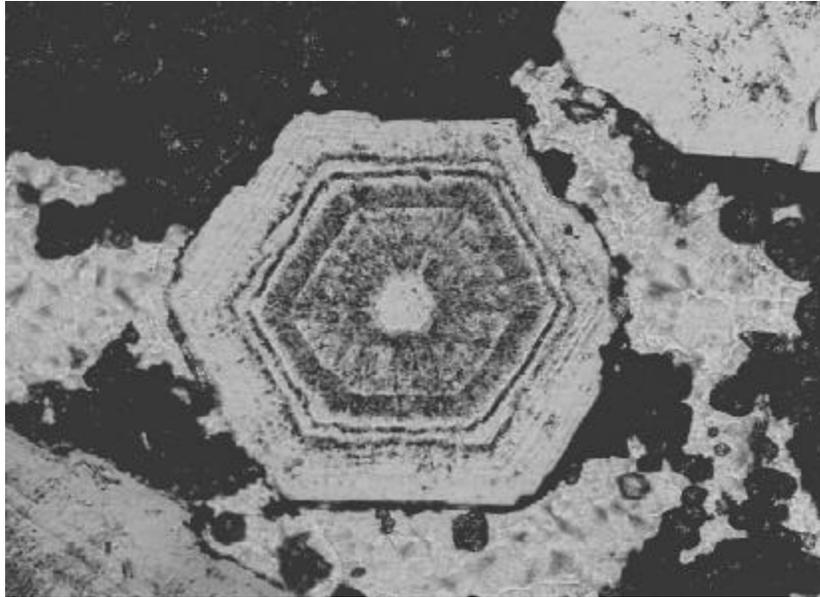
- Presencia de inclusiones fluidas primarias en zonas de crecimiento, las cuales son muy comunes en este yacimiento (fotomicrografía N° 2).
- No hay inclusiones con cristales de sal.
- Las inclusiones observadas sólo son de líquido/vapor, no hay presencia de CO₂.
- Evidencia de «**Boiling**» (ebullición) en algunas zonas de la mina.
- Presencia de FIF en texturas no modificadas o recrystalizadas.



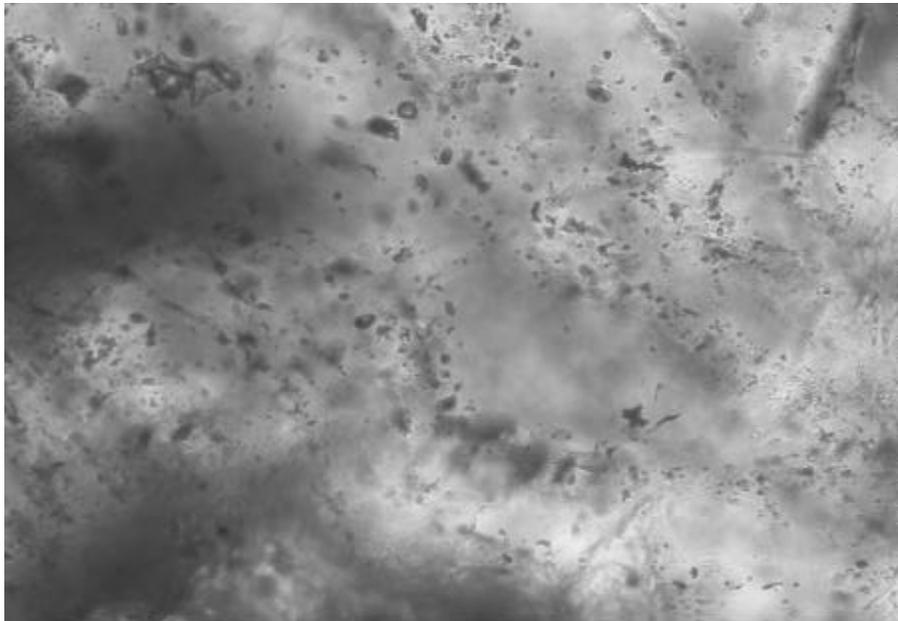
Fotomicrografía N° 2. Se observa una familia de inclusiones fluidas (FIF) capturada en un cristal de cuarzo.

Familias de inclusiones de origen primario. Presentan algunas inclusiones, pero no son vistas con claridad por la mala calidad de pulido que presentan las secciones. Las FIF encontradas en zonas de crecimiento son muy pequeñas para su estudio, ello nos llevaría a pensar que es un yacimiento epitermal de baja sulfuración; otras inclusiones que se presentan de origen primario son las

aisladas, que tienen formas redondeadas y con grado de llenado equilibrado. Muchas FIF encontradas son ricas en vapor, y algunas ricas en líquido. Eso hace pensar que estamos en una zona de ebullición («**Boiling**»). Por esta razón, no es necesaria la corrección por presión de las temperaturas (Goldstein y Reynolds, 1994) (microfotografías 6,7,8 y 9).



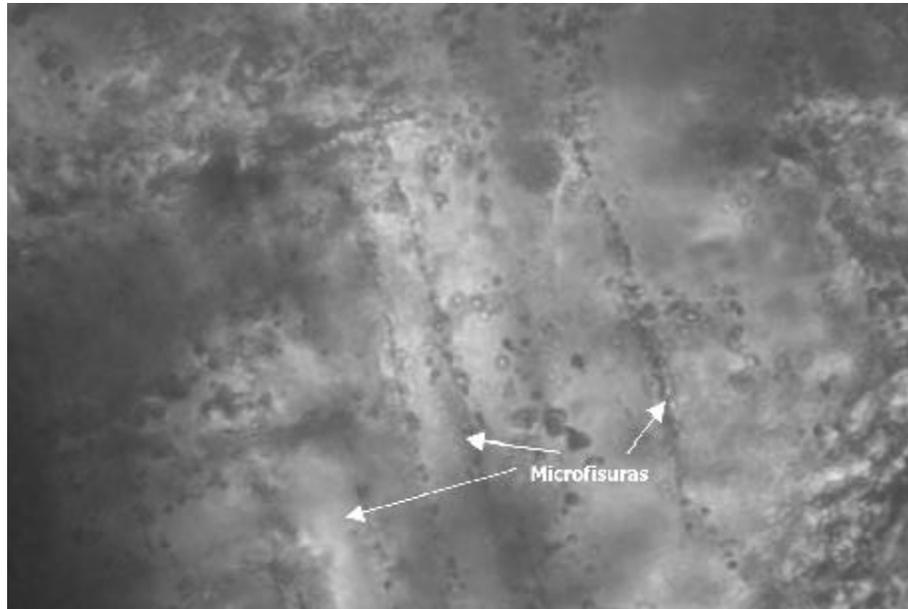
Fotomicrografía N° 3. Vista parcial de un cristal de cuarzo, zonas de crecimiento.



Fotomicrografía N° 4. 20x + zoom, N //. Zona de «Boiling» por IF ricas en vapor y agua líquido.

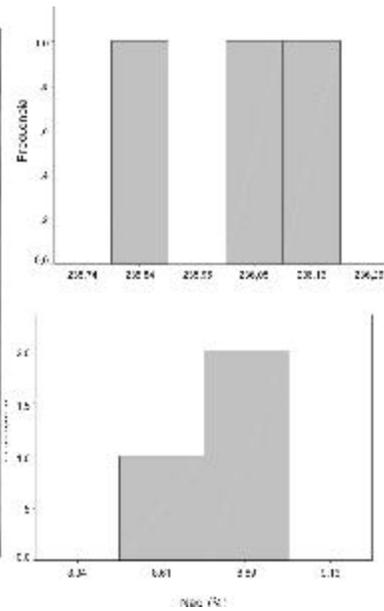
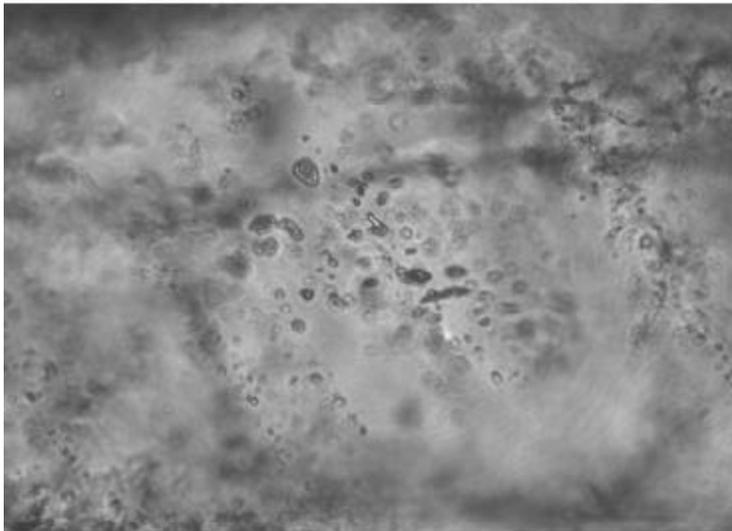
Familias de inclusiones de origen secundario. Presentes a lo largo de microfracturas. Son inclusiones fluidas con buen tamaño, lo que facilita su observación; algunas de ellas han sufrido

«Necking Down» (estrangulamiento), lo que las invalida para la microtermometría (Goldsstein y Reynolds, 1994).

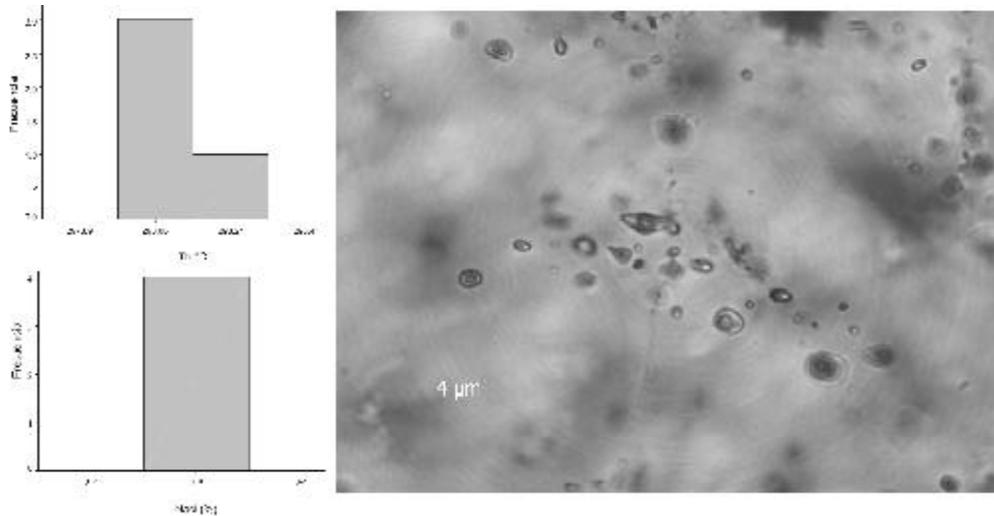


Fotomicrografías N° 5. 20x + zoom, N // . Se ven los IF alineadas en microfisuras.

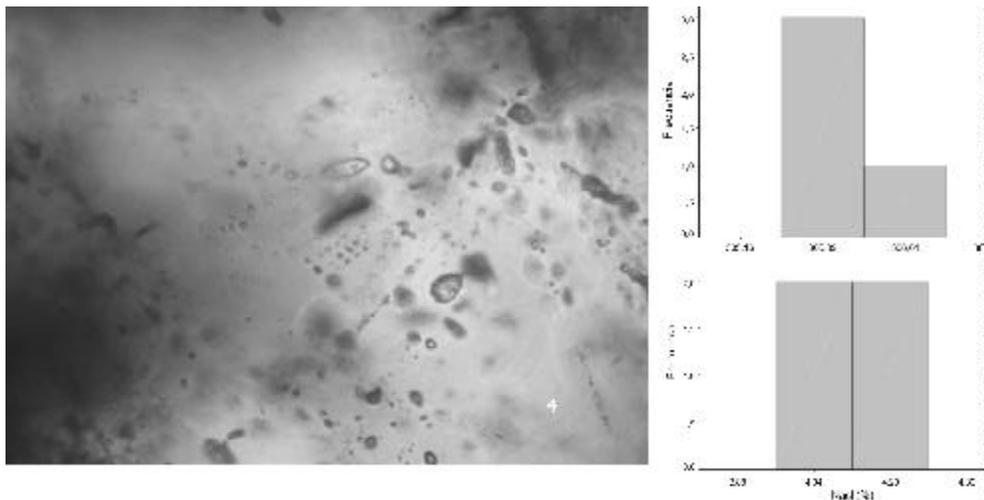
MEDIDAS REALIZADAS POR FAMILIAS DE INCLUSIONES FLUIDAS



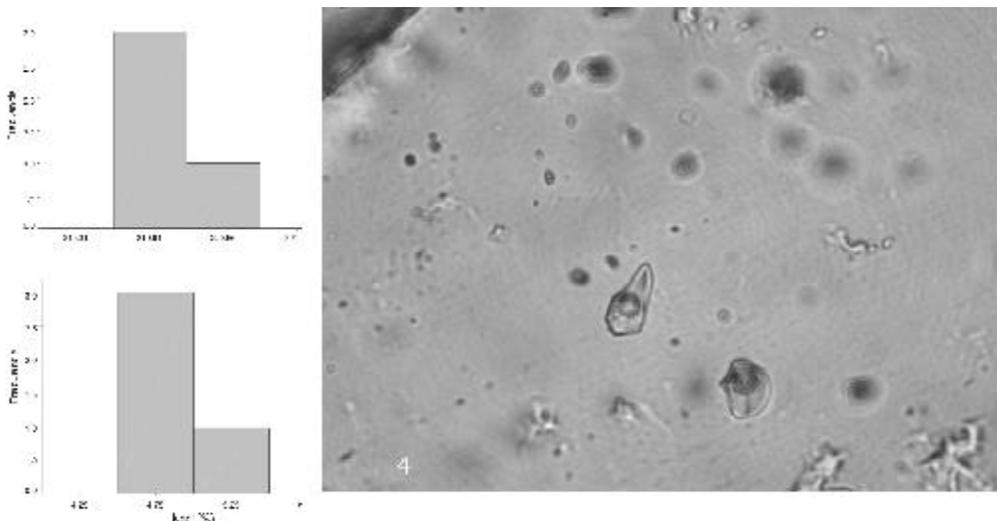
Fotomicrografías N° 6. N//. Nivel 4480 E. FIF primarias con un grado de llenado de 0.7, IF bifásicas con tamaños que varían entre 3-10 μ m. Las Th varían entre 235-236 °C y 8-8,5% NaCl.



Fotomicrografías N° 7. N//. Nivel 4480 W. FIF primarias con un grado de llenado de 0.75, IF bifásicas con tamaños que varían entre 3-8 µm. Las Th promedio es 298 °C y 0,88 % NaCl.



Fotomicrografías N° 8. N//. Nivel 4605 E. FIF primarias con un grado de llenado de 0.7, IF bifásicas, monofásicas con tamaños que varían entre 3-10 µm. Las Th varían entre 305-306 °C con 4-4,1 % NaCl.



Fotomicrografías N° 9. N//. Nivel 4430 W. FIF primarias con un grado de llenado de 0.65, IF bifásicas con tamaños que varían entre 3-10 µm. Las Th varían entre 219-220 °C con 4-5% NaCl.

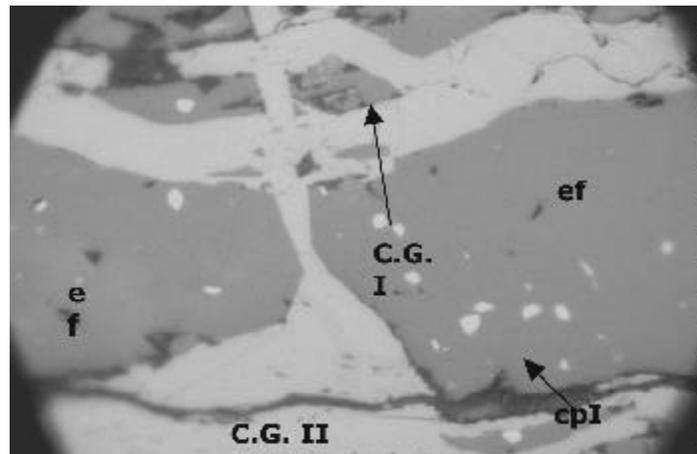
5. PARAGÉNESIS Y ZONAMIENTO

La paragénesis y el zonamiento de la Veta Bienaventurada son observables en un rango espacial de 230 m en sentido vertical y 1550 m en sentido horizontal. La mineralización hipógena se dio en dos secuencias paragenéticas, las que han sido determinadas mediante observaciones macroscópicas, estudios microscópicos de secciones delgadas y pulidas, microscopía electrónica de barrido y de inclusiones fluidas.

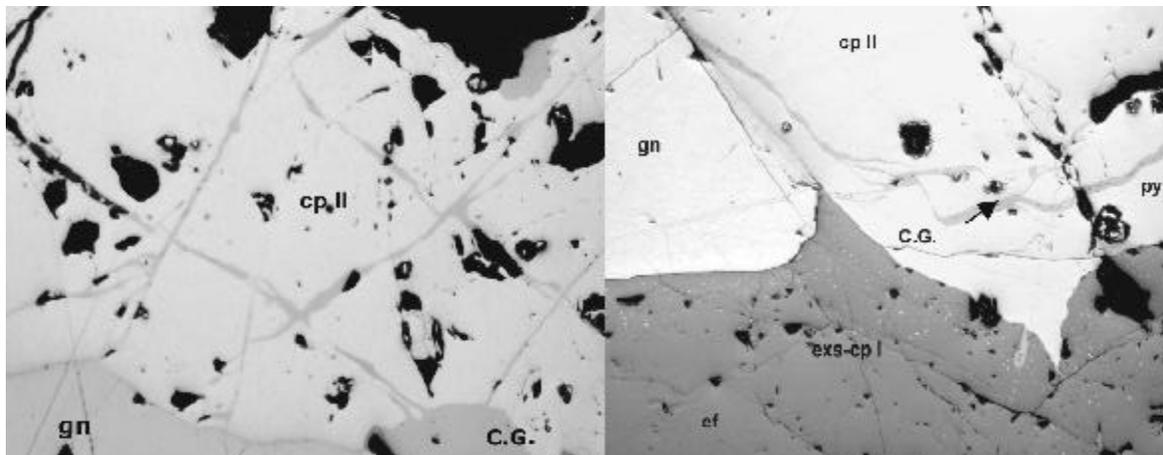
En la primera secuencia paragenética la pirita fue el primer mineral depositado en las estructuras, el cuarzo es otro mineral abundante de largo periodo de mineralización, seguida por esfalerita, calcopirita, cobre gris (freibergita,

tennantita), galena, bournonita, seligmannita, gratonita y barita; algo más tarde, rejalgar y oropimente. La segunda secuencia está constituida esencialmente por pirita, argentotennantita, freibergita, dufrenoyita, estibina y jordanita (ver fotomicrografías 10, 11 y 12). Los minerales de ambas secuencias se presentan en texturas de relleno y reemplazamiento. Finalmente, se puede observar una secuencia de minerales supérgenos constituida por melnikovita, anglesita, yeso, hematita y limonita.

En la veta Bienaventurada se nota un zonamiento vertical; los valores de cobre y zinc predominan en las partes altas, el plomo aumenta en profundidad y hay un aumento relativo de la plata, también en profundidad.



Fotomicrografía N° 10. Sección pulida. 50X. Dos tipos de cobre gris (CG) en venillas que se intersectan mutuamente sobre esfalerita con diseminaciones de calcopirita (cp).



Fotomicrografías N° 11 y 12. Sección pulida. 30X. La paragénesis es: pirita (py), seguida por esfalerita (ef), con diseminaciones de calcopirita (cp), calcopirita II (cp II), cobre gris (CG) y por último galena (gn). Nivel 4518.

CUADRO PARAGENÉTICO MINA BIENAVENTURADA

| | 1 CICLO | 2 CICLO |
|--------------|---------|---------|
| CUARZO | ----- | ---- |
| PIRITA | ----- | ---- |
| ESFALERITA | ----- | |
| CALCOPIRITA | ----- | |
| COBRE GRIS | | |
| GALENA | | |
| BARITINA | ----- | |
| BOURNONITA | | |
| SELIGMANNITA | | |
| GRATONITA | | |
| JORDANITA | | |
| DUFRENOYSITA | | ----- |
| ESTIBINA | | |
| REJALGAR | ----- | |
| OROPIMENTE | ----- | |
| MELNIKOVITA | | ----- |
| ANGLESITA | | ----- |
| YESO | | ----- |
| HEMATITA | | ----- |
| LIMONITA | | ----- |

 MAYOR TEMPERATURA
 INICIAL

 ► MENOR TEMPERATURA
 FINAL

6. INTERPRETACIÓN METALOGÉNICA

La veta Bienaventurada con rumbo general NE y posición subvertical, se formó por interacción de las fallas regionales Chonta y Huachocolpa, que al recibir esfuerzos compresivos formaron las fallas Bienaventurada, Bienaventurada Sur 1, Bienaventurada Sur 2 y Tatiana. Posteriormente, los fluidos mineralizantes que migraron del SW del distrito de Huachocolpa mineralizaron dichas fallas, convirtiéndolas en vetas. La composición de las soluciones mineralizadas están expresadas en función del porcentaje de NaCl y temperatura de homogeneización, obteniendo dos secuencias paragenéticas.

La primera secuencia está conformada por pirita, como primer mineral, seguida de esfalerita, calcopirita, cobres grises, galena, baritina, seligmannita, gratonita, rejalgam y oropimente; con porcentaje de NaCl entre 1,5-4% y temperaturas que varían entre 298-300 °C.

La segunda secuencia formada por cuarzo, pirita, cobres grises, dufrenoyista, seligmannita, jordanita, estibina; con porcentaje de NaCl que varía entre 5-8% y temperaturas de homogeneización entre 220-230 °C.

Según los resultados de cocientes metálicos e isovalores de elementos metálicos, la distribución de los metales está dada de la siguiente manera:

- El Cu, Pb y Zn se presentan en las partes altas de la veta constituida por calcopirita, cobres grises, galena, esfalerita y sulfosales de plomo.
- El Ag presenta una tendencia a profundizar hacia el SW de la veta con minerales de argentotennantita y freibergita, la cual se asume como una segunda secuencia paragenética que presenta una estructura con potencia mayor a 0,9 mts.

Finalmente, se presenta en el yacimiento minerales de alteración supérgena como melnikovita, anglesita, yeso, hematita y limonita.

7. CONCLUSIONES

1. El estudio de inclusiones fluidas ayudó a determinar y confirmar las áreas de mayor mineralización, la temperatura de formación del yacimiento y la presión, composición (salinidad), densidad y profundidad de las soluciones mineralizantes.
2. Abundantes inclusiones fluidas primarias de tamaños muy pequeños ($<1\mu$), ubicadas en las zonas de crecimiento de los cristales de cuarzo y la no presencia de CO_2 indican ambientes no profundos.
3. En algunas muestras se observó que conforme las I.F. se enfriaban, la relación de solubilidad producía la precipitación de un cristal sólido, lo que podría indicarnos otra fase de mineralización.
4. El rango de temperatura varía entre 200-330 °C, lo que confirmaría que estamos frente a un yacimiento epitemal.
5. La mineralogía de la veta Bienaventurada consiste de: esfalerita, galena, cobre gris, calcopirita, sulfosales de plomo, pirita, rejalgam, oropimente, baritina, cuarzo, estibina.
6. Las secuencias paragenéticas. La primera secuencia está conformada por pirita como primer mineral, seguida de esfalerita, calcopirita, cobres grises, galena, baritina, seligmannita, gratonita, rejalgam y oropimente; con porcentaje de NaCl entre 1,5-4% y temperaturas que varían entre 298-300 °C. La segunda secuencia formada por cuarzo, pirita, cobres grises, dufrenoyista, seligmannita, jordanita, estibina; con porcentaje de NaCl que

varía entre 5-8% y temperaturas de homogenización entre 220-230 °C.

7. Las alteraciones hidrotermales presentes son: filica, argilización intermedia, silicificación y potásica-adularia.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Charles, P. Roy, MacDiarmid (1981). *Yacimientos Minerales*. Ediciones Omega S.A., pp. 1-500.
2. Goldstein, R; Reynolds, J. (1994). *Systematic of fluid inclusions in diagenetic minerals*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), pp. 1-200.
3. Morche, W. & La Torre, & O. De la Cruz, & Cerrón, F. (1996). «Geología del Cuadrángulo de Huachocolpa». *INGEMMET, Boletín N° 63*, pp. 1-132.
4. Noble, D. C. (1973). «Geología de las rocas volcánicas del Distrito Minero de Huachocolpa». Informe privado, pp. 1-30.
5. Salazar, H. (1975). «Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuaná, Tupe, Conaica, Chíncha, Tantaray y Castrovirreyna». *INGEMMET, Boletín N° 44*, pp. 1-97.
6. Shepherd, T. Rankin, A. & Alderton, D. (1985). «A Practical guide to fluid inclusion studies». XI, pp. 1-230; Glasgow (BACKIE).
7. Tumialan, P. H. (2003). «Compendio de yacimientos minerales del Perú». *INGEMMET, Boletín N° 10*, serie B, pp. 1-619.
8. Valdivia, J. (1994). «Cartografiado geológico del área de la veta Bienaventurada». Informe privado de la Cía. Minera Caudalosa S.A., pp. 1-30.