

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA,
METALOGRÁFICA, MICROTERMOMÉTRICA
Y COMPOSICIONAL DE LA MINA
EL GRAN PORVENIR, LÍBANO, TOLIMA.**

**20
18**

DIANA LUCÍA ANGÉE MORENO

CARLOS ANDRÉS BETANCUR OSORIO

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Geología



**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA, METALOGRÁFICA,
MICROTERMOMÉTRICA Y COMPOSICIONAL DE LA MINA EL GRAN
PORVENIR, LIBANO, TOLIMA.**

Diana Lucía Angée Moreno

Carlos Andrés Betancur Osorio

Director

Mauricio Alvarán Echeverri

Manizales, 2018.

NOTA DE ACEPTACIÓN

APROBADO



Mauricio Alvarán Echeverri

Director del trabajo de grado

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general:.....	3
2.2Objetivos específicos:	3
3. LOCALIZACIÓN	4
4. METODOLOGÍA.....	5
4.1 ETAPA I: Revisión bibliográfica.	5
4.2 ETAPA II: Trabajo de campo.	5
4.3 ETAPA III: Preparación de muestras.	5
4.4 ETAPA IV: Etapa de laboratorio.....	6
5. TRABAJOS ANTERIORES	7
6. GEOLOGÍA REGIONAL	9
6.1 Neises y Anfibolitas de Tierradentro (T-Mmg3) (MP3NP1-Mag2):.....	9
6.2 Complejo Cajamarca (T-Mbg3):	9
6.3 Rocas sedimentarias de Santa Teresa (?T-Sm):.....	10
6.4 Lavas e ignimbritas de composición andesítica (N2-Vi):.....	10
6.5 Depósitos cuaternarios (Q-p):.....	10
7. GEOLOGÍA LOCAL.....	11
7.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	11
7.2 ROCA CAJA	11
7.3 VETAS Y DIQUES.....	12
7.3.1. Vetas	13
7.3.2 Diques	14
8. PETROGRAFÍA.....	16
8.1 ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	17
8.1.1 Carbonatización.....	187
8.1.2 Sericitización:.....	18
8.2 TEXTURAS DEL CUARZO	19
8.2.1 Texturas primarias	19
8.2.2 Texturas de recristalización	20

9. METALOGRAFÍA.....	21
9.1 TEXTURAS DE MENA	243
10. SECUENCIA PARAGENÉTICA Y ASOCIACIONES MINERALÓGICAS	287
11. ANÁLISIS DE ORO.....	310
11.1 TAMAÑOS Y MORFOLOGIA DE LOS GRANOS DE ORO	365
12. CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO MINERALIZANTE	387
12.1 ANÁLISIS CON MICRORAMAN.....	387
12.2 MICROTERMOMETRÍA	421
12.2.1 Petrografía de las inclusiones fluidas	42
12.2.2 Interpretación de datos microtermométricos	487
12.2.2.1 Temperatura eutéctica:	487
12.2.2.2 Salinidad:.....	49
12.2.2.3 Densidad:.....	521
12.2.2.4 Temperatura de homogenización:	532
13. DISCUSIÓN.....	576
14. CONCLUSIONES	610
15. BIBLIOGRAFÍA	621
16. AGRADECIMIENTOS	675

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la mina El Gran Porvenir. Líbano, Tolima. Tomado de DEM 30m NASA.....	4
Figura 2. Mapa Geológico de los alrededores del Líbano, Tolima. Gómez <i>et al.</i> , 2015.....	9
Figura 3. Esquistos grafitosos del Complejo Cajamarca, observados dentro de la concesión minera. Corresponde a la roca caja de la mineralización. Se evidencian dos venillas de cuarzo y carbonatos que la atraviesan.....	12
Figura 4. Plano topográfico de la mina El Gran porvenir con los niveles de desarrollo. Coordenadas Colombia Bogota Zone. Escala 1:2500, (Mina Gran Porvenir, 2018)	13
Figura 5. Vetas en la mina El Gran Porvenir que representan los eventos principales. a) Veta dos: Presenta un bandeamiento de cuarzo con sulfuros que indican reactivación de esta. b) De izquierda a derecha: Veta del evento uno, veta del evento dos y dique, en su respectivo orden de formación. Se observa la primera con un cuarzo lechoso y poca presencia de sulfuros, siendo cortada por la veta dos, que se encuentra altamente mineralizada y se caracteriza por el bandeamiento de sulfuros. La roca de color verdoso ubicada al lado derecho de la imagen es uno de los diques aplíticos descritos con anterioridad, y se encuentra intruyendo la segunda veta.....	14
Figura 6. Dique aplítico emplazado en esquistos del Complejo Cajamarca. a) se observa que está siendo atravesada por una venilla de cuarzo poco mineralizada que representa el evento tres. b) El dique continúa de manera paralela con algunas venillas que presenta la roca caja.....	15
Figura 7. a) y b) Esquisto grafitoso que corresponde a la roca caja. Se observa grafito (Gr) y moscovita (Ms), siguiendo una disposición preferencial generando una textura lepidoblástica con crenulación. 500X, PPL y 50X, XPL.....	16
Figura 8.a) Scheelita (Sch) que en sus fracturas alberga cuarzo (Qtz) y carbonatos. (Cb). 50X, XPL. b) Carbonatos (Cb) y cuarzo (Qtz), y pequeños cristales de moscovita (Ms). 100X, XPL.....	17
Figura 9. Asociación típica de carbonatización, donde se observan cristales de a) Cuarzo (Qtz), carbonato (Cb) de gran tamaño y algo de clorita (Chl). 100X, XPL. b) Cristales de cuarzo (Qtz) y carbonato (Cb), con un tamaño mayor al común en el depósito. 50X, XPL.....	18
Figura 10. a) Cristales de cuarzo (Qtz) y sericita (Ser) que muestran deformación dúctil. 200X, XPL. b) Cristales de cuarzo (Qtz), carbonato (Cb), sericita (Ser) y moscovita (Ms). 50X, XPL.....	19
Figura 11. a) Textura crustiforme en la veta del evento uno. 50X, XPL b) Textura comb. 50X, XPL. En este caso ambas están asociadas a carbonatos.....	20
Figura 12. a) Textura en mosaico. 5X XPL. b) Textura bulging. 20X, XPL.....	21

Figura 13. a) Exsolución de esfalerita (Sp) y calcopirita (Ccp) generando una textura “chalcopyrite disease” que está cristalográficamente orientada. b) Galena con pits triangulares albergada en fracturas de pirita (Py). 100X, PPL.....	21
Figura 14. Se observa la dislocación de la galena (Gn) gracias a sus pits triangulares que evidencian el sometimiento de la veta a deformación. También se aprecian cristales como esfalerita (Sp) y pirita (Py). 50X, PPL.....	22
Figura 15 a) Cristales de pirita (Py) y melnikovita (Mnk) emplazadas en las fracturas del cuarzo (Qtz). 100X, PPL. b) Cristales de esfalerita (Sp) y pirita (Py), esta última siendo reemplazada por pirrotina (Po). 200X, PPL.....	23
Figura 16. Textura de reemplazamiento pseudomórfico de marcasita (Mrc) en pirita (Py). Al igual se observan otros minerales asociados a la pirita (Py), como pirrotina (Po), carbonatos (Cb) y cuarzo (Qtz).....	23
Figura 17. Reemplazamiento centrifugo de pirrotina (Po) en pirita (Py), indicando altas temperaturas y presiones bajas. Además, se observan otros minerales como melnikovita (Mnk) y cuarzo (Qtz). 200X, PPL.....	24
Figura 18. Textura “chalcopyrite disease” o cristalográficamente orientada, entre esfalerita (Sp) y calcopirita (Ccp), y algunas piritas (Py) presentando textura esqueletal. 100X, PPL.....	25
Figura 19. Pirita (Py) esqueletal incluida en esfalerita (Sp) con exsolución de calcopirita (Ccp). 100X, PPL.....	26
Figura 20. Secuencia paragenética del yacimiento.....	28
Figura 21. a) Se observan dos granos subredondeado de oro (Au) libre. 500X, PPL. b), c) y d) el oro (Au) se presenta en las fracturas de la pirita (Py) asociado con esfalerita (Sp) galena (Gn) y la calcopirita (Ccp). 100X, PPL. 500X, PPL. 100X, PPL respectivamente..	30
Figura 22. a) y b) El oro se presenta en las fracturas de pirita (Py), asociado con galena (Gn) y esfalerita (Sp). 100X, PPL y 200X, PPL.....	32
Figura 23. Modo de ocurrencia de los granos de oro en la mina El Gran Porvenir. Predominando el oro “en fracturas” e “incluido”. La forma menos común de encontrarse es “libre”, ya que solo se presentaron dos granos de oro en cuarzo.....	33
Figura 24. Asociación mineral del oro incluido, 302 granos, con un predominio de oro únicamente en pirita, y en pirita asociada a galena.....	33
Figura 25. Modo de ocurrencia más común que tiene el oro en el yacimiento. Se encuentra a menudo dentro de las fracturas de la pirita, y en ocasiones se asocia a otros minerales como galena, cuarzo y esfalerita.....	34
Figura 26. Asociación del oro con algunos minerales presentes en la mina El Gran Porvenir. En total hay 24 granos de oro en los bordes de algunos minerales donde la asociación más común es cuarzo – pirita.....	34

Figura 27. Correlación de los tamaños de oro encontrados en la mina El Gran Porvenir entre la mayor y la menor longitud presentada.....	35
Figura 28. Distribución según morfología de los granos de oro analizados en la mina El Gran Porvenir.....	36
Figura 29. “Resonancia de Fermi” que consta de dos picos mayores que están acompañados de dos “bandas calientes” a sus alrededores. Tomado de (Burke, 2000) ...	37
Figura 30. Se aprecian cinco inclusiones fluidas con su respectivo espectro, dando valores de 1285 y 1388 cm ⁻¹ que corresponden a los picos de CO ₂	38
Figura 31. Estimación de la densidad del CO ₂ , mediante espectroscopia Raman según diferentes autores. Tomado de Frezzotti et al., (2011).....	39
Figura 32. Inclusión fluida con su respectivo espectro, dando valores de 2917 cm ⁻¹ , indicando la presencia de CH ₄ en el fluido.....	39
Figura 33. Se observan tres inclusiones fluidas con su respectivo espectro, dando valores de 2329 y 2330 cm ⁻¹ que corresponden a los picos de N ₂	40
Figura 34. Inclusión fluida con su respectivo espectro, dando valores de 1621 cm ⁻¹ , indicando la presencia de H ₂ O líquido en el fluido.....	40
Figura 35. Inclusión fluida primaria que muestra la doble burbuja de CO ₂ a temperatura ambiente, mina El Gran Porvenir. 500X, PPL.....	41
Figura 36. Clasificación para inclusiones fluidas propuesta por Nash en 1976.....	43
Figura 37. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas. Tipo I a V de Nash y Theodore (1971). Tipo a hasta e de Ahmad y Rose (1980), L, líquido y V, vapor.....	44
Figura 38. Clasificación de las inclusiones fluidas según su morfología. (Calua, 2014)...	45
Figura 39. Clasificación de las inclusiones fluidas del evento uno y dos en la mina El Gran Porvenir, según diferentes autores. Además, la clasificación con respecto a su morfología.....	46
Figura 40. Gráfico de frecuencia para la temperatura eutéctica que indico la presencia de CO ₂ en las inclusiones fluidas de la mina El Gran Porvenir. Las temperaturas menores a -56 °C corresponden a inclusiones con contenido de N ₂ Y CH ₄	49
Figura 41. Composición de los fluidos de mena de diferentes depósitos de oro, con las proporciones molares para el H ₂ O y CO ₂ y la salinidad (wt % NaCl equiv). Los puntos en amarillo corresponden a los datos de salinidad y cantidad molar de CO ₂ en las inclusiones de la mina El Gran Porvenir. Tomado de Ridley y Diamond (2000).....	50
Figura 42. Etapas de una inclusión fluida albergada en cuarzo hasta llegar al punto de su temperatura de homogenización. a) Inclusión casi completamente congelada, se empieza a observar la primera fusión de hielo. b) Se presenta la fase líquida y de vapor, donde esta segunda es de menor tamaño debido a que está alcanzando su temperatura de ebullición. c) Inclusión a 28°C, la burbuja de vapor de CO ₂ ya ha desaparecido. d) Temperatura de homogenización alcanzada a los 301°C, sólo puede verse una fase líquida. 500X, PPL. ...	52
Figura 43. Cambios observados a diferentes temperaturas en tres inclusiones fluidas en	

esfalertita. a) Fase de vapor de CO₂, líquida de CO₂.y de H₂O, a 12°C. b) Fase líquida de CO₂ y H₂O. Ya ha desaparecido la burbuja de vapor de CO₂. a los 26°C. c) Fase cercana a la Th de las tres inclusiones (291°C), aún puede observarse la burbuja líquida de CO₂ en dos de estas. d) Temperatura de homogenización alcanzada en las tres inclusiones a 300°C. 500X, PPL.....53

Figura 44. Gráfica que representa el número de inclusiones que presentaron su temperatura de homogenización en diferentes rangos de temperatura 54

Figura 45. Clasificación del depósito según la relación de la temperatura (°C) y la salinidad (wt.% NaCl. eq) Modificado de Hurai et al., (2015).....55

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Asociaciones mineralógicas de mena encontradas en la mina El Gran Porvenir para cada evento mineralizante.....	27	Tabla 2. Asociaciones mineralógicas relacionadas a alteraciones hidrotermales encontradas en la mina El Gran Porvenir para cada evento mineralizante.....	28
Tabla 3. Tabla de la cantidad de granos de oro en cada nivel de la mina El Gran Porvenir.....	31	Tabla 4. Sistemas salinos-acuosos más relevantes para las inclusiones fluidas acuosas. Las temperaturas eutécticas encontradas en la mina El Gran Porvenir están resaltadas en amarillo Propuesta por Borisenko, 1977 en Shepherd <i>et al.</i> , 1985.....	48
Tabla 5. Características de los sistemas encontrados en inclusiones fluidas. Resaltado en amarillo están la primera temperatura eutéctica identificada en la mina El Gran porvenir, que corresponde a CO ₂ . Tomado de Ridley y Diamond (2000).....	48	Tabla 6. Densidades del fluido mineralizante obtenidas por el programa BULK, Bakker (2003).....	51
Tabla 7. Compilación de los tipos de inclusiones fluidas presentes en 94 depósitos de Oro Orogénico alrededor del mundo. Tomado de Ridley y Diamond (2000).....	57	Tabla 8. Características de algunos depósitos de Oro Orogénico, en comparación con los resultados obtenidos para la mina El Gran Porvenir. Modificado de Groves et al., (1998).	59

RESUMEN

La mina El Gran Porvenir es un yacimiento de oro vetiforme encajado en rocas del complejo Cajamarca, ubicada en el Líbano, Tolima. En el que al menos se presentaron tres eventos mineralizantes: 1) Veta de cuarzo masivo y mineralización diseminada. 2) Veta con bandas de cuarzo y sulfuros. 3) Veta masiva con mineralización diseminada de muy poco espesor. En general, la dirección de las vetas está hacia el NE con buzamiento al NW, y sus espesores varían de 0,8 a 4 metros. La mineralogía de las vetas en El Gran Porvenir está dada por: cuarzo, pirita, galena, esfalerita, calcopirita, oro, pirrotina, scheelita, marcasita, carbonatos, anatasa y telururos; es muy común encontrar la esfalerita y calcopirita en exsolución, formando la textura “*chalcopyrite disease*”, indicando una temperatura de formación alrededor de los 300°C. Se realizó un análisis de los granos de oro, se contaron 667 granos en cuatro niveles de la mina, con tamaños principalmente entre 0,1 – 100 μm y una forma preferencial subelongada; su modo de ocurrencia más común es en fracturas de pirita asociado a cuarzo, esfalerita y galena; y también incluido en pirita. Carbonatización y sericitización son las alteraciones hidrotermales presentes, las cuales indican rangos de temperatura entre 300° y 400°C y 200° y 350°C respectivamente y PH neutro del fluido mineralizante; además de texturas de recristalización tipo “*Bulging quartz*” que indica condiciones de deformación dúctil – frágil generadas a temperaturas <350°C.

La composición del fluido mineralizante encontrada en el análisis de inclusiones fluidas muestra que H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 se encuentran en dos fases, junto con sales como NaCl, KCl, con una salinidad promedio de 8,6047 wt% NaCl y densidad de 0,761004 g/cc. Por medio de microtermometría pudo determinarse que la formación del yacimiento se dio entre 243 y 348°C. Las características mencionadas con anterioridad permiten inferir que la mina El Gran Porvenir tiene características de un depósito de tipo oro orogénico (*Orogenic Gold Deposit*).

1. INTRODUCCIÓN

La mina El Gran Porvenir, está ubicada en el municipio del Líbano, Tolima, en la cordillera Central, flanco occidental. Consta de vetas cuarzosas encajadas en los esquistos grafitosos del Complejo Cajamarca. Presenta 12 niveles, alcanzando los 285 metros de profundidad. Durante sus años de operación, la empresa ha contado con limitados estudios metalográficos y químicos que han sido dedicados exclusivamente al aumento de la producción, sin embargo, debido a sus características estructurales y mineralógicas se hace importante extender estos trabajos al ámbito investigativo.

El yacimiento se encuentra en condiciones estructurales y mineralógicas particulares, que han complicado la discusión sobre su clasificación; por lo que, a través de técnicas analíticas como metalografía, análisis de microraman y microtermometría se establecieron las características principales de la mineralización y el fluido que la generó.

Por medio de la petrografía se estudiaron los tamaños, formas, texturas de cuarzo y alteraciones presentes en los minerales tanto de la roca caja como de las vetas; en esta primera hay una gran abundancia de moscovita que sigue una disposición preferencial con el grafito. La moscovita sigue los planos de foliación y presenta un tamaño variable, de muy fino a grueso y en ocasiones alterándose a clorita. También la roca caja presenta carbonatos y cuarzo con una forma de anhedral a subhedral y un tamaño de fino a grueso. Por su parte, la veta está compuesta principalmente por cuarzo y carbonatos, y en menor proporción moscovita, grafito, scheelita, clorita, clinozoisita, biotita y apatito, y sulfuros como pirita, galena, esfalerita, calcopirita, pirrotina y marcasita. La alteración hidrotermal principal es la carbonatización, que se encuentra en todos los niveles de la mina, y la sericitización, que se presenta en menor cantidad y más localizada.

La metalografía permitió determinar asociaciones mineralógicas como Au-Gn, Au-Sp, y Au-Qzo principalmente en fracturas de pirita. El oro también se presenta incluido en pirita, esfalerita, y en estado libre. Su tamaño predominante va de 0,1 a 100 μ m, aunque se observaron granos de hasta 276 μ m.

Las inclusiones fluidas estudiadas en cuarzo y esfalerita, están compuestas de H₂O, CO₂, N₂, CH₄ y sales como NaCl y KCl, información que se obtuvo por medio de microraman y microtermometría, respectivamente. Esta última, permitió determinar la salinidad, presión y temperatura de atrapamiento del depósito. Las inclusiones fluidas estudiadas en la mina El Gran Porvenir presentan en promedio una salinidad de 8.6047 %wt NaCl, densidad de 0.761004 g/cc y temperatura de homogenización o atrapamiento entre 243.8 hasta 348.2 °C

Este trabajo presenta avances en el tema de la caracterización del yacimiento que conforma la mina El Gran Porvenir del Líbano, además de dar un apoyo a la producción de oro y plata por medio de análisis metalográficos de granos de oro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

- Realizar la caracterización petrográfica, metalográfica, microtermométrica y composicional de la mina El Gran Porvenir del Líbano, Tolima.

2.2 Objetivos específicos:

- Determinar las características mineralógicas del yacimiento y las asociaciones mineralógicas del oro, tamaño promedio y modo de ocurrencia de este.
- Determinar posibles minerales deletéreos asociados a las mineralizaciones.
- Definir la secuencia paragenética del depósito mediante análisis de las texturas de cuarzo y minerales de mena.
- Establecer las características de los fluidos mineralizantes, mediante análisis microtermométricos y de microraman.
- Plantear un modelo preliminar de depósito para la mina El Gran Porvenir.

3. LOCALIZACIÓN

La mina El Gran Porvenir se encuentra en la vereda El Porvenir, a tres kilómetros del norte del municipio del Líbano, Tolima, en la cordillera Central de Colombia, aproximadamente a 130 km al noroeste de la ciudad de Ibagué, capital del departamento del Tolima (Figura 1).

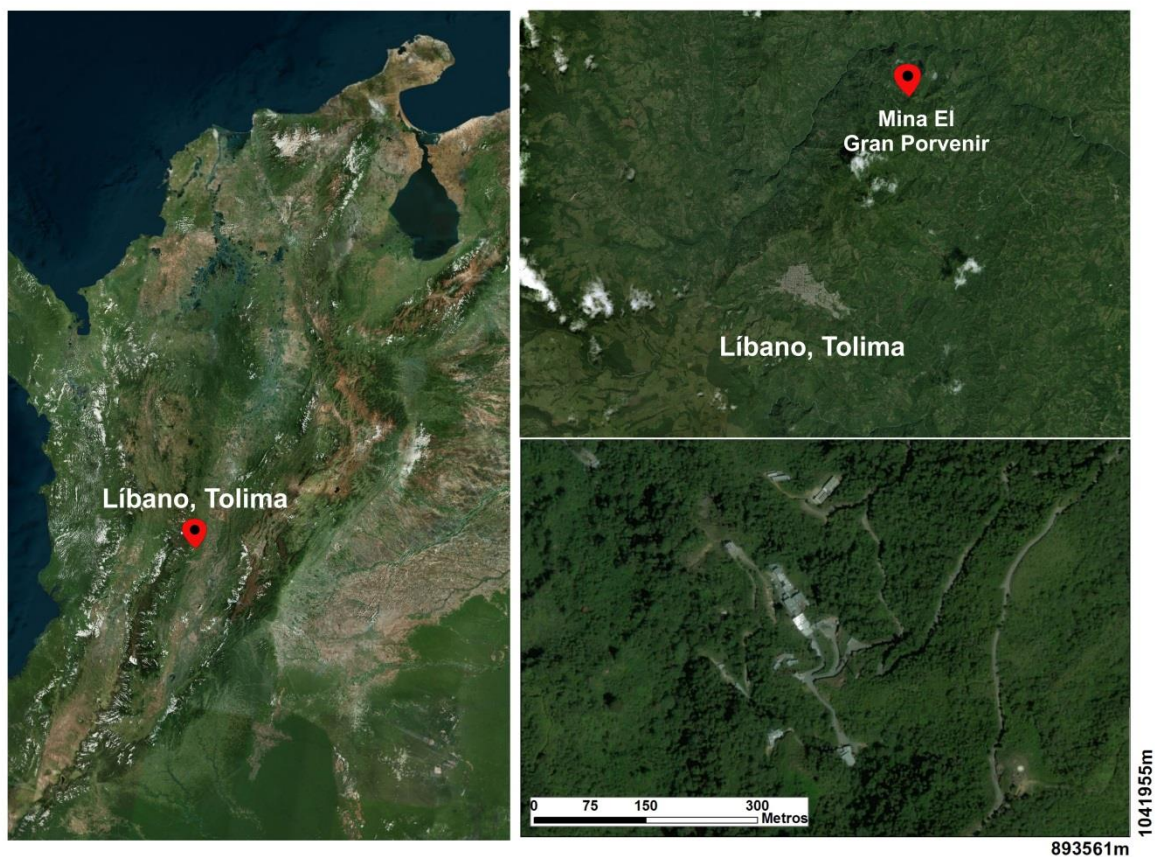


Figura 1. Mapa de localización de la mina El Gran Porvenir. Líbano, Tolima. Tomado de DEM 30m NASA.

Al yacimiento se accede por una vía secundaria que conduce a la vereda La Polca, donde posteriormente se presenta un desvío hacia la derecha que conduce al lugar de interés.

4. METODOLOGÍA

4.1 ETAPA I: Revisión bibliográfica.

A partir de artículos científicos, tesis de grado, mapas geológicos y estudios que se realizaron con anterioridad en la mina El Gran Porvenir, se obtuvo información de la geología de la zona en general y del yacimiento.

4.2 ETAPA II: Trabajo de campo.

Se hicieron varias visitas al lugar de estudio antes de realizar la recolección de muestras, con el fin de conocer el depósito, su mineralización y las estructuras presentes; durante esta primera fase se hicieron varios recorridos por los túneles y alrededores de la mina para poder lograr una descripción más completa de su geología local.

Posteriormente, se recolectaron 45 muestras de mano de las vetas, roca caja y diques en diferentes niveles del socavón, procurando lograr una distribución amplia y representativa del yacimiento. Las muestras fueron extraídas con ayuda del personal de la mina, de los niveles diez, nueve, cinco, cero, Chucula y Avance.

4.3 ETAPA III: Preparación de muestras.

Luego de hacer un análisis de las muestras de mano recolectadas, dónde se tuvo en cuenta el tipo de roca, la veta a la que pertenecía y los minerales que la componían; se eligieron 16 muestras como las más representativas para obtener de ellas secciones delgadas pulidas. De cada una de las muestras de mano se eligió una zona para elaborar su respectiva sección y se enviaron al laboratorio MINERLAB Ltda en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Para llevar a cabo el estudio de microtermometría, se analizaron las secciones pulidas con el fin de encontrar las zonas con mayor cantidad de inclusiones fluidas y que estuvieran bien distribuidas dentro de la mina. Las contra muestras respectivas fueron enviadas nuevamente al laboratorio en Bogotá para la fabricación de las secciones doblemente pulidas.

Se efectuó un mapeo de las secciones doblemente pulidas, seleccionando donde se encontraban mayor variedad de inclusiones fluidas. Para realizar la microtermometría, es importante hacer un análisis petrográfico en el que se clasifican las inclusiones a temperatura ambiente, determinando su forma, las fases presentes (gas, líquido o sólido) y en qué mineral se encuentran. Existen tres tipos de inclusiones: Primarias, secundarias y pseudosecundarias; donde las primeras son las que se tomaron en cuenta para el estudio debido a que estas se originan al momento de la cristalización, y arrojan información sobre el fluido mineralizante de interés.

Para realizar el análisis las muestras deben ser separadas del vidrio, por lo que se sumergió cada una en acetona por 24 horas. Posteriormente se extraen las zonas seleccionadas durante el mapeo y se disponen para su análisis.

4.4 ETAPA IV: Etapa de laboratorio.

Esta etapa se divide en varias fases, debido a que se hicieron análisis diferentes para cada tipo de sección las cuales serán descritas a continuación.

- **Descripción de muestras de mano:** Primer estudio, anterior a la elaboración de las secciones. Se llevó a cabo en el laboratorio de Yacimiento Minerales de la Universidad de Caldas. Consistió en hacer una descripción más detallada de los minerales que componen el yacimiento, incluyendo sus propiedades físicas y asociación mineralógica.
- **Análisis petrográfico y metalográfico:** Realizado en el laboratorio de Metalografía de la Universidad de Caldas, en un microscopio Nikon Eclipse 50i POL. Durante esta fase las 16 secciones fueron observadas detalladamente y de allí se extrajo información sobre los minerales que las componían, y las texturas que presentaban, paragénesis, tamaño y ocurrencia del oro.
- **Análisis de micro raman:** Desarrollado en el laboratorio de Microscopia y Microtermometría de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, en un equipo Renishaw Centrus 0281Q1 con un objetivo de 50X y un láser de 532 nm. El objetivo de este estudio fue determinar la composición de la fase gaseosa de las inclusiones fluidas previamente seleccionadas.
- **Análisis de microtermometría:** Fase final de la etapa de laboratorio, en la que por medio de un microscopio Zeiss Scope equipado con una platina LINKAM TH600, ubicado en el laboratorio de Metalografía y Microtermometría de la Universidad de Caldas, se determinaron las temperaturas a las que ocurrieron cambios en la inclusión fluida, para así obtener composición, salinidad, densidad, temperatura del fluido mineralizante y presión mínima de atrapamiento.

5. TRABAJOS ANTERIORES

Restrepo, (1979) afirmó que el departamento del Tolima se ha considerado rico en oro y plata desde la época de la colonia, principalmente en depósitos aluviales. Se encontraron también estos metales en numerosas vetas que hasta la época no demostraban ser productivas.

En el mapa metalogénico de Colombia (2016) aparecen clasificados tres distritos mineros en el Tolima: Dos de Au – (Ag) y uno de Cu. El distrito que alberga el municipio del Líbano, es de Au – (Ag) y sus depósitos están asociados a: **1) Pórfidos**, **2) Depósitos sin clasificar de Au (Ag – Cu – Pb – Zn – As), Cu y Granate**, **3) Rocas, minerales industriales y piedras ornamentales como granitos, micas, calizas o mármoles, talco - magnesita.**

En la mina El Gran Porvenir se han realizado algunos estudios en los que han establecido mineralogía, orden de depositación y se ha tratado de dar alguna idea sobre el tipo de depósito, sin embargo, esta discusión no está resuelta.

Márquez (2007) en su estudio de caracterización mineralógica de la mina El Gran Porvenir observó que el mineral de mena predominante es la galena, encontrándose en un 50% de la veta, seguido de la pirita (30%) y esfalerita con (15%). Como minerales accesorios define la tetraedrita (2%) calcopirita (2%) pirrotina (1%) y oro. La galena se presenta como cristales independientes, en intercrecimiento con cuarzo, rellenando fracturas en pirita, asociada a esfalerita y/o tetraedrita, y en forma de inclusiones bifásicas oro/galena dentro de pirita. En el caso de la pirita se presenta altamente fracturada, y sus fracturas son posteriormente rellenadas por galena y esfalerita; también puede presentarse en inclusiones de pirrotina, galena y/o esfalerita. Esta última contiene múltiples y finas inclusiones de calcopirita. La tetraedrita está íntimamente ligada con la galena y la pirrotina exclusivamente como inclusiones en la pirita.

Márquez (2007) reporta 12 granos de oro, entre los cuales ocho están asociados íntimamente con galena, presentando intercrecimiento en ella, sea en forma de inclusión bifásica o acompañándola en fracturas. Todas ellas están relacionadas además con pirita. Se encontró un grano como inclusión en esfalerita, dos rellenando fracturas de pirita y uno asociada a esfalerita y otro a galena. El tamaño promedio de los granos de oro es de 21µm. El autor afirma que el proceso de obtención de oro puede dificultarse debido a su asociación con galena, que se oxida fácilmente formando sulfato de plomo, y consume el cianuro al mezclarse con él para generar sales.

Pratelli (2010) en el estudio que hizo en la mina El Gran Porvenir define cuatro tipos de cuarzo, que en orden de depositación son: masivo, bandeado, moteado y en drusa. El cuarzo bandeado representa varias generaciones de mineralización y es el que tiene mayor cantidad de sulfuros. La pirita es el principal constituyente de las vetas y puede darse de manera

masiva o euhedral. La esfalerita ocurre como agregados cristalinos alrededor de la pirita. La galena parece haber ocurrido de última en la secuencia paragenética, debido a que se encuentra en zonas ya mineralizadas, principalmente en fracturas de la pirita, acompañada por esfalerita; también puede darse reemplazando sulfuros pre existentes. El oro se da como electrum y no en estado puro, presentándose en las fracturas de la pirita y en ocasiones asociado con covelina. Otros minerales determinados por este autor fueron: Acantita, tetraedrita, calcocita, calcopirita y scheelita.

La mineralogía de la mina El Gran Porvenir según Ramírez (2014) está encajada en un esquisto con crenulación, donde predominan las fases grafitosas, y hay presencia de sericita; están compuestos por agregados de cuarzo, plagioclasa, algo de esfena, clorita, carbonatos, epidota, moscovita y actinolita; se evidencia también un alto contenido de pirita diseminada, ésta es cúbica y se puede asociar a condiciones singenéticas al metamorfismo, por lo que su presencia no indicaría altos valores de oro. Su dirección de foliación es N – NE con buzamiento al NW. Esta roca se encuentra atravesada por venillas de carbonato que cortan la foliación o siguen sus planos. La mineralización se da en vetas cuarzosas de aspecto lechoso y localmente drusiforme, con direcciones N10 - 30°E / 35 - 55° NW.

De manera más general, Ramírez (2014) describe que los minerales encontrados son pirita, galena, esfalerita, calcopirita, scheelita, pirrotina, malaquita (de la cual, su baja proporción representa la poca cantidad de cobre en el depósito) y tetraedrita. También hace alusión a algunos diques aplíticos que presenta la mina cuyo espesor no supera los 2 metros, y se da paralelo a las vetas mineralizadas, aunque en ocasiones las atraviesan. Su dirección es predominantemente NE y sus buzamientos coinciden con los de las vetas. Se clasificó como un dique de composición andesítica (Streckeisen, 1973), con alto contenido de sericita en algunos sectores.

Castillo (2016) en la mina El Gran Porvenir se enfoca en explicar los trabajos mineros, que, para la época, divide en cuatro áreas de explotación, y seis de exploración. La tendencia estructural de la zona la define como N-S, paralela a la falla Palestina y la falla Oeste del Bloque Convenio, relacionándolo con la dirección preferencial de la mineralización en general. Existen numerosas fallas locales con tendencia NW o paralelas a la esquistosidad; una de ellas se denomina la falla El Toro, y es la principal de la mina. Tiene un buzamiento de 75° SW y desplazamiento indeterminado. En cuanto a la mineralización coincide con Márquez (2007), y además la asocia al emplazamiento del batolito de Ibagué durante el Jurásico, y a rifting de Bolívar. Las vetas son paralelas a los ajustes regionales, tienen zonación vertical y ocurren en lentes individuales que llegan a medir hasta 70 metros en rumbo y 500 metros en buzamiento, con un espesor promedio de 1.6 metros. Internamente se subdividen indicando varios pulsos y relaciones con oro; las divide en seis: Cuarzo masivo, bandeado, moteado, en drusa, estéril y sulfuros masivos. Usa la presencia de scheelita como indicio para clasificar el depósito como tipo Oro Orogénico, mesozonal a epizonal, según la clasificación de Groves et al. (1998).

6. GEOLOGÍA REGIONAL

La mina El Gran Porvenir se encuentra en el municipio del Líbano, Tolima, en la Cordillera Central de Colombia, flanco occidental, en lo que corresponde al terreno Tahamí, cuyo metamorfismo estaría relacionado a la colisión de un margen continental con terrenos de Perú y Ecuador (Restrepo et al., 2009).

En este municipio se encuentran depósitos de ceniza y lapilli de composición andesítica, de edad cuaternaria; y a sus alrededores se encuentran rocas con diferentes grados de metamorfismo, algunas rocas sedimentarias, y lavas e ignimbritas. La distribución y la relación de estas rocas se observan en la figura 2.

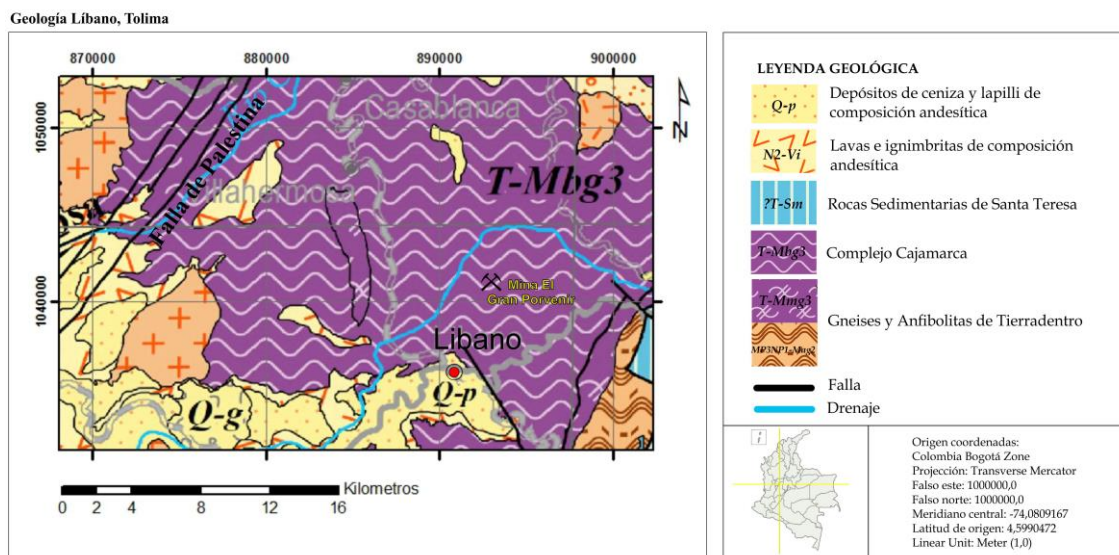


Figura 2. Mapa Geológico de los alrededores del Líbano, Tolima. Gómez *et al.*, 2015.

6.1 Neises y Anfibolitas de Tierradentro (T-Mmg3) (MP3NP1-Mag2): Unidad metamórfica que ha sido considerada de edad pre-cámbrica, y está compuesta por tres litologías: Anfibolitas, neises cuarzo-feldespáticos y mármoles. Se ha considerado que alcanzaron facies anfibolita y posiblemente granulita, que por metamorfismo retrógrado se encuentran actualmente en facies esquisto verde. Estas rocas estuvieron sometidas a metamorfismo Barroviano progresivo de presión intermedia, el cual está relacionado a colisión y que permitiría relacionar esta unidad con la conformación del supercontinente Rodinia (Osorio et al., 2015).

6.2 Complejo Cajamarca (T-Mbg3): Conformar parte del basamento de la cordillera Central, y se encuentra limitado al este por el sistema de fallas Otú-Pericos, y al oeste por el sistema de fallas de Romeral. Este complejo posee variaciones texturales y paragenéticas (Toro et al., 2005), y se compone de esquistos gráficas, cuarzomoscovíticos, cloriticos y

anfíbolicos; filitas; cuarcitas; mármoles, y serpentinitas (Gómez et al., 2015); cabe resaltar que también se ha comprobado que algunas rocas clasificadas como metamórficas de alto grado son en realidad milonitas y metagabros (Hincapié y Camargo, 2005).

Estas rocas se encuentran en facies esquistos verdes a facies anfíbolita en un cinturón de baja presión (Toro et al., 2005). Su metamorfismo es de edad Jurásica y es el resultado de una colisión en una margen activa (arco volcánico/forearc) al noroeste de Gondwana, sin embargo, el complejo contiene elementos geológicos de diferente edad que registran eventos tectónicos diferentes como compresión y extensión (García y Ruiz, 2014).

6.3 Rocas sedimentarias de Santa Teresa (?T-Sm): Metamorfismo de muy bajo grado, consta de metarenitas, metarenitas conglomeráticas y metaconglomerados con líticas de rocas metamórficas e intercalaciones de lodolitas. Con respecto a la edad, plantean Moreno et al., (2007) que pueden ser rocas del Ordovícico debido a la presencia de graptolites, lo que haría esta unidad correlacionable con los depósitos de La Cristalina, sin embargo, esta información no está confirmada y no hay un reporte geológico como prueba de ello. La edad está establecida como Post Triásico (Gómez et al., 2015).

6.4 Lavas e ignimbritas de composición andesítica (N2-Vi): Formadas durante el Plioceno (Gómez et al., 2015).

6.5 Depósitos cuaternarios (Q-p): Son principalmente depósitos de ceniza y lapilli de composición andesítica (Gómez et al., 2015). En la zona municipal se encuentra la Avalancha de Escombros de El Líbano, ocasionada por el colapso de una parte del edificio volcánico del Nevado del Ruiz debido a actividad explosiva. Cubre un área de 86km², siendo el depósito de avalancha de escombros más grande de este complejo volcánico (Valencia et al., 2015).

7. GEOLOGÍA LOCAL

7.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Ramírez (2014) describe que la mineralización sigue el curso de las dos fallas regionales principales, que son la Falla Palestina y la Falla Honda, con una dirección N15°E. La primera es una falla de rumbo de más de 300km de longitud a la que se asocia la actividad del complejo volcánico Ruiz – Tolima, y que se ubica sobre la Cordillera Central, en el Noroccidente del departamento del Tolima; mientras que la Falla Honda limita la depresión del Valle Medio - Alto del Magdalena por el oriente. Las fallas locales suelen formar ramificaciones que se unen en las partes de mayor espesor de las vetas. Debido a la presencia de cizallamiento e indicadores cinemáticos en el borde de los cuerpos se ha podido diferir una apertura y cierre de los conductos mineralizantes, y se ha clasificado la morfología del depósito como Pinch and Swell o camándula.

Dentro de la mina los sistemas de fallas están identificados como: 1) “Falla el Toro”, con dirección N50°E y desplazamiento indeterminado. 2) “Falla Chucula”, con dirección N40°W, de tipo sinistral y con un desplazamiento de cuatro metros aproximadamente. 3) “Falla Sur – Norte”, donde el bloque este baja respecto a la vertical aproximadamente dos metros. 4) “Falla Este – Oeste”, de tipo dextral con un desplazamiento de cuatro metros.

7.2 ROCA CAJA

La roca caja de la mina El Gran Porvenir está conformada por los esquistos grafitosos del Complejo Cajamarca, esta roca está siendo intruida por diques y vetas de cuarzo mineralizadas.

En la zona se presenta como esquistos grafitosos y moscovíticos, cuya composición mineralógica está dada por cuarzo, plagioclasa, grafito, moscovita, sericita, calcita, y clorita; La moscovita y el grafito definen una orientación en la roca y forman la textura lepidoblástica. A escala macro la roca presenta textura esquistosa y una foliación en dirección N-NE. En la figura 3 puede notarse como incluso en zonas externas a la explotación aparecen algunas venillas de carbonatos y cuarzo atravesando el complejo, situación que es repetitiva alrededor del yacimiento.



Figura 3. Esquistos grafitosos del Complejo Cajamarca, observados dentro de la concesión minera. Corresponde a la roca caja de la mineralización. Se evidencian dos venillas de cuarzo y carbonatos que la atraviesan.

En las zonas cercanas a las vetas, los esquistos grafitosos suelen albergar cantidades menores de pirita diseminada, como granos muy finos y euhedrales. También es posible notar un recubrimiento de carbonato en las paredes de la roca caja y a veces venillas de este mismo atravesándola.

La textura lepidoblástica y minerales como grafito, moscovita, clorita y clinozoisita observados en sección delgada, además de la crenulación, evidencian que la roca ha sido sometida a un metamorfismo regional de bajo grado.

7.3. VETAS Y DIQUES

La mina El Gran Porvenir posee al día de hoy, 12 niveles (Figura 4), donde el más profundo alcanza los 285m. Se pudo identificar tres tipos de vetas, donde la tendencia principal de cada una son las direcciones al NE y buzamientos al NW; y sus espesores varían desde los 80 centímetros hasta los cuatro metros.

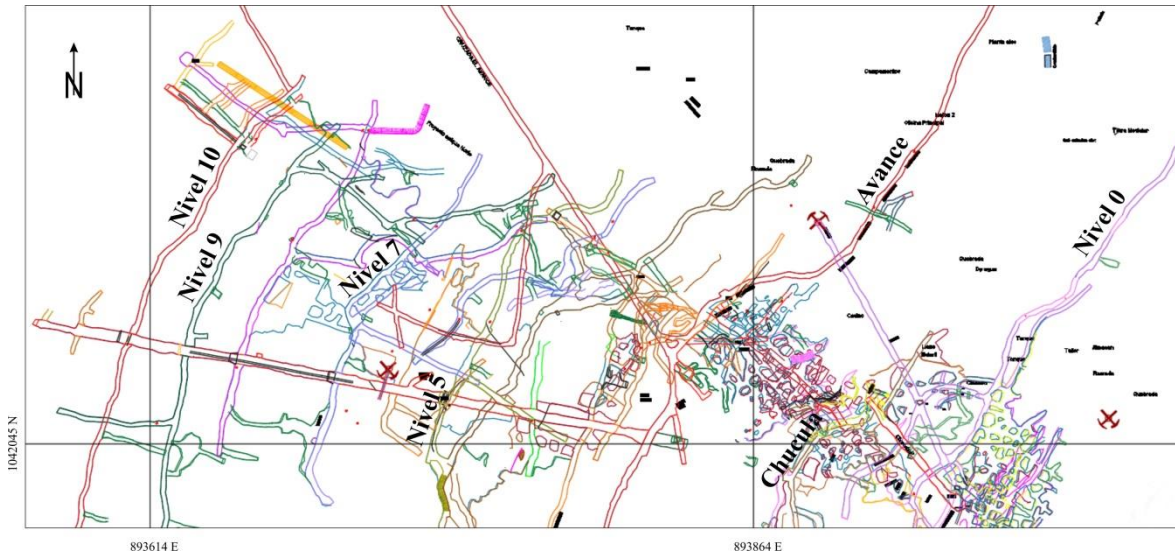


Figura 4. Plano topográfico de la mina El Gran Porvenir con los niveles de desarrollo. Coordenadas Colombia Bogotá Zone. Escala 1:2500, (Mina Gran Porvenir, 2018).

7.3.1. Vetas: Su componente principal es el cuarzo, y contienen gran cantidad de sulfuros que se presentan de manera diferente según sea la veta. Poseen rumbo al NE y buzamientos NW, y sus grados varían ampliamente en la mina.

Se diferencian tres tipos de vetas en todo el depósito: Una de cuarzo masivo y mineralización diseminada cuyo espesor va de 0,8m a 1,50m, y con una dirección y buzamiento promedio de N34°E/36°NW (veta uno: con cuarzo, pirita, calcopirita, galena, esfalerita, oro, melnikovita, pirrotina, scheelita, cuarzo y carbonatos); otra que va desde 1,80m y llega a tener hasta 4m de espesor (Figura 5.a.), una dirección y buzamiento promedio de N59E / 51NW, y posee bandas de cuarzo y minerales de mena (veta dos: con cuarzo, pirita, calcopirita, galena, esfalerita, oro, carbonatos); y una posterior que atraviesa el dique aplítico, de menos de un metro de espesor y poca cantidad de sulfuros (veta tres: con cuarzo, pirita, calcopirita, galena, carbonatos, y minerales de alteración como melnikovita, pirrotina, anatasa y telururos de Pb – Ag - Au). En general la mineralogía de la mina El Gran Porvenir está compuesta por: Oro (electrum), pirita, calcopirita, galena, esfalerita, melnikovita, pirrotina, scheelita, carbonatos y moscovita. Las vetas presentan espesores muy variables en los diferentes niveles de la mina y pueden encontrarse juntas (Figura 5.b.).

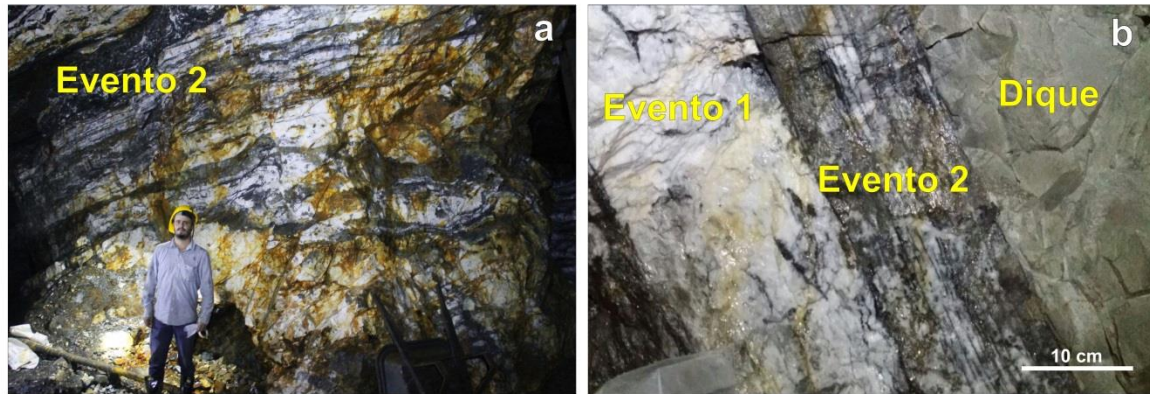


Figura 5. Vetas en la mina El Gran Porvenir que representan los eventos principales. a) Veta dos: Presenta un bandeamiento de cuarzo con sulfuros que indican reactivación de esta. b) De izquierda a derecha: Veta del evento uno, veta del evento dos y dique, en su respectivo orden de formación. Se observa la primera con un cuarzo lechoso y poca presencia de sulfuros, siendo cortada por la veta dos, que se encuentra altamente mineralizada y se caracteriza por el bandeamiento de sulfuros. La roca de color verdoso ubicada al lado derecho de la imagen es uno de los diques aplíticos descritos con anterioridad, y se encuentra intruyendo la segunda veta.

7.3.2 Diques: Dentro de los túneles de la mina, se observan cortando la roca caja. Son leucocráticos a mesocráticos y su color varía, pero muy ocasionalmente toma tonalidades verdes grisáceas o pardas. El tamaño de grano de sus cristales es muy fino, por lo que se ha definido como un dique de textura aplítica (Figura 6). Las muestras obtenidas se encuentran completamente alteradas a carbonatos, sericita y clorita. Presenta algunas epidotas y clinozoisita a lo que se le atribuye su coloración. Sin embargo, esto no permite obtener una clasificación de la roca como tal.

El dique está atravesado por una tercera veta de cuarzo (Figura 6.a) con mineralizaciones de pirita, calcopirita asociada a telururos, melnikovita, anatasa, galena, pirrotina.

La dirección del dique está definida por las primeras dos vetas (masiva y bandeada), posicionándose comúnmente en sus límites con la roca caja o muy cerca, de manera concordante, y a veces atravesándolas. Su espesor varía desde 0.1 hasta 2m.

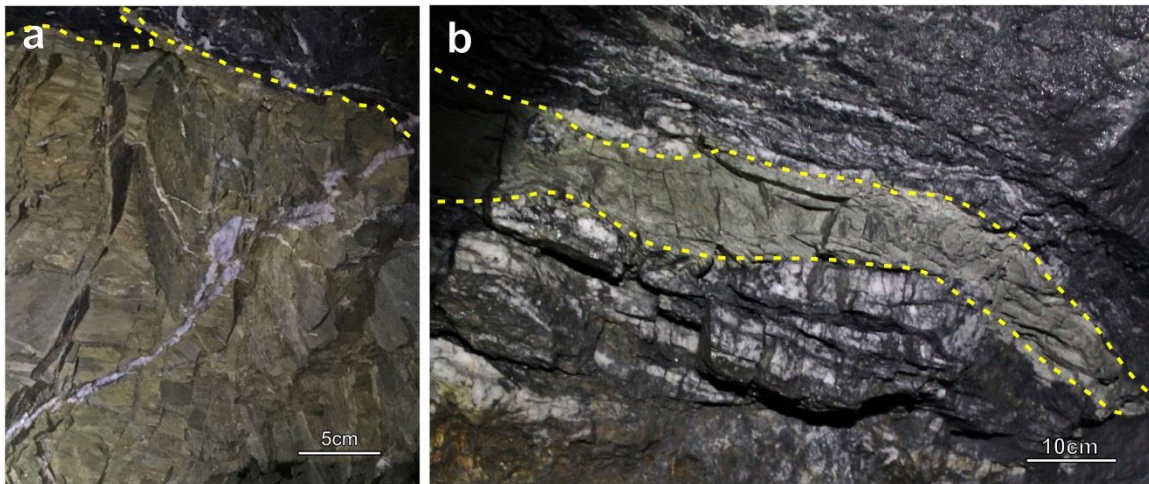


Figura 6. Dique aplítico emplazado en esquistos del Complejo Cajamarca. a) se observa que está siendo atravesada por una venilla de cuarzo poco mineralizada que representa el evento tres. b) El dique continúa de manera paralela con algunas venillas que presenta la roca caja.

8. PETROGRAFÍA

Se analizaron doce (12) secciones delgadas pulidas, que corresponden a las vetas; y tres (3) secciones delgadas, seleccionadas especialmente para petrografía debido a que son representativas de la roca caja.

Se determinó que la veta está encajada en una roca de metamorfismo regional, foliada, clasificada como esquisto grafitoso. A escala microscópica, se observa una intercalación de cuarzo y carbonatos con grafito, que definen un bandeamiento. Se presenta principalmente textura lepidoblástica compuesta por moscovita, grafito y en menor cantidad, clorita (Figura 7). También se observa de manera menos frecuente textura poikilitica de apatito en cuarzo.

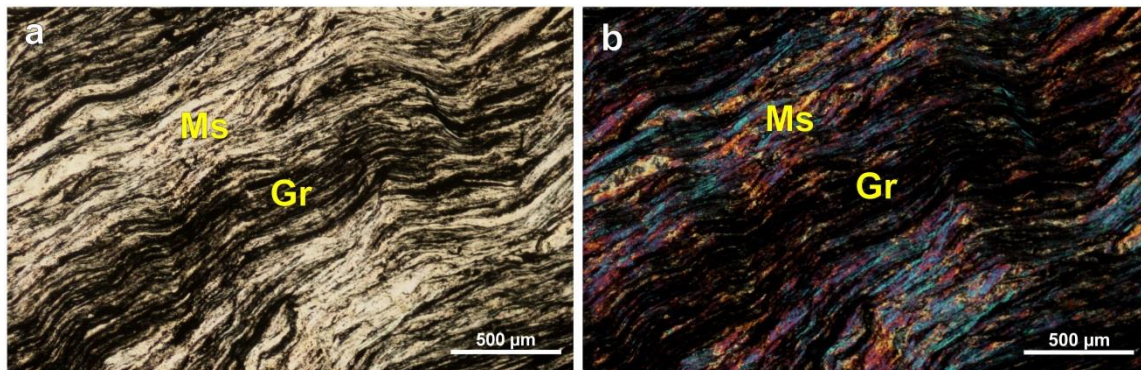


Figura 7. a) y b) Esquisto grafitoso que corresponde a la roca caja. Se observa grafito (Gr) y moscovita (Ms), siguiendo una disposición preferencial generando una textura lepidoblástica con crenulación. 500X, PPL y 50X, XPL.

La roca caja presenta algunos sulfuros diseminados. Microscópicamente se encontró galena, pirita, calcopirita y esfalerita de un tamaño menor a 5µm, y algunos granos de pirita de hasta 25µm. En cuanto a la relación de los minerales metálicos con la roca caja, se observó que la galena y la esfalerita se encuentran siguiendo la disposición de los minerales de la roca caja, mientras que la pirita se presenta de mayor tamaño y sin seguir ninguna orientación.

Los minerales petrográficos presentes en todas las muestras analizadas son cuarzo, carbonatos, plagioclasa, grafito, moscovita, scheelita, clorita, clinozoisita, biotita y apatito.

La scheelita se presenta con un tamaño de centímetros, visible en muestra de mano y representativa de la veta uno, en los niveles más profundos de la mina. Microscópicamente se reconoce por sus reflexiones internas de color blanco, y se observan pequeñas fracturas que están siendo rellenadas de carbonatos y cuarzo (Figura 8.a).

La forma del cuarzo, carbonatos y plagioclasa varía de anhedral a subhedral, y su tamaño va de muy fino a grueso (Figura 8.b). La clorita proviene de la moscovita, y se da como granos anhedrales y muy finos. Es importante tener en cuenta que el grafito y la moscovita están fuertemente relacionados.

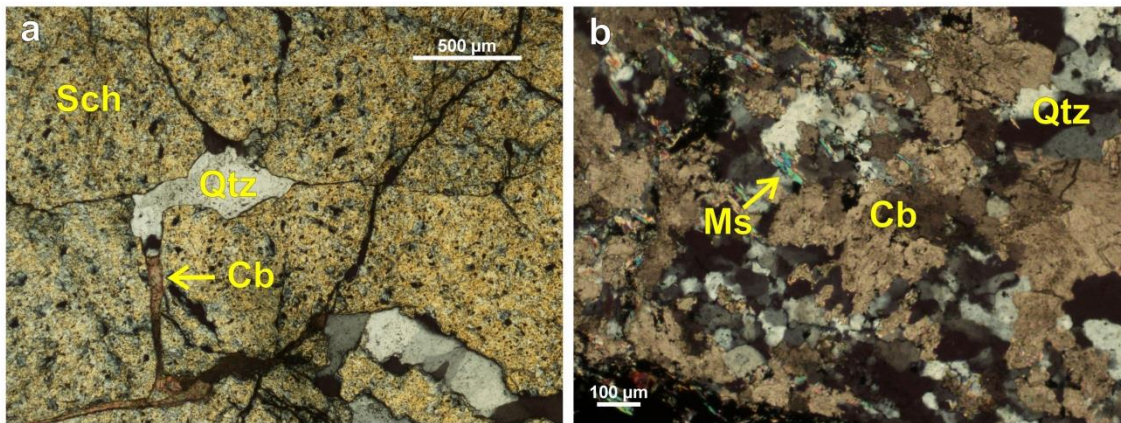


Figura 8.a) Scheelita (Sch) que en sus fracturas alberga cuarzo (Qtz) y carbonatos. (Cb). 50X, XPL. **b)** Carbonatos (Cb) y cuarzo (Qtz), y pequeños cristales de moscovita (Ms). 100X, XPL.

De manera general, los demás minerales mencionados poseen tamaños variables y menores a 2mm, y poseen una forma anhedral a subhedral.

8.1 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Una alteración hidrotermal es un proceso que involucra cambios mineralógicos, químicos y texturales por la interacción de fluidos calientes que atraviesan una roca. Los fluidos hidrotermales provocan un intercambio químico entre estos y la roca caja, y permiten la formación de nuevas asociaciones mineralógicas que sean estables bajo las nuevas condiciones (Pirajno, 1992). Los factores que más influyen el cambio mineralógico por procesos de alteración hidrotermal son la permeabilidad, temperatura, composición y pH del fluido. Es común que los minerales formados originalmente sean reemplazados por calcita, sericita, clorita, pirita, entre otros; y cuando el sistema se encuentra en una facies metamórfica de mayor grado, se reemplazan por calcita, pirrotina, biotita, feldespato potásico y grosularia (Eilu et al., 1999).

Las alteraciones hidrotermales presentes en la mina El Gran Porvenir son carbonatización y en menor proporción sericitización, que en este caso están definidas por los siguientes minerales, según la clasificación de Thompson y Thompson (1998).

8.1.1 Carbonatización: Es la alteración más abundante del yacimiento, y se presenta en todos los niveles. Su asociación mineralógica dentro de la mina es calcita, moscovita, clorita, pirrotina y pirita. Los carbonatos llegan a tener un tamaño de centímetros y forma anhedral (Figura 9). Aunque dicha asociación no sea visible comúnmente en muestra de mano, se observa un recubrimiento de carbonato en las paredes de la roca caja, pues estas reaccionan ante la presencia de HCl (ácido clorhídrico).

Esta asociación mineralógica, se considera que ocurre cuando el fluido mineralizante tiene una temperatura entre 300°C y 400°C, y es común en interacciones con rocas que se encuentran en facies esquistos verde, controladas estructuralmente por un régimen compresivo (MacKenzie, 2009).

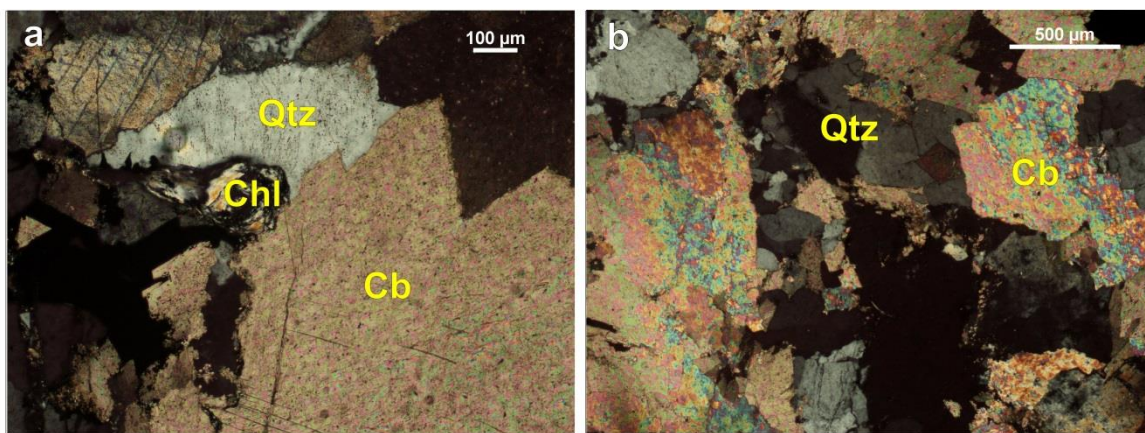


Figura 9. Asociación típica de carbonatización, donde se observan cristales de a) Cuarzo (Qtz), carbonato (Cb) de gran tamaño y algo de clorita (Chl). 100X, XPL. b) Cristales de cuarzo (Qtz) y carbonato (Cb), con un tamaño mayor al común en el depósito. 50X, XPL.

8.1.2 Sericitización: Se encuentra en menor cantidad y de manera localizada en la veta masiva, más específicamente en los niveles diez, nueve y cinco.

Estos minerales no son tan abundantes, y se reconocen macroscópicamente como un polvo de color amarillo de pocos milímetros, que tiende a estar relacionado con los límites de la roca caja, y solo en algunas ocasiones está en zonas más centrales de la veta. Microscópicamente la sericita tiene un tamaño muy fino y se deriva de la moscovita y plagioclasa, donde esta primera se observa siguiendo la dirección de los planos de foliación de la roca caja, y en ocasiones evidencia la deformación a la que estas rocas han sido sometidas.

En el yacimiento se observan asociados moscovita – sericita, pirita y cuarzo (Figura 10), según Siem (1993) la presencia de estos minerales son características la alteración

sericítica. La presencia de sericitización se da en rangos de pH de 5-6 (Hedenquist et al., 2000) e indica una temperatura de 200 a 350 °C (Siem, 1993). (Figura 10.a).

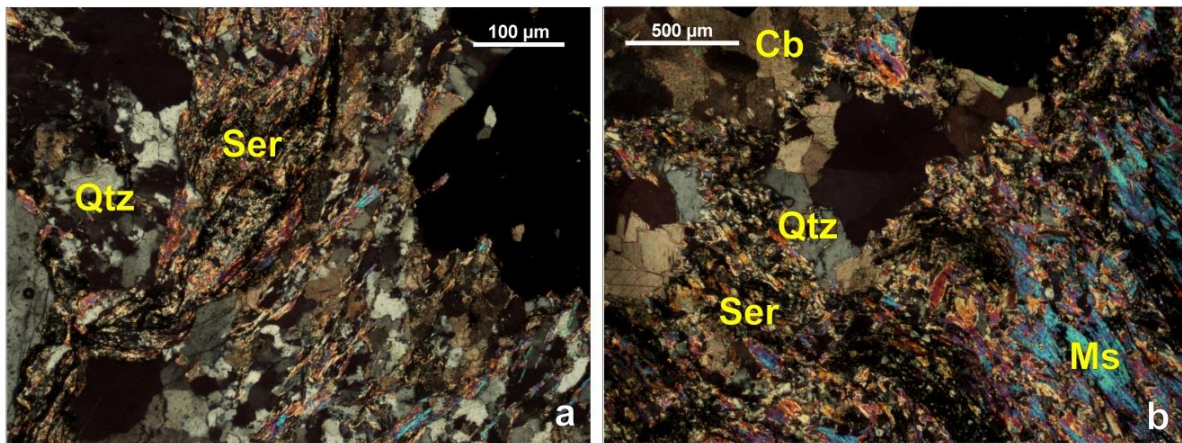


Figura 10. a) Cristales de cuarzo (Qtz) y sericita (Ser) que muestran deformación dúctil. 200X, XPL. b) Cristales de cuarzo (Qtz), carbonato (Cb), sericita (Ser) y moscovita (Ms). 50X, XPL.

8.2 TEXTURAS DEL CUARZO

Por albergar la mineralización, y por la forma en que varía ante los cambios de presión y temperatura de un depósito, el cuarzo es uno de los minerales más importantes presentes en la mina El Gran Porvenir, por tanto, se debe prestar especial atención a la hora de analizarlo. En esta sección se describirán las texturas que contiene este mineral, según la clasificación de Dong et al (1995), que genéticamente, considera tres tipos de texturas: Primarias, recristalización y reemplazamiento.

Las texturas primarias representan el crecimiento del cristal a partir de un fluido hidrotermal en espacios o cavidades abiertas. Es común que se formen bandas crustiformes, y esto puede ser causado por enfriamiento, mezcla de dos fluidos, reacciones entre roca caja y fluido, y ebullición. Las texturas de recristalización se dan porque todos los minerales de sílice (menos el cuarzo) son metaestables y tienden a convertirse en cuarzo después de su depositación. Otro tipo de texturas que pueden formarse, son las de reemplazamiento, que se dan cuando minerales propensos a disolverse, como la barita y la calcita son reemplazados por cuarzo.

8.2.1 Texturas primarias

Masiva: Textura dominante en las tres vetas. Da una apariencia homogénea y abarca grandes áreas; no presenta una distribución definida, y su tamaño y forma son regulares.

Crustiforme: Desarrollo de bandas sucesivas, pequeñas y subparalelas, que son de diferente color y textura (Figura 11.a). Se encontró solo en la veta de cuarzo masivo, que pertenece al evento uno.

Comb: Grupos de cristales de cuarzo paralelos a subparalelos entre sí, que se encuentran perpendiculares a las paredes de la veta, se presentan relleno de espacios abiertos (Figura 11.b). Se encuentra en las vetas del evento uno y dos, siendo más común en primera.

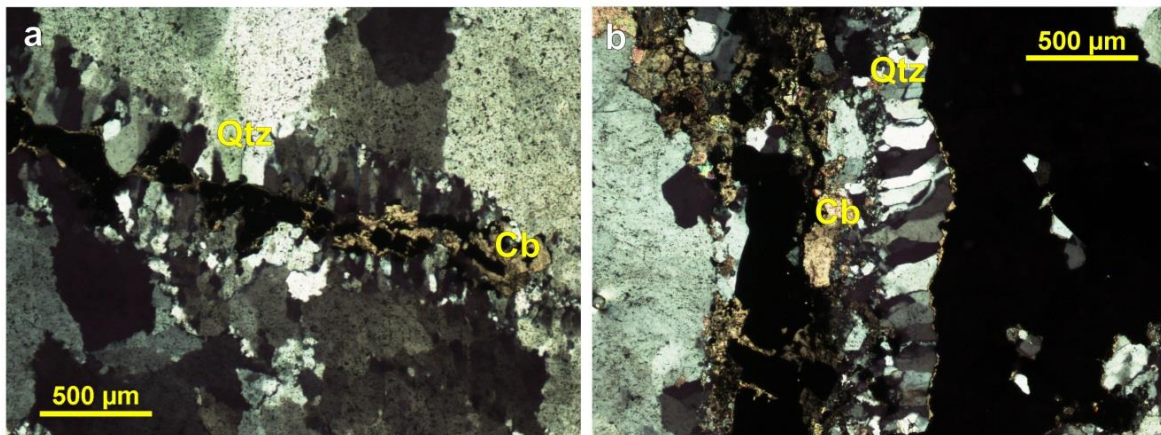


Figura 11. a) Textura crustiforme en la veta del evento uno. 50X, XPL b) Textura comb. 50X, XPL. En este caso ambas están asociadas a carbonatos.

8.2.2 Texturas de recristalización

Mosaico: Agregados de cuarzo cristalino o microcristalino con límites de granos irregulares. Se da por aumento en la temperatura de la veta, lo que genera cristales más pequeños de cuarzo. Presente en las tres vetas, abundante en la masiva y también un poco común en la bandeada (Figura 12.a)

Bulging: Es una textura que se da entre los contactos de los granos de cuarzo que generan suturas cóncavas convexas. Se permite concluir condiciones de temperatura $<350^{\circ}\text{C}$ y condiciones de deformación frágil-dúctil (Owona et al., 2013). Puede encontrarse en las tres vetas. (Figura 12.b).

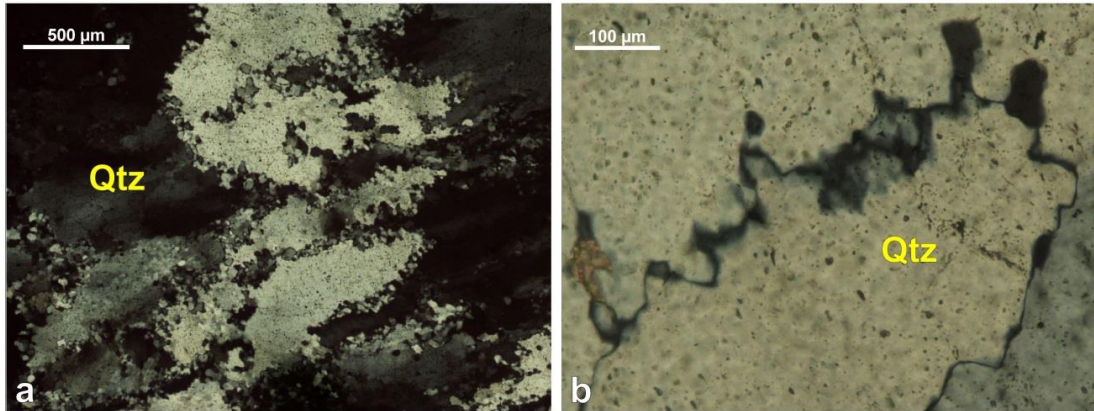


Figura 12. a) Textura en mosaico. 5X XPL. b) Textura bulging. 20X, XPL.

9. METALOGRAFÍA

Se analizaron 12 secciones pulidas en las cuales se evidenció la presencia tanto de minerales que son visibles a escala macro: como calcopirita, esfalerita, galena, pirita, covelina y bornita; y otros microscópicamente como el oro, pirrotina, melnikovita, marcasita y telururos que probablemente son de Pb, Ag y Au.

La pirita se presenta como granos subhedrales a anhedrales en la mayoría de los casos, aunque en menor cantidad se observan granos euhedrales, de tamaño fino a muy grueso para ambos casos. Los granos están altamente fracturados, y dichas fracturas están siendo rellenadas por minerales como el cuarzo, galena, calcopirita, esfalerita y oro. (Figura 13.b) Así mismo, existe una fuerte relación entre el oro y la pirita, pues en la mayoría de los casos está incluido en ella o localizado en las fracturas mencionadas con anterioridad. Algunos de los granos pueden dar una leve anisotropía producto del contenido de arsénico en su estructura.

Otro de los minerales que predomina en la mina El Gran Porvenir, es la esfalerita, con tamaños que van desde muy fino hasta muy grueso, presentándose como granos anhedrales. Se observan dos tipos de esfalerita las cuales se diferencian por la cantidad de hierro. La esfalerita rica en hierro posee reflexiones internas rojas, mientras la que tiene menos hierro, muestra reflexiones internas amarillas y verdes, y es considerada más pura. La esfalerita conserva la tendencia de los demás minerales metálicos de albergar pirita, calcopirita, cuarzo, galena y oro en sus fracturas. Es común encontrar en la mina El Gran Porvenir calcopirita incluida en esfalerita, generando una textura “chalcopyrite disease”. (Figura 13.a)

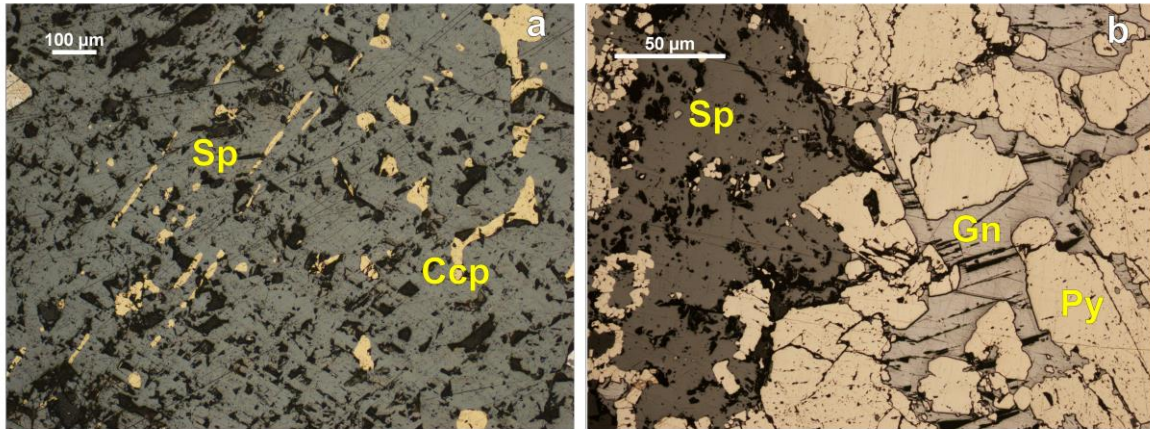


Figura 13. a) Exsolución de esfalerita (Sp) y calcopirita (Ccp) generando una textura “chalcopyrite disease” que está cristalográficamente orientada. b) Galena con pits triangulares albergada en fracturas de pirita (Py). 100X, PPL.

La galena tiene una forma anhedral a subhedral, con un tamaño que varía de fino a grueso. Se encuentra asociada con la pirita, esfalerita y cuarzo, presentándose tanto en sus fracturas como incluida en ellos. En los sectores que se han visto más afectados por deformación tipo dúctil, se puede apreciar dislocación de la galena, donde sus pits, que generalmente tienen una orientación definida, aparecen plegados hacia una misma dirección (Figura 14).

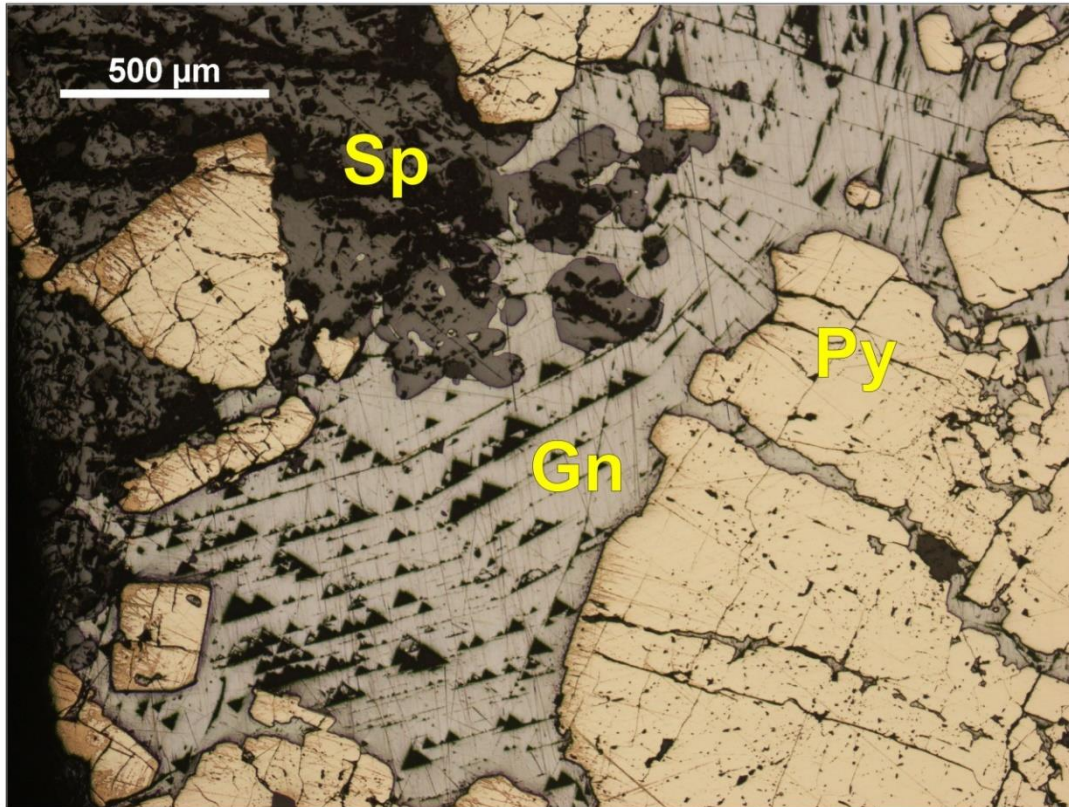


Figura 14. Se observa la dislocación de la galena (Gn) gracias a sus pits triangulares que evidencian el sometimiento de la veta a deformación. También se aprecian cristales como esfalerita (Sp) y pirita (Py). 50X, PPL.

Otros minerales metálicos que se encuentran en menor proporción son: Calcopirita, pirrotina, marcasita y melnikovita (Figura 15); que se presentan como granos anhedrales a subhedrales y tamaño fino a medio. También telururos, probablemente de Pb, Ag, y Au que no pudieron determinarse con exactitud debido a su tamaño tan fino, y se encontró además anatasa como mineral de alteración. Están asociados entre sí en los niveles más profundos de la mina (nivel nueve y diez), junto con la scheelita, y son los niveles menos enriquecidos en oro.

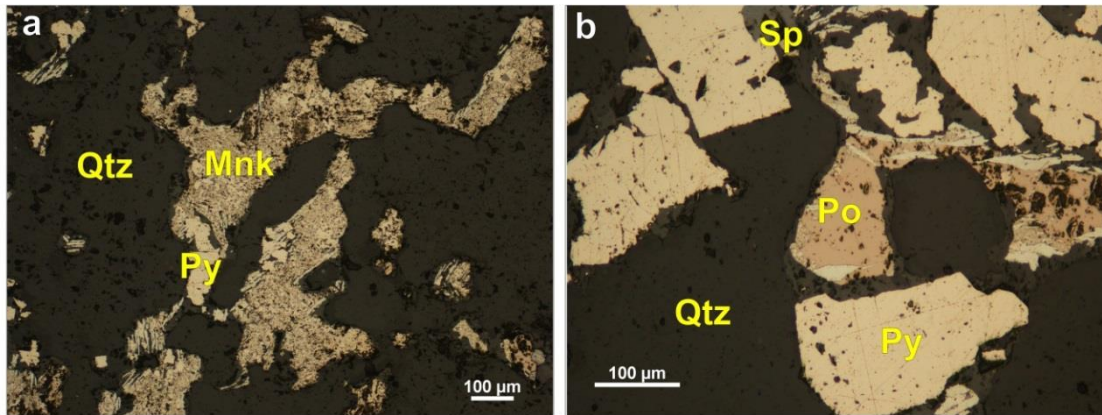


Figura 15. a) Cristales de pirita (Py) y melnikovita (Mnk) emplazadas en las fracturas del cuarzo (Qtz). 100X, PPL. b) Cristales de esfalerita (Sp) y pirita (Py), esta última siendo reemplazada por pirrotina (Po). 200X, PPL.

9.1 TEXTURAS DE MENA

Son indispensables para determinar características como orden de depositación, condiciones físicas y químicas de la mena, ambiente de depositación y otras, que nos acercan al conocimiento de la génesis del depósito (Malvicini y Saulnier, 1979). En la mina El Gran Porvenir están presentes las texturas por reemplazamiento y exsolución, definidas a continuación:

Reemplazamiento pseudomórfico: Definida por Bastin (1950) como la forma, textura y estructura característica del mineral reemplazado, presentándose en el reemplazante. Ocurre por disolución de un mineral o grupo de minerales en orden de que otro mineral pueda tomar su lugar. El caso más común es el reemplazamiento de marcasita en pirita (Figura 16). Presente en los niveles diez, nueve y cinco sur.

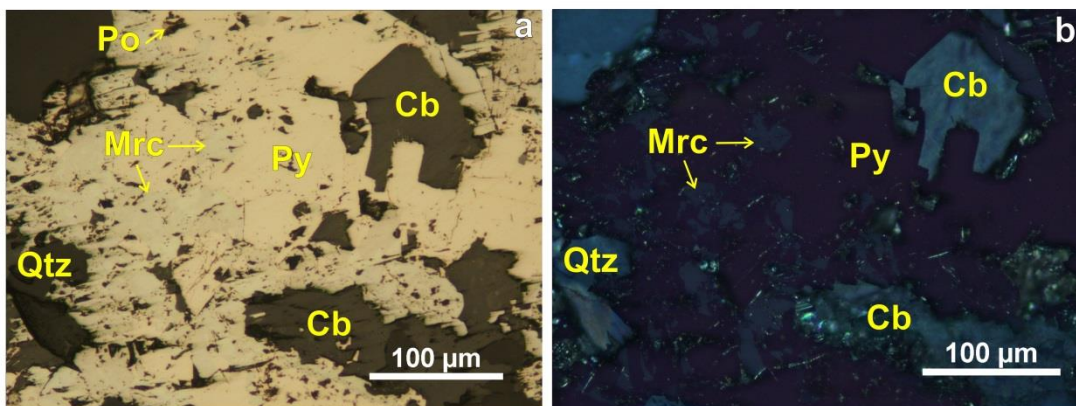


Figura 16. Textura de reemplazamiento pseudomórfico de marcasita (Mrc) en pirita (Py). Al igual se observan otros minerales asociados a la pirita (Py), como pirrotina (Po), carbonatos (Cb) y cuarzo (Qtz).

Reemplazamiento centrífugo: Ocurre cuando el mineral reemplazante empieza a crecer desde el núcleo del mineral reemplazado. Es común en depósitos hipogénicos y supergénicos (Malvicini y Saulnier, 1979). En la mina El Gran Porvenir, se observa reemplazamiento de pirrotina en pirita (Figura 17), lo cual es posible en condiciones de altas temperaturas y presiones bajas (Ramdohr, 1980). Es común de la veta del evento uno, en los niveles más profundos.

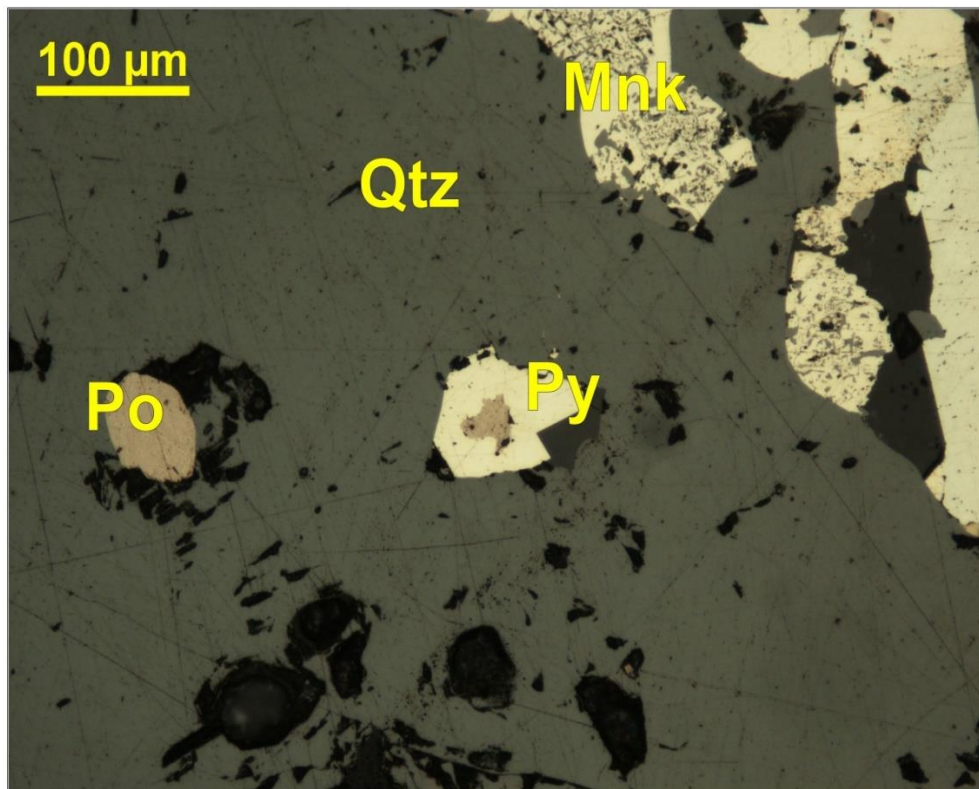


Figura 17. Reemplazamiento centrífugo de pirrotina (Po) en pirita (Py), indicando altas temperaturas y presiones bajas. Además, se observan otros minerales como melnikovita (Mnk) y cuarzo (Qtz). 200X, PPL.

Contacto de carie y contacto de carie inverso: Son importantes para establecer relaciones de depositación entre minerales según su contacto. El mineral reemplazante desarrolla contactos convexos y cóncavos hacia el mineral que está reemplazando respectivamente, aunque en casos poco comunes también puede darse cuando los granos crecen simultáneamente (Stanton, 1972). Estas texturas ayudan a determinar la secuencia de depositación entre algunos cristales de pirita, esfalerita y galena, las cuales se presentan en las vetas uno (masiva) y dos (bandeada).

“Chalcopyrite disease” o cristalográficamente orientada: Es una textura de exsolución, que en este caso se da entre esfalerita y calcopirita; la cristalización de estos minerales se da simultáneamente, para que esto ocurra depende de factores como el enfriamiento rápido, afinidad química de componentes y la falta de defectos estructurales en los cristales. La calcopirita puede tomar muchas formas dentro de la esfalerita, incluyendo formas tabulares, orientadas según las direcciones cristalográficas, en lentes, esférica o de manera irregular (Ramdohr, 1980). (Figura 18).

La estructura de la esfalerita es muy similar a la de la calcopirita. La exsolución sucede en depósitos de alta temperatura, cuando inicia el enfriamiento, que tiene que darse rápidamente, porque de lo contrario la calcopirita puede migrar. Según Barton y Bethke (1987) para que ocurra esta textura de exsolución, el depósito debe encontrarse a una temperatura de 200 – 400°C, y según Picot y Johan (1982) debe estar alrededor de los 300°C; estas temperaturas fueron corroboradas a partir de microtermometría, donde la temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas en esfalerita varía entre 269 – 295°C. Existen varios estudios que dicen que el contenido bajo de hierro favorece la solubilidad de la calcopirita, mientras otros por el contrario dicen que el alto contenido de hierro de la esfalerita favorece la solución de calcopirita (Ramdohr, 1980).

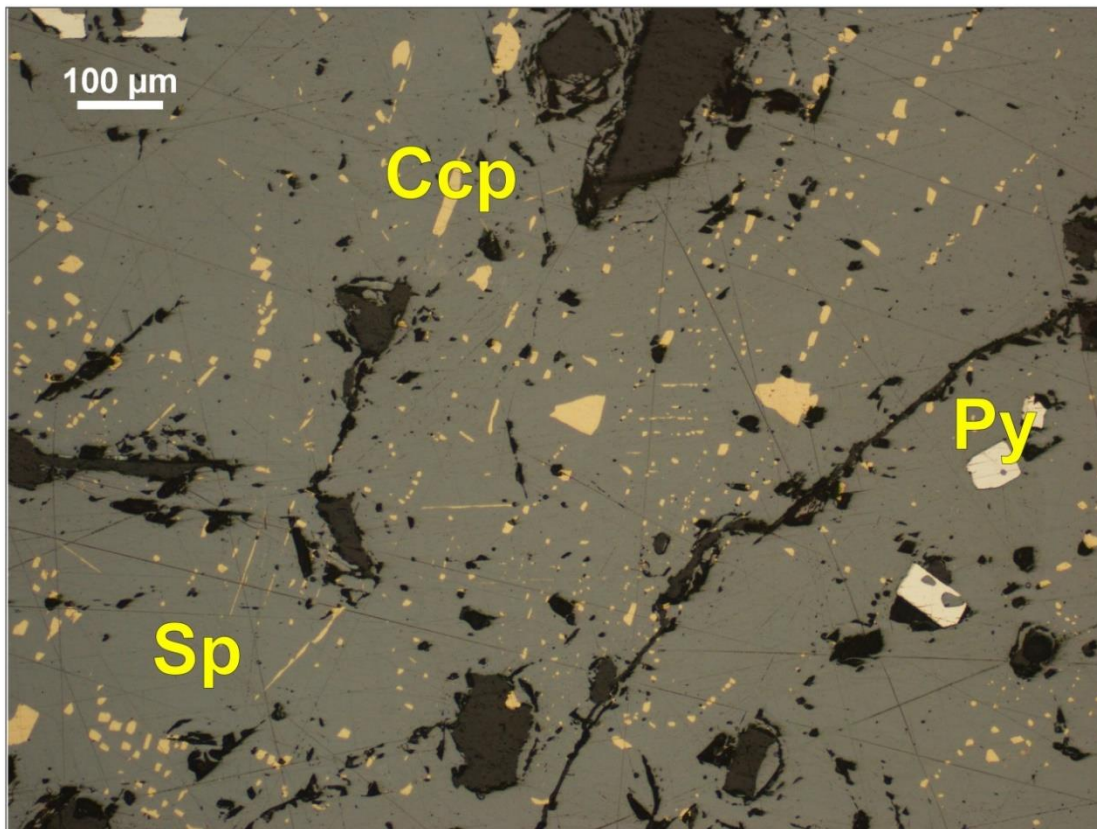


Figura 18. Textura “chalcopyrite disease” o cristalográficamente orientada, entre esfalerita (Sp) y calcopirita (Ccp), y algunas piritas (Py) presentando textura esquelética. 100X, PPL.

Pirita esqueletal: Se da por deformación de la pirita debido a procesos tectónicos, que produce rompimiento por el clivaje del mineral (Figura 19). Ocurre en condiciones de baja temperatura (Ramdohr, 1980).

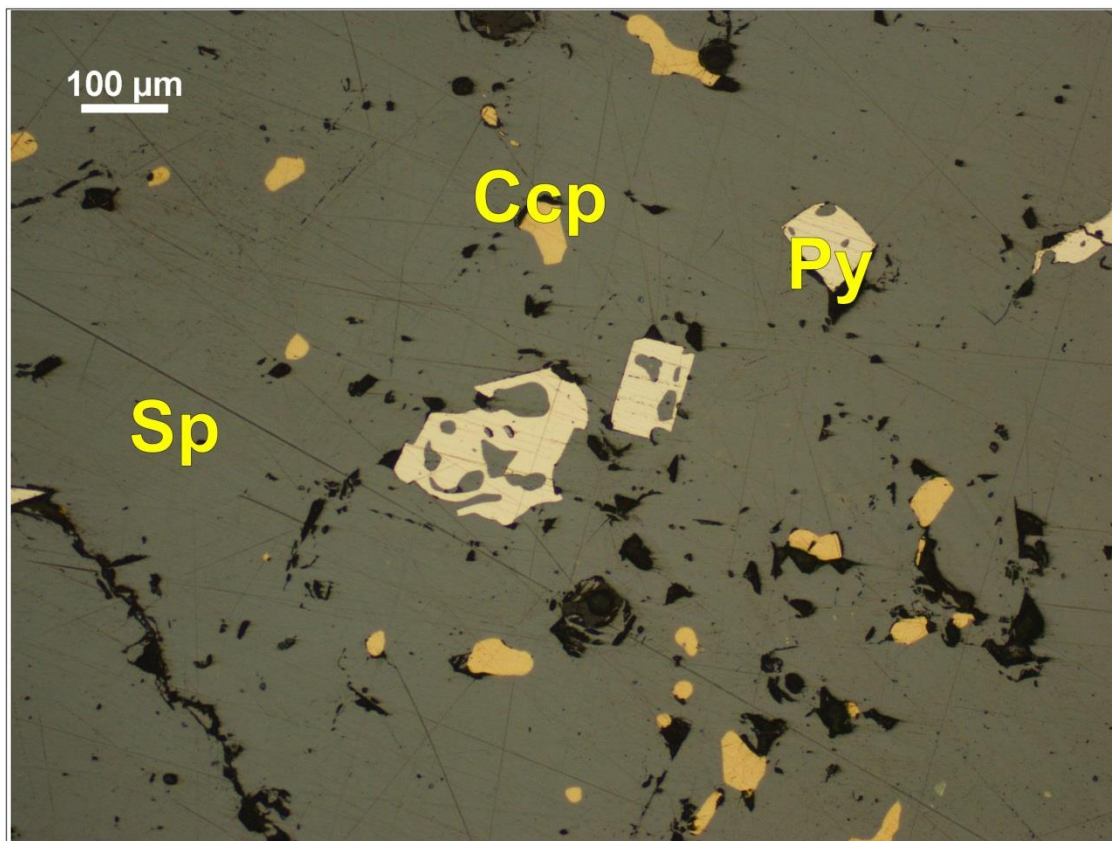


Figura 19. Pirita (Py) esqueletal incluida en esfalerita (Sp) con exsolución de calcopirita (Ccp). 100X, PPL.

10. SECUENCIA PARAGENÉTICA Y ASOCIACIONES MINERALÓGICAS

De acuerdo a las texturas encontradas, la relación espacial de las vetas, y sus asociaciones mineralógicas (tabla 1 y 2) se plantea una secuencia paragenética (orden de depositación), la cual consta de tres eventos mineralizantes principales:

Evento uno: Veta uno, de cuarzo masivo, mineralización diseminada.

Evento dos: Veta dos, bandas de sulfuros y cuarzo que representan reactivación de la veta.

Evento tres: Veta tres, de menor espesor; cuarzo masivo, mineralización diseminada y poco abundante.

ASOCIACIONES MINERALÓGICAS (Minerales de mena)		
EVENTO 1	EVENTO 2	EVENTO 3
Py + Gn + Sp	Py + Gn + Sp	Py + Mnk
Py + Gn + Ccp	Py + Gn	Py + Ccp
Py + Gn	Py + Gn + Qtz	Py + Ccp + Tel
Py + Sp	Py + Sp	Py + Po
Py + Sp + Mrc	Py + Gn + Sp + Qtz	Gn + Qtz
Py + Ccp	Py + Ccp	Tel + Ccp + Cb
Py + Po	Gn + Ccp + Sp + Py	
Py + Po + Sp	Gn + Ccp + Qtz + Py	
Py + Po + Mrc	Gn + Sp	
Py + Po + Gn + Ccp	Sp + Gn + Ccp	
Py + Mnk	Sp + Gn + Qtz	
Py + Sp + Ccp	Sp + Qtz	
Sp + Gn + Ccp	Sp + Ccp	
Sp + Ccp + Py	Sp + Ccp + Py	
Sp + Gn	Au + Py + Gn + Sp	
Sp + Ccp	Au + Py + Gn	
Sp + Mnk	Au + Gn	
Sp + Gn + Qtz	Au + Gn + Qtz	
Gn + Sp + Mnk	Au + Py	
Gn + Py + Mnk	Au + Py + Ccp	
Gn + Ccp + Sp + Py	Au + Sp + Py	
Gn + Cb + Qtz	Au + Py + Qtz	
Au + Gn + Py	Au + Sp + Gn	
Au + Py + Gn + Qtz	Au + Qtz	
Au + Qtz + Py		
Au + Py		
Au + Sp + Gn		

Tabla 1. Asociaciones mineralógicas de mena encontradas en la mina El Gran Porvenir para cada evento mineralizante.

**ASOCIACIONES MINERALÓGICAS
(Alteración hidrotermal)**

EVENTO 1	EVENTO 2	EVENTO 3
Py + Gn + Qzo + Cb	Py + Gn + Cb	Mnk + Cb
Sp + Qtz + Cb	Py + Sp + Cb	Qtz + Ms + Cb
Py + Qzo + Cb	Qtz + Cb	Py + Qtz + Cb
Qtz + Cb		

Tabla 2. Asociaciones mineralógicas relacionadas a alteraciones hidrotermales encontradas en la mina El Gran Porvenir para cada evento mineralizante.

Teniendo en cuenta las características mencionadas con anterioridad, se determinó la secuencia paragenética general para la mina El Gran Porvenir, la cual se puede observar en la figura 20.

	EVENTO 1	EVENTO 2	EVENTO 3
Pirita	—————	—————	—————
Calcopirita		—————	—————
Galena	—————	—————	—————
Esfalerita	- - ———	—————	
Oro		—————	
Melnikovita			—————
Pirrotina			—————
Scheelita	—————		
Cuarzo	————— - - - -	————— - - - -	—————
Anatasa			—————
Telururos (Pb, Ag, Au)			—————
Marcasita	—————		
Carbonatos		—————	—————

Figura 20. Secuencia paragenética del yacimiento.

En el evento uno se encuentra la mayor variedad de sulfuros, aunque no son tan abundantes. El oro se asocia a esfalerita, galena, cuarzo y pirita, principalmente albergado

en fracturas de esta última; se hallaron 80 granos en dos pulidos del nivel nueve. Los minerales que se depositan al final de este evento son la melnikovita, pirrotina, y marcasita, que se generan por alteración de la pirita; y los carbonatos como producto de la alteración hidrotermal.

El evento dos presenta la mayor cantidad de sulfuros, pirita, galena, esfalerita, calcopirita y oro; con un total de 587 para este último, lo que hace que esta veta bandeada sea la más importante para la extracción de oro y plata. No se observan minerales de alteración u otros que puedan afectar el proceso de cianuración.

El tercer evento identificado corresponde a un cuarzo masivo que se encuentra atravesando los diques aplíticos en el yacimiento. No se logró identificar oro o electrum, y tiene muy poca cantidad de sulfuros, se presentan de manera aleatoria en granos anhedrales a subhedrales y de tamaño fino.

11. ANÁLISIS DE ORO

Se realizó un estudio más detallado alrededor de éste metal, ya que es el que tiene mayor importancia dentro del yacimiento por su beneficio económico. En la figura 21 se observan diferentes formas de ocurrencia en la que se encuentra el oro en la mina El Gran Porvenir.

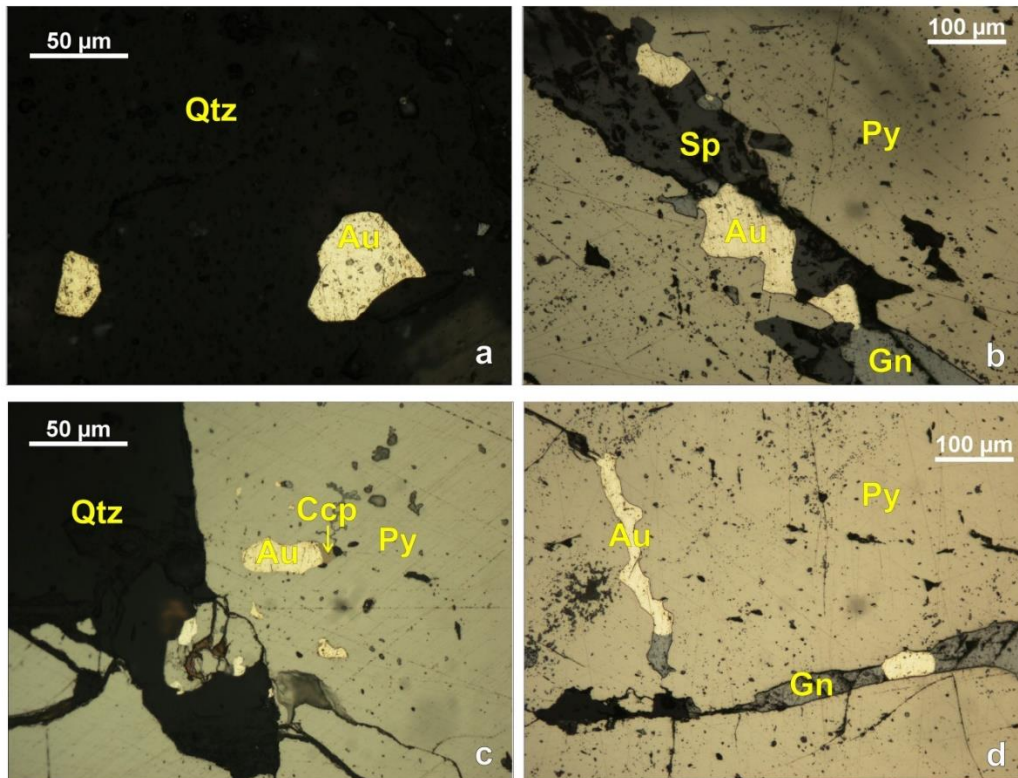


Figura 21. a) Se observan dos granos subredondeados de oro (Au) libre. 500X, PPL. b), c) y d) el oro (Au) se presenta en las fracturas de la pirita (Py) asociado con esfalerita (Sp) galena (Gn) y la calcopirita (Ccp). 100X, PPL. 500X, PPL. 100X, PPL respectivamente.

Se hizo un conteo de los granos de oro encontrados en las 12 secciones delgadas pulidas, de las cuales siete presentaron oro. Cada una de estas secciones contienen una cantidad diferente de oro y la sumatoria de todos los granos da un total de 667. En la tabla 3 se presenta el número de granos de oro encontrados por nivel.

EVENTO	NIVEL DE LA MINA	# GRANOS DE ORO
Uno	Nueve Norte	2
Uno	Nueve Sur	78
Dos	Avance	73
Dos	Chucula	281
Dos	Chucula	50
Dos	Chucula	151
Dos	Cero	32
TOTAL		667

Tabla 3. Tabla de la cantidad de granos de oro en cada nivel de la mina El Gran Porvenir.

Para cada uno de los granos se determinó su morfología, tamaño y asociación mineral (Anexo A); las características se describen a continuación.

El evento uno puede observarse en el nivel Nueve de la mina El Gran Porvenir. En el Nueve Norte se encuentra la menor cantidad de oro, pues solo se hallaron dos granos con un tamaño promedio de 60.165um x 21.815um, y cuya forma varía de sub angular a sub redondeado; uno de ellos está ubicado en las fracturas de la pirita mientras que el otro está incluido en ella, y ambos están asociados a galena, pero solo uno de ellos al cuarzo. Mientras que en el nivel Nueve Sur se encontró un total de 78 granos de oro, que en promedio miden 21.529um x 9.495um. 41 granos están incluidos en pirita, tres de estos están asociados a galena y uno a esfalerita; 37 granos se encuentran en fracturas de pirita, de éstos, diez se asocian a galena y seis a cuarzo, los granos restantes están relacionados únicamente a cuarzo y pirita.

El oro del evento dos pudo observarse en los niveles el Avance, Chucula y Nivel Cero.

En el nivel Avance se contabilizaron 73 granos con un tamaño promedio de 58.24um x 23.33um. Por su abundancia y tamaño se considera una zona enriquecida. De los 73 granos, 23 están incluidos en pirita, y de éstos, cinco están asociados además con otros minerales, con galena (un grano), esfalerita (tres granos), y calcopirita (un grano). Dos granos de esta sección están asociados únicamente con pirita y esfalerita. Los 48 restantes, se encuentran en fracturas de pirita, la gran mayoría asociados con galena, cuarzo y esfalerita.

La Chucula se caracteriza por ser el nivel con mayor cantidad de granos de oro, con un total de 482, los cuales tienen un tamaño mayor promedio que van desde 52.9um hasta 12.768um. Para la primera sección que corresponde al pulido GP 07-02 los granos se encuentran dentro de distintos minerales, como galena, pirita y esfalerita, pero predomina la presencia de ellos en la pirita. Se observa el mismo patrón que en las secciones descritas anteriormente, los granos aparecen en las fracturas de la pirita, con la diferencia de que en este nivel de la mina hay más asociaciones de oro con otros minerales como la galena,

esfalerita y cuarzo como se puede observar en la figura 22; encontrándose en conjunto o de manera individual en asociación con el oro. Estos minerales también se pueden observar asociados con oro sin necesidad de estar en las fracturas de la pirita. Es importante resaltar la presencia de dos granos de oro libre, que harían el metal más fácil de extraer en comparación con los asociados a minerales de mena. La segunda sección perteneciente al pulido GP 07 – 03 la cual cuenta con 50 granos de oro, 17 de ellos están incluidos en pirita, dentro de este grupo el 11.764% se asocia a galena y otro 11.764% se relaciona con el cuarzo. Los granos restantes se encuentran en fracturas de pirita con la misma tendencia ya vista en otros pulidos, asociación con galena, cuarzo y esfalerita, pero con la diferencia que en esta sección la mayor cantidad de oro se relaciona con el cuarzo y no con la galena. La última sección analizada en éste nivel corresponde al pulido GP 07 – 04 que presenta un total de 151 granos de oro, se dividen de una manera relativamente equitativa entre las fracturas y las inclusiones, siendo 74 los granos incluidos en pirita y 75 en fracturas de pirita. De los 74 que están incluidos, 14 están relacionados con galena y tres con esfalerita; por su parte de los 75 granos localizados en fracturas 67 se asocian con galena, cuarzo, esfalerita y pirita.

El nivel Cero, es una de las zonas con menor concentración de oro, con un total de 32 granos. El tamaño promedio es de 31.06µm x 12.92µm. 21 de estos están incluidos en pirita y solo uno de ellos a su vez está asociado con galena. Los 11 restantes se ubican en fracturas de pirita de los cuales siete se relacionan a galena y uno a calcopirita.

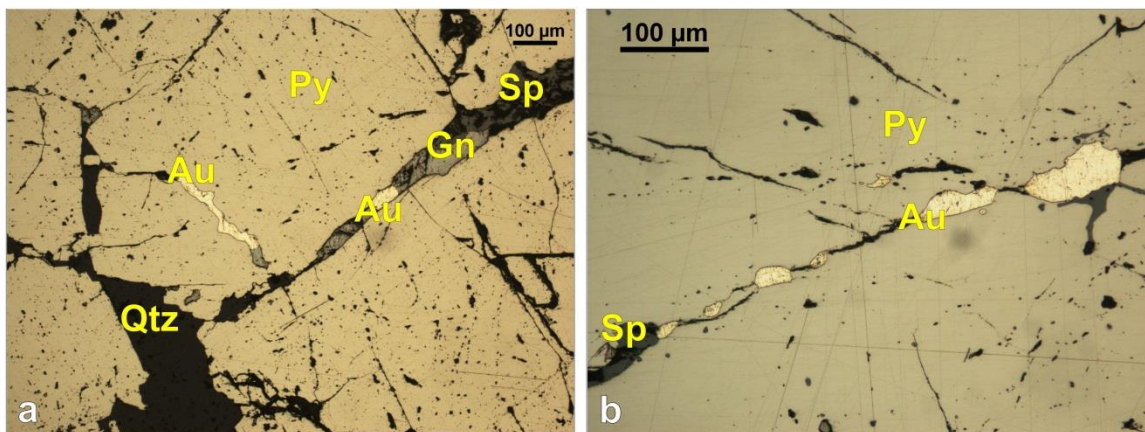


Figura 22. a) y b) El oro se presenta en las fracturas de pirita (Py), asociado con galena (Gn) y esfalerita (Sp). 100X, PPL y 200X, PPL.

Se realizó una compilación de todos los datos mencionados anteriormente en gráficos circulares; en la figura 23 se muestra de manera general la ocurrencia del oro en la mina El Gran Porvenir. Pudo determinarse que el mineral se presenta de cuatro maneras diferentes: Incluido, Figura 24, es la segunda mayor ocurrencia de Au, en fracturas, Figura 25, siendo

éste el predominante, en los bordes de algunos minerales, Figura 26, y libre. Además, se hizo una correlación de los tamaños de oro encontrados allí entre la mayor y la menor longitud.

En total fueron 667 granos de Au encontrados en la mina El Gran Porvenir. Cada uno de estos casos serán descritos con más detalle en las siguientes figuras

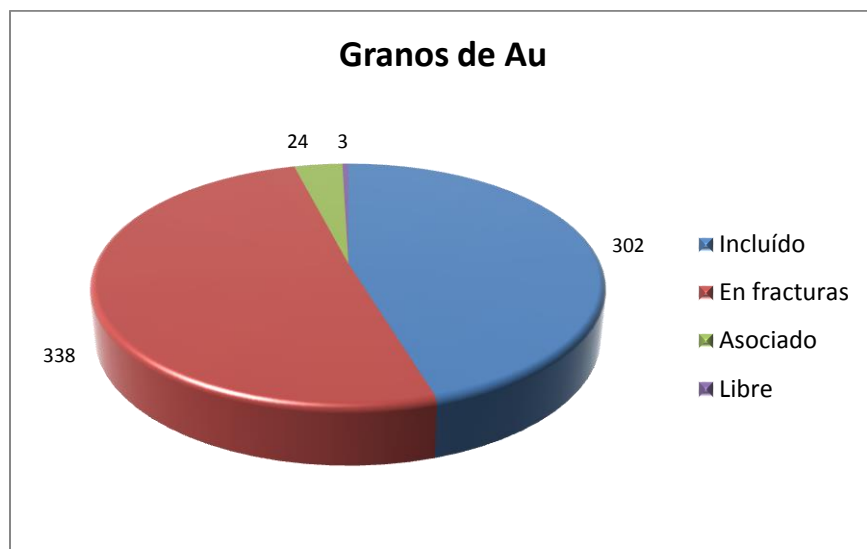


Figura 23. Modo de ocurrencia de los granos de oro en la mina El Gran Porvenir. Predominando el oro “en fracturas” e “incluido”. La forma menos común de encontrarse es libre, ya que solo se presentaron tres granos de oro en cuarzo.

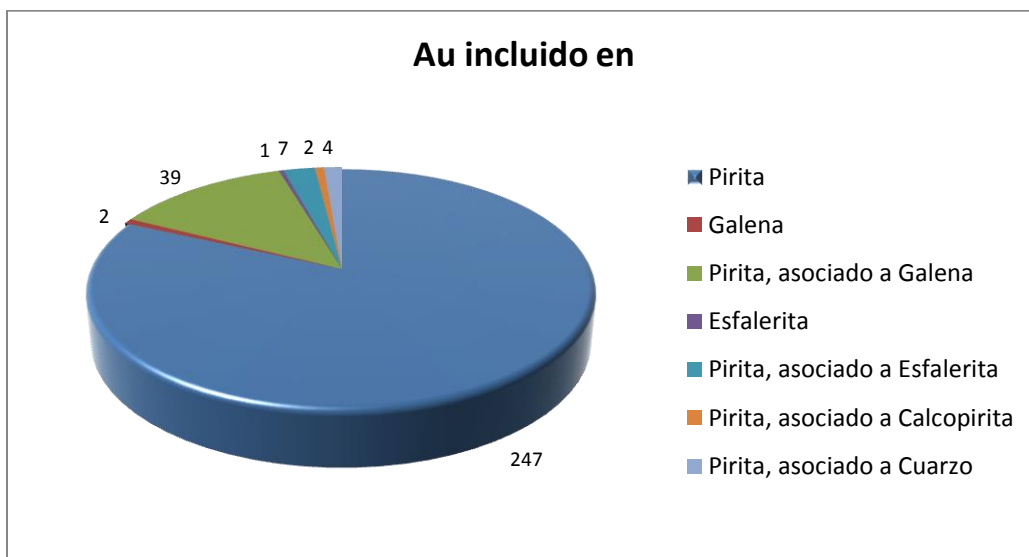


Figura 24. Asociación mineral del oro incluido, 302 granos, con un predominio de oro únicamente en pirita, y en pirita asociada a galena.

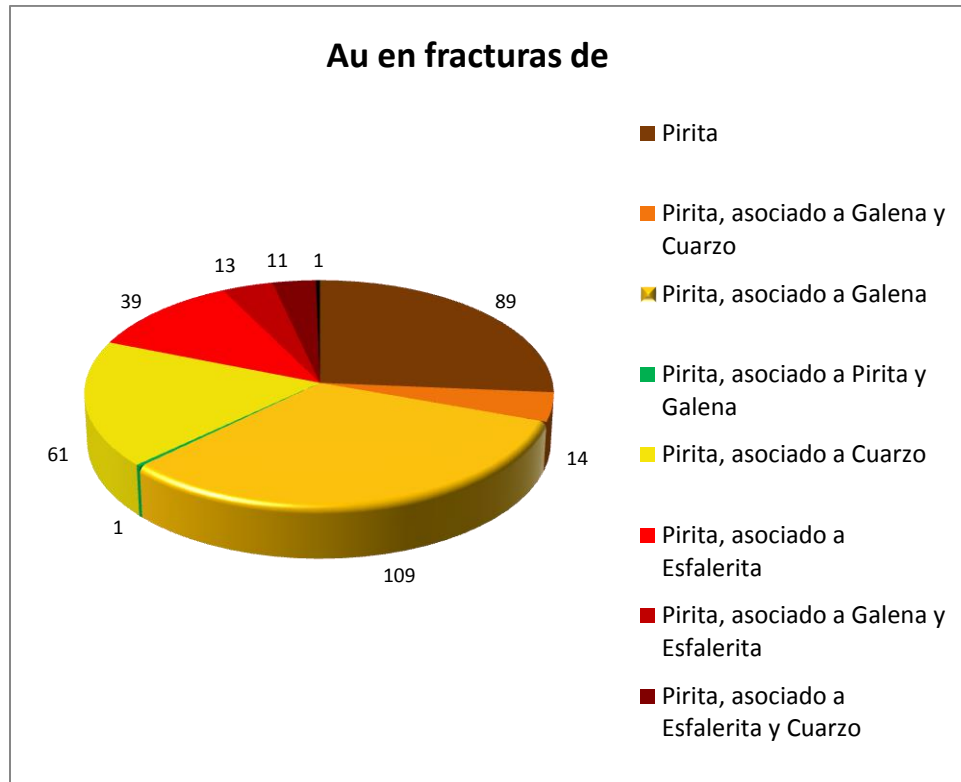


Figura 25. Modo de ocurrencia más común que tiene el oro en el yacimiento. Se encuentra a menudo dentro de las fracturas de la pirita, y en ocasiones se asocia a otros minerales como galena, cuarzo y esfalerita.

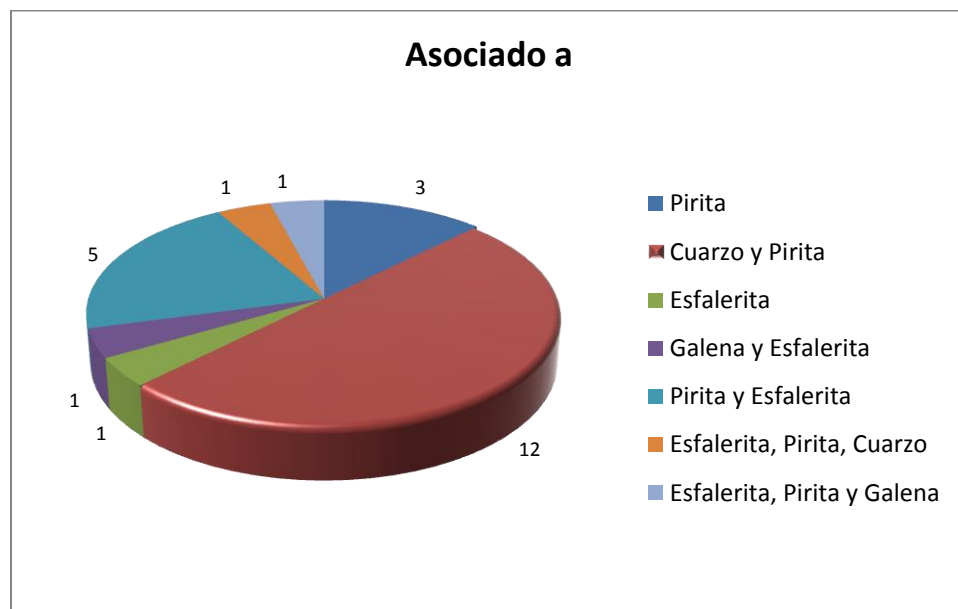


Figura 26. Asociación del oro con algunos minerales presentes en la mina El Gran Porvenir. En total hay 24 granos de oro en los bordes de algunos minerales donde para este tipo de ocurrencia la asociación más común es cuarzo – pirita.

El oro libre es el caso menos común para la ocurrencia de este metal. Lo cual no es tan conveniente a la hora de realizar la extracción, por tiempo, costos y cantidad de procesos involucrados en la trituración y separación del oro.

11.1 TAMAÑOS Y MORFOLOGIA DE LOS GRANOS DE ORO

Se hizo una correlación de los tamaños de oro encontrados en la mina El Gran Porvenir entre la mayor y la menor longitud presentada (Figura 27), logrando observar una concentración de datos entre 0,1 a 100 μm ; sobre este valor se encuentra una dispersión mayor de los datos por lo que se considera que la morfología general de los granos de oro estudiados es subelongada.

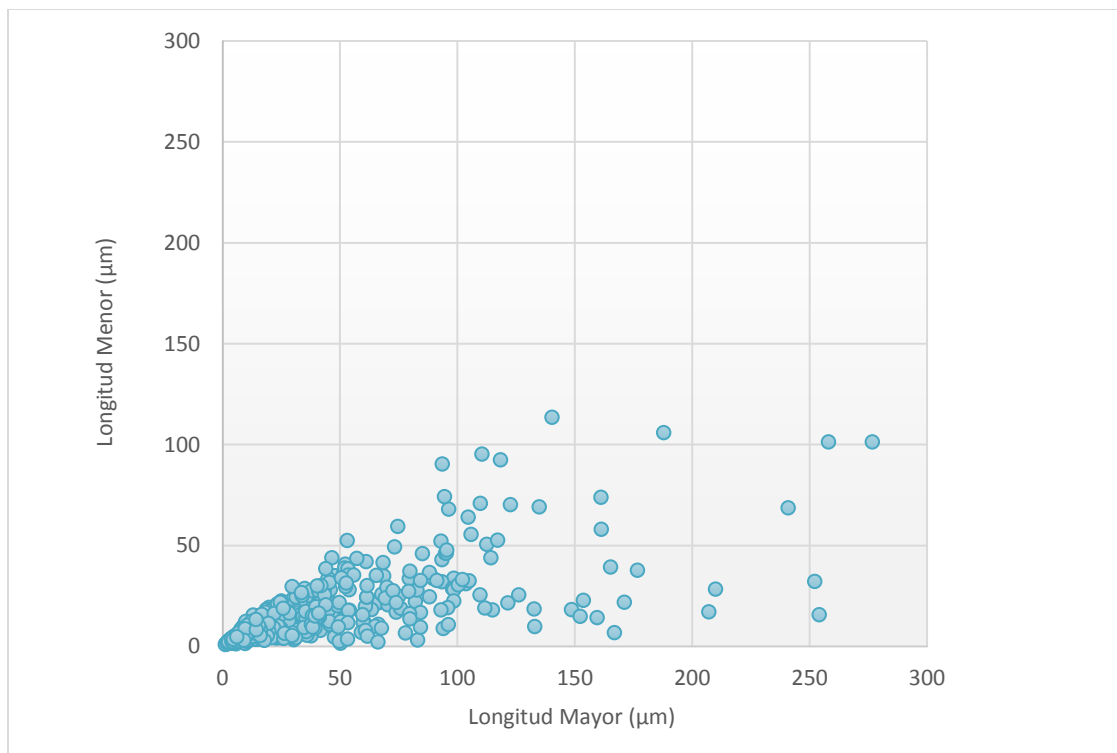


Figura 27. Correlación de los tamaños de oro encontrados en la mina El Gran Porvenir entre la mayor y la menor longitud presentada.

En este estudio también se determinó la forma de cada uno de los granos, la cual presenta una gran variación. En su mayoría los granos presentan una forma sub redondeada con un total de 206 (30,88%), seguido de la forma sub angular que contiene 180 granos (26,98), posteriormente 131 granos son redondeados (19,64%), 97 son angulares (14,54%) y 40 son

muy redondeados (5,9%), por último, la forma muy angular es la menos común con un total de 13 granos (1,9%) (Figura 28).

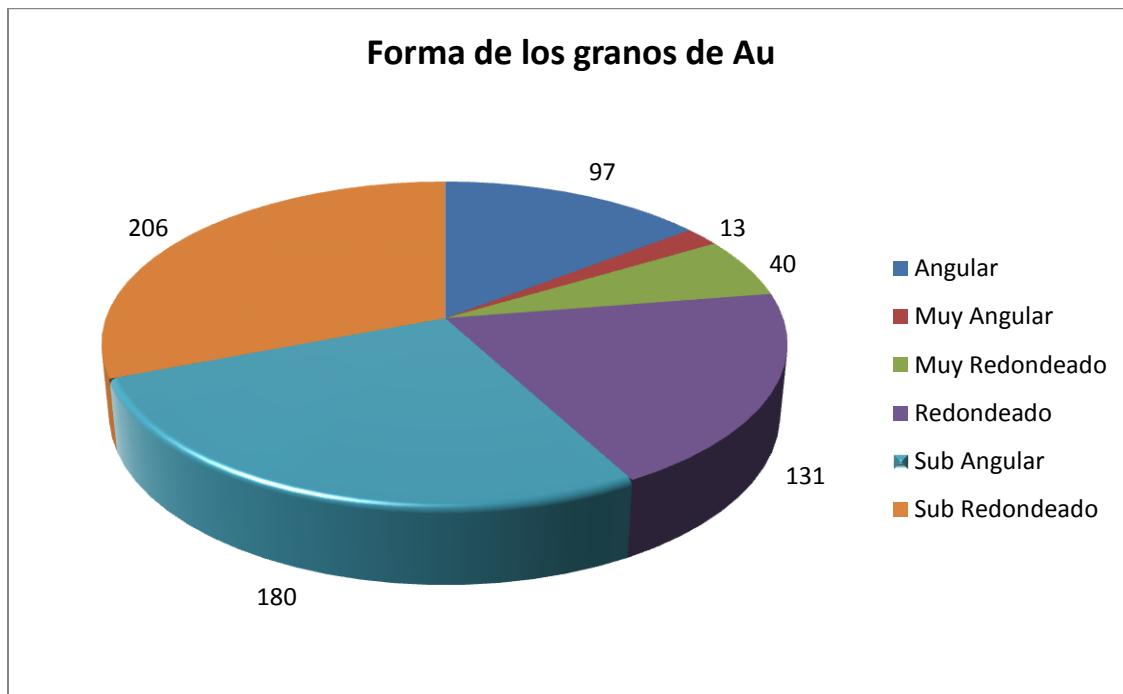


Figura 28. Distribución según morfología de los granos de oro analizados en la mina El Gran Porvenir.

12. CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO MINERALIZANTE

Las características del fluido mineralizante tales como: composición general (líquido y gas), densidad, temperatura mínima de cristalización, salinidad y PH, se determinaron mediante estudio mineralógico, petrográfico y metalográfico, las cuales fueron complementadas con técnicas de microraman y análisis de inclusiones fluidas (microtermometría).

12.1 ANÁLISIS CON MICRORAMAN

La espectroscopia Raman es una técnica no destructiva que permite caracterizar componentes líquidos H₂O y gaseosos de las inclusiones fluidas como CO₂, CH₄ y N₂, teniendo en cuenta el número de onda ($1/\lambda$) en el que se ejerza una vibración principal, que se visualiza como un pico de mayor intensidad en respuesta a la luz emitida por el Raman (Frezzoti, 2012). La primera aparición de la técnica Raman acoplada a un microscopio se dio en 1973 (Pastor et al., 2003). Es importante aclarar que en gases como el CO₂ se generan dos picos mayores causados por la “Resonancia de Fermi” que están acompañados de dos “bandas calientes” a sus alrededores (Burke, 2000). (Figura 29)

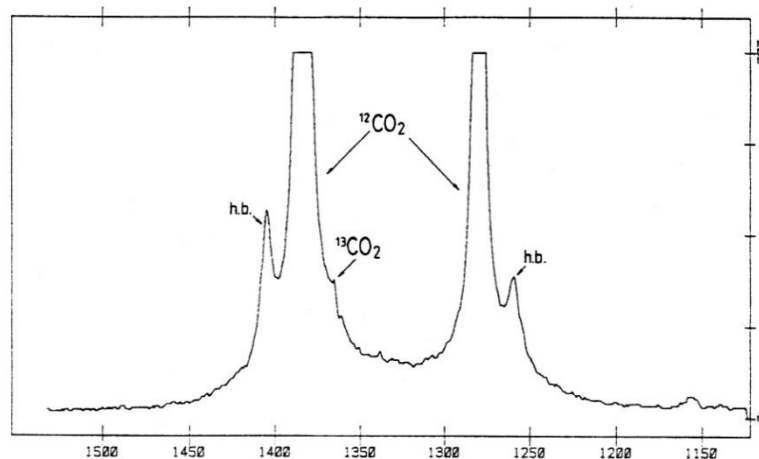


Figura 29. “Resonancia de Fermi” que consta de dos picos de CO₂ mayores que están acompañados de dos “bandas calientes” a sus alrededores. Tomado de (Burke, 2000).

La caracterización de las inclusiones fluidas se realizó utilizando un espectrómetro Raman Renishaw Centrus 0281Q1 con un láser de 532nm y potencia variable, en un objetivo de 50X. En esta fase se analizaron 14 inclusiones fluidas, en cuatro secciones doblemente

pulidas, donde se identificaron tres tipos de gases y un soluto. Los resultados fueron obtenidos de nueve de estas inclusiones.

CO₂: Se identifica con los picos en 1285 y 1388 cm⁻¹, cuya distancia ayuda a calcular la densidad del CO₂ en la inclusión siempre y cuando se encuentre dentro del rango 0.1 y 1.24 g/cm³. Se encontró en cuatro zonas de la placa GP – 06 – 4, que corresponde al sector del Avance dentro de la mina El Gran Porvenir (Figura 30).

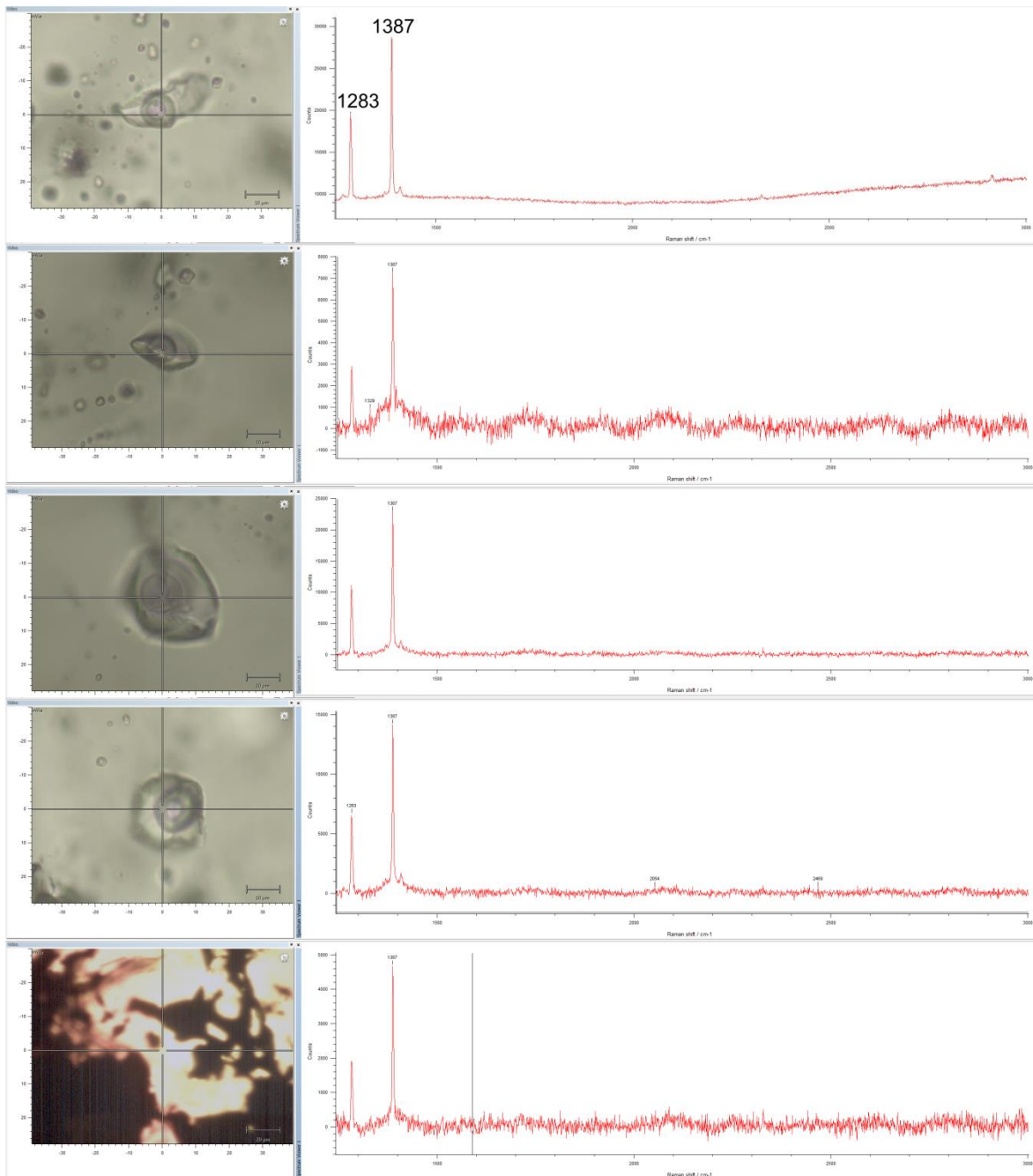


Figura 30. Se aprecian cinco inclusiones fluidas con su respectivo espectro, dando valores de 1285 y 1388 cm⁻¹ que corresponden a los picos de CO₂.

En este caso los picos del CO_2 se encuentran en 1283 y 1387 cm^{-1} , por lo tanto, la distancia entre los dobletes de Fermi, es de 104 cm^{-1} . En la figura 31 puede observarse como se lee en el eje x la densidad según la intersección dada entre el doblete y la curva planteada por diferentes autores.

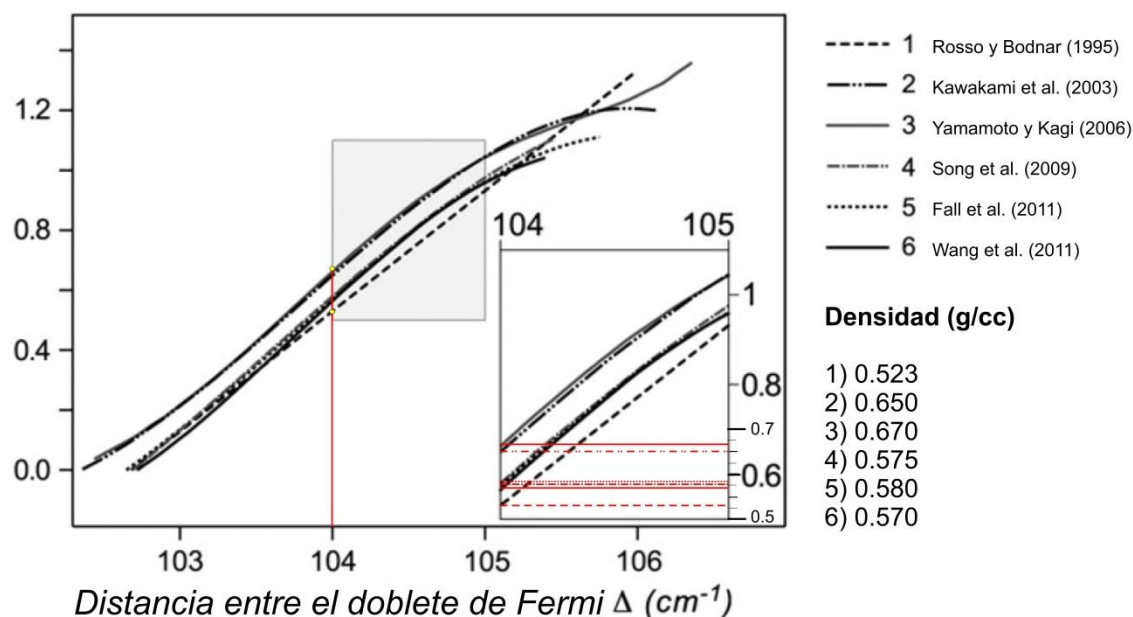


Figura 31. Estimación de la densidad del CO_2 , mediante espectroscopia Raman según diferentes autores. Tomado de Frezzotti et al., (2011).

CH_4 : Se reconoce con los picos en 2918 y uno de menor tamaño 3020 cm^{-1} . Se encuentra en la misma zona donde se presenta el CO_2 . (Figura 32).

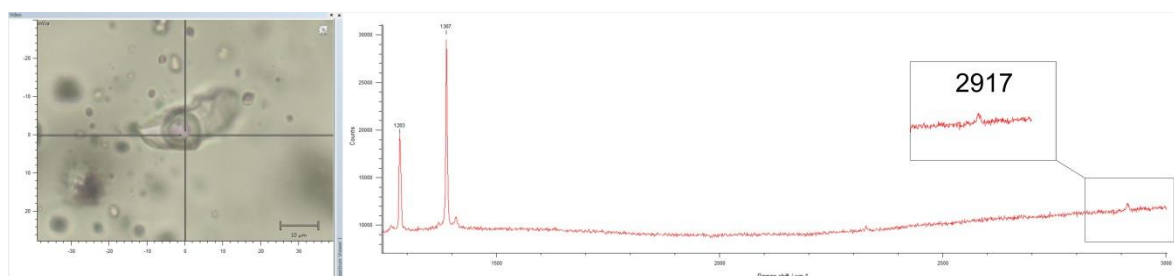


Figura 32. Inclusión fluida con su respectivo espectro, dando valores de 2917 cm^{-1} , indicando la presencia de CH_4 en el fluido.

N_2 : Identificado con un pico cercano a 2331 cm^{-1} . Se halla en las inclusiones fluidas estudiadas en las secciones de dos zonas, del Avance y una del nivel 10. (Figura 33)

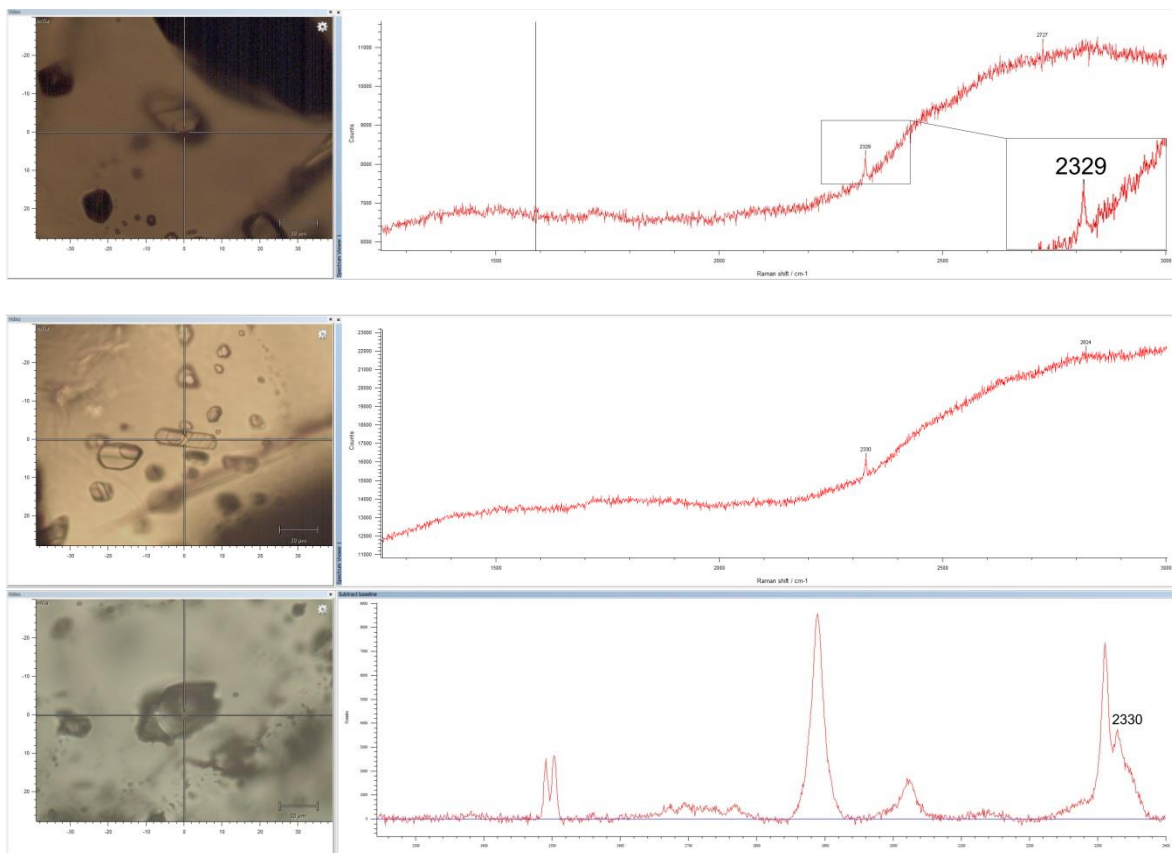


Figura 33. Se observan tres inclusiones fluidas con su respectivo espectro, dando valores de 2329 y 2330 cm^{-1} que corresponden a los picos de N_2 .

H_2O líquido: Caracterizado por un pico alrededor de 1630 cm^{-1} . Se encuentra en el nivel cinco de la mina. (Figura 34).

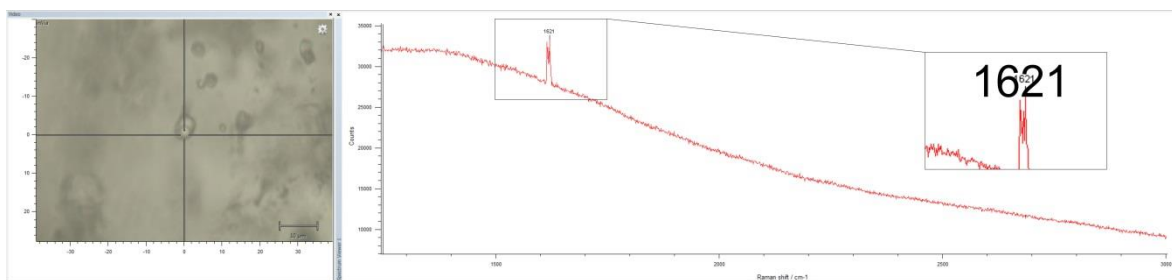


Figura 34. Inclusión fluida con su respectivo espectro, dando valores de 1621 cm^{-1} , indicando la presencia de H_2O líquido en el fluido.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la técnica de Raman en inclusiones fluidas de las vetas estudiadas en la mina El Gran Porvenir se deduce que el fluido

mineralizante tiene una composición acuo-carbónica, con una proporción de 3,5:1 de agua y CO₂ deducida de las imágenes tomadas de inclusiones fluidas.

12.2 MICROTERMOMETRÍA

Las inclusiones fluidas son pequeñas cantidades de fluidos atrapados al interior de un cristal durante su crecimiento o por fracturamiento posterior (Figura 35). Se presentan en la mayoría de cristales, debido a que la mayoría de rocas, incluyendo menas, rocas lunares y meteóricas, involucran fluidos en su cristalización o recristalización (Roedder, 2002). Para estudiar las inclusiones se realizan secciones doblemente pulidas; comúnmente se analizan en minerales traslúcidos (Cuarzo, esfalerita, calcita, adularia, etc.) aunque existe la posibilidad de hacerlo en opacos utilizando rayos infrarrojos.

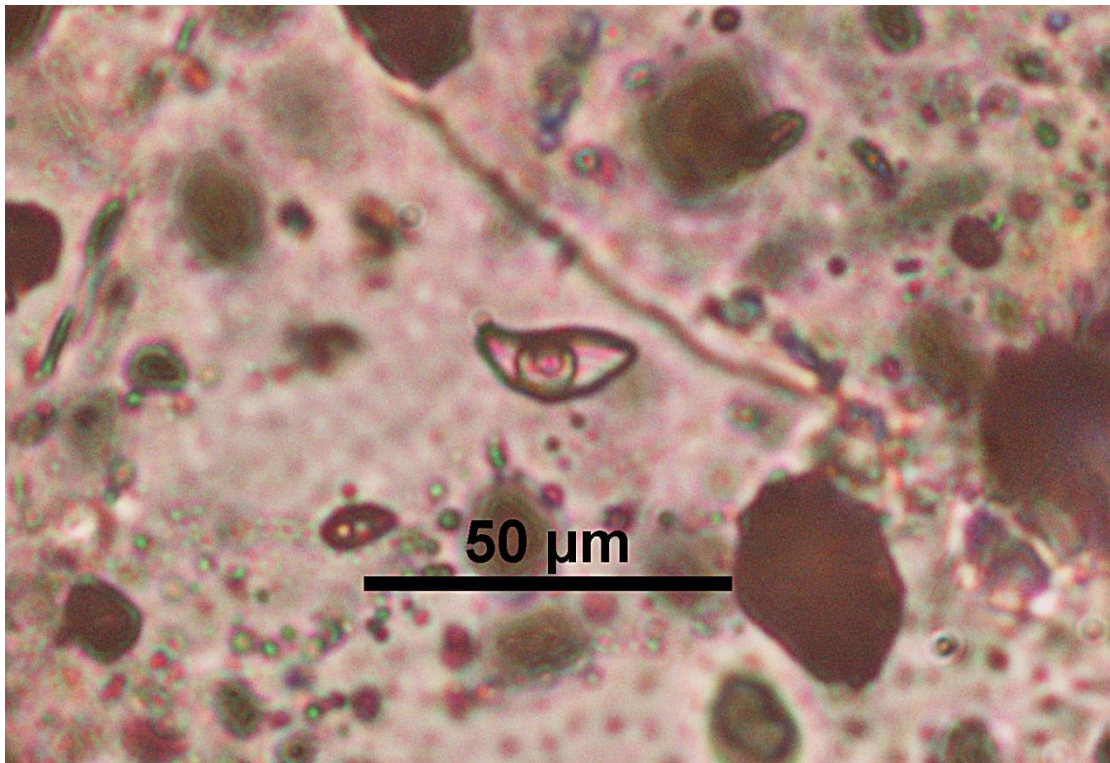


Figura 35. Inclusión fluida primaria que muestra la doble burbuja de CO₂ a temperatura ambiente, mina el Gran Porvenir. 500X, PPL.

Es muy común que existan fallas en la estructura del cristal, que generan irregularidades en la superficie de éste, y sirven para albergar fluido que se sellará herméticamente durante el crecimiento del cristal para formar una inclusión intercrystalina. Las inclusiones se originan durante la formación del cristal, se denominan primarias, y no tienen una orientación

preferencial. Las inclusiones secundarias se dan por deformación frágil y posterior recristalización, mientras las pseudosecundarias se dan por deformación frágil cuando ocurre al tiempo que la formación del cristal (Hurai et al., 2015).

Generalmente las inclusiones fluidas pueden estudiarse cuando alcanzan un tamaño de 10 – 100 μm (Roedder, 2002), y el método más común es la microtermometría, que es una técnica usada para determinar la composición, densidad, salinidad, temperatura y presión del fluido original. Consiste en observar los cambios de fase que ocurren dentro de una inclusión fluida al aumentar o disminuir la temperatura.

Barnes (1997), afirma que no todas las inclusiones fluidas pueden ser estudiadas, por lo que este autor sugiere que es importante considerar las siguientes suposiciones:

1. La inclusión atrapa un fluido hidrotermal homogéneo antes de enfriarse (dentro de una inclusión fluida actual hay un conjunto de fases, pero fue solo un fluido en el momento del atrapamiento a temperaturas elevadas). Dentro de las inclusiones pueden haber cristalizado fases sólidas o minerales hijos al disminuir la temperatura y presentarse una burbuja de gas, pero originalmente los componentes estaban disueltos en un fluido homogéneo.
2. $m = K$; el sistema es cerrado, no hay pérdidas de fluido y la masa ha permanecido constante.
3. $v = K$; el volumen ha permanecido constante.
4. En ambientes sedimentarios y metamórficos puede haber problemas con el volumen o masa de inclusiones fluidas (pueden haber variado), lo que inutiliza o complica su utilización para determinar condiciones físicas de atrapamiento en estos casos. Asimismo, en ocasiones se observa que inclusiones en minerales hidrotermales se han estrangulado después de su formación, lo cual también las inutiliza para determinaciones termométricas.

12.2.1 Petrografía de las inclusiones fluidas

Se identificaron tres tipos de inclusiones fluidas dentro de las 60 que fueron estudiadas, las cuales se clasificaron con base en la propuesta de Nash (1976), y Nash y Theodore (1971). A continuación, se explicarán los planteamientos de los autores.

Clasificación de Nash (1976)

Esta clasificación está basada según las relaciones entre las fases que presenta una inclusión fluida a temperatura ambiente. (Figura 36).

Tipo L (Líquido): Estas inclusiones fluidas presentan dos fases: Una líquida (agua) y otra gaseosa (vapor de agua); presentan un volumen diferente que depende de la temperatura de atrapamiento. Su salinidad es moderada.

Tipo V (Vapor): Son ricas en gas, el cual normalmente ocupa un 60% de la inclusión; en algunas ocasiones permiten indicar la existencia de ebullición, especialmente cuando coexisten con las inclusiones tipo L. Pueden contener algo de CO₂.

Tipo S (Sólido): Su salinidad es muy alta, presenta pequeños cristales de halita y en ocasiones de silvita, anhidrita, hematites, etc.

Tipo C (Carbónicas): Son ricas en CO₂, con una relación CO₂/H₂O variable pero casi siempre comprendida entre 3 y 30% del volumen.

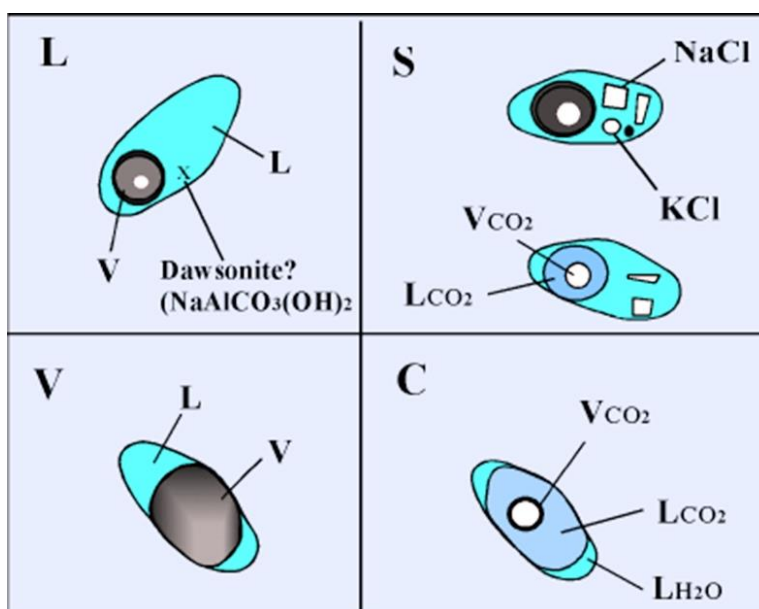


Figura 36. Clasificación para inclusiones fluidas propuesta por Nash en 1976.

Clasificación de Nash y Theodore, 1971

Estos dos autores evalúan el número de fases presentes a temperatura ambiente (Figura 37), y se dividen en cinco tipos:

Las IF tipo I: Líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos, originadas por un fluido subsaturado en sales (<26% NaCl eq.) rica en H₂O (líquido). Generalmente homogenizan a líquido durante el calentamiento.

Las IF tipo II: Líquidas con una gran burbuja de vapor, sin minerales hijos, los fluidos que las generan son ricos en volátiles y por lo general homogenizan a vapor.

Las IF tipo III: Son inclusiones polifásicas (líquido+vapor+sólidos), contienen uno o más minerales hijos y se forman a partir de fluidos saturados de un $>26\%$ NaCl eq. Contienen fases sólidas a temperatura ambiente como son la halita o silvita.

Las IF tipo IV: Se caracterizan por presentar dos fases líquidas y minerales hijos. Por lo general son ricas en CO_2 , frecuentemente presentan dos fases líquidas, una rica en H_2O , otra rica en CO_2 líquido, CO_2 gaseoso y una o varias fases sólidas.

Las IF tipo V: Son inclusiones de CO_2 líquido con vapor, sin minerales hijos. Contienen agua líquida, CO_2 líquido y una burbuja pequeña de vapor, formada por un fluido subsaturado en sales y rico en CO_2 .

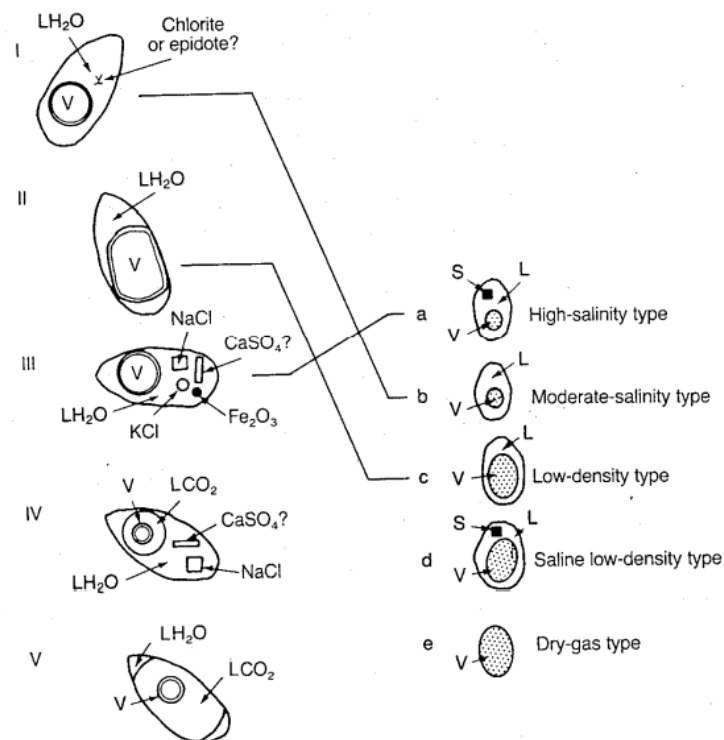


Figura 37. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas. Tipo I a V de Nash y Theodore (1971). Tipo a hasta e de Ahmad y Rose (1980), L, líquido y V, vapor.

Clasificación según su morfología: La forma de las inclusiones fluidas no tiene relación con el origen de ellas, sin embargo, existe una clasificación (Figura 38).

Irregulares: Su forma es esquelética, con bordes lobulados. Sus planos no reflejan los rasgos estructurales del mineral encajante.

Regulares: Cuando los bordes de la inclusión muestran superficies planas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal.

Ovoides: Bordes siempre redondeados, presentan tendencia a formas esferoides.

Tabulares/Prismáticos: Predomina el carácter alargado con los extremos más o menos redondeados.

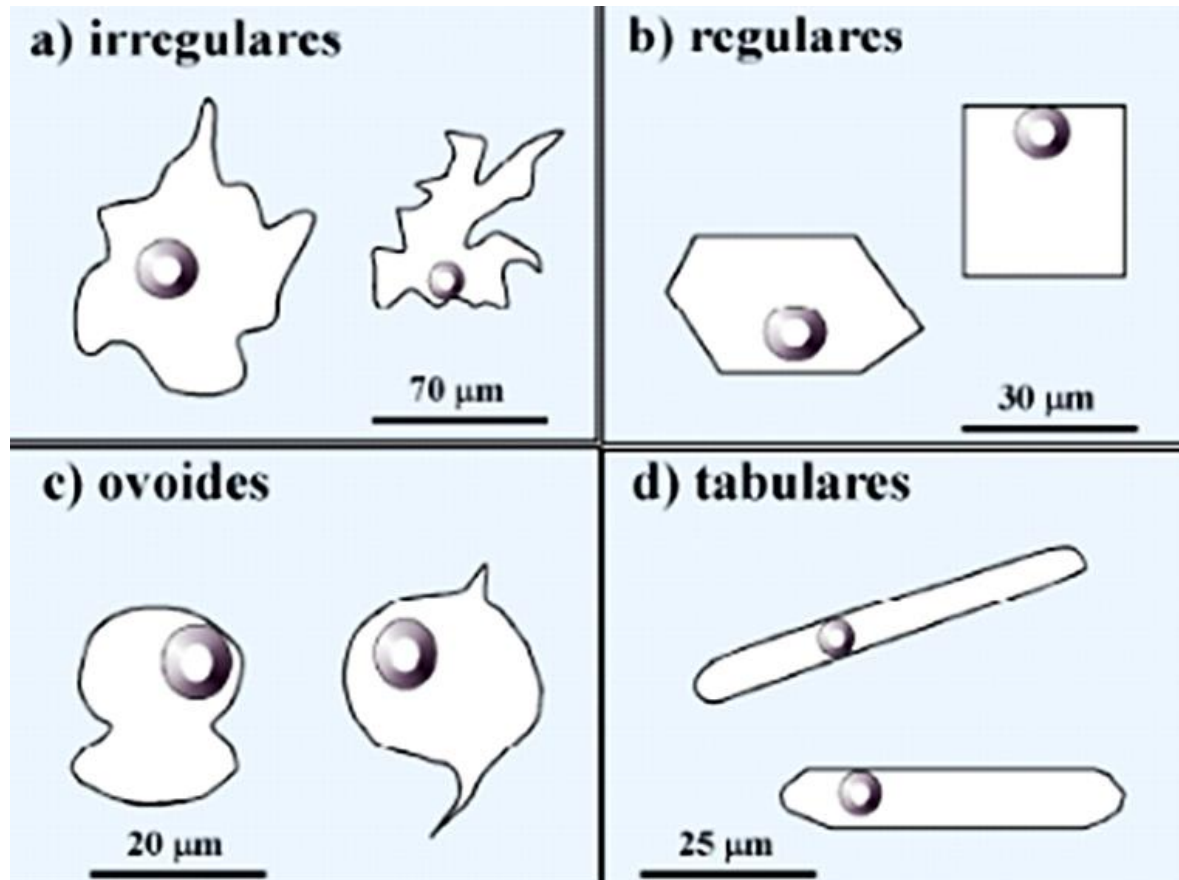


Figura 38. Clasificación de las inclusiones fluidas según su morfología. (Calua, 2014).

El estudio microtermométrico de las inclusiones fluidas encontradas en las vetas de cuarzo y en esfalerita de la mina el Gran Porvenir, se realizó en el laboratorio de Metalografía y Microtermometría de la Universidad de Caldas, por medio del equipo Zeiss Scope.A1 con una platina linkham 600 acoplada que permite llegar a temperaturas de enfriamiento de -196°C hasta 600°C . Con los análisis de petrografía, se determinó que el mineral hospedante de las 60 inclusiones fluidas analizadas en cuatro secciones doblemente pulidas, es el cuarzo principalmente, 42 estaban en cuarzo y 18 en esfalerita. Es importante tener en cuenta que la esfalerita se encuentra en el mismo evento de depositación del oro, por lo que los datos de inclusiones que provengan de esta, se toman como información del fluido mineralizante principal. La figura 39 ilustra por medio de graficas circulares la clasificación

de las inclusiones fluidas encontradas en la mina El Gran Porvenir de acuerdo a sus dos eventos mineralizantes importantes, según Nash (1976), y Nash y Theodore (1971); además la clasificación con respecto a su morfología.

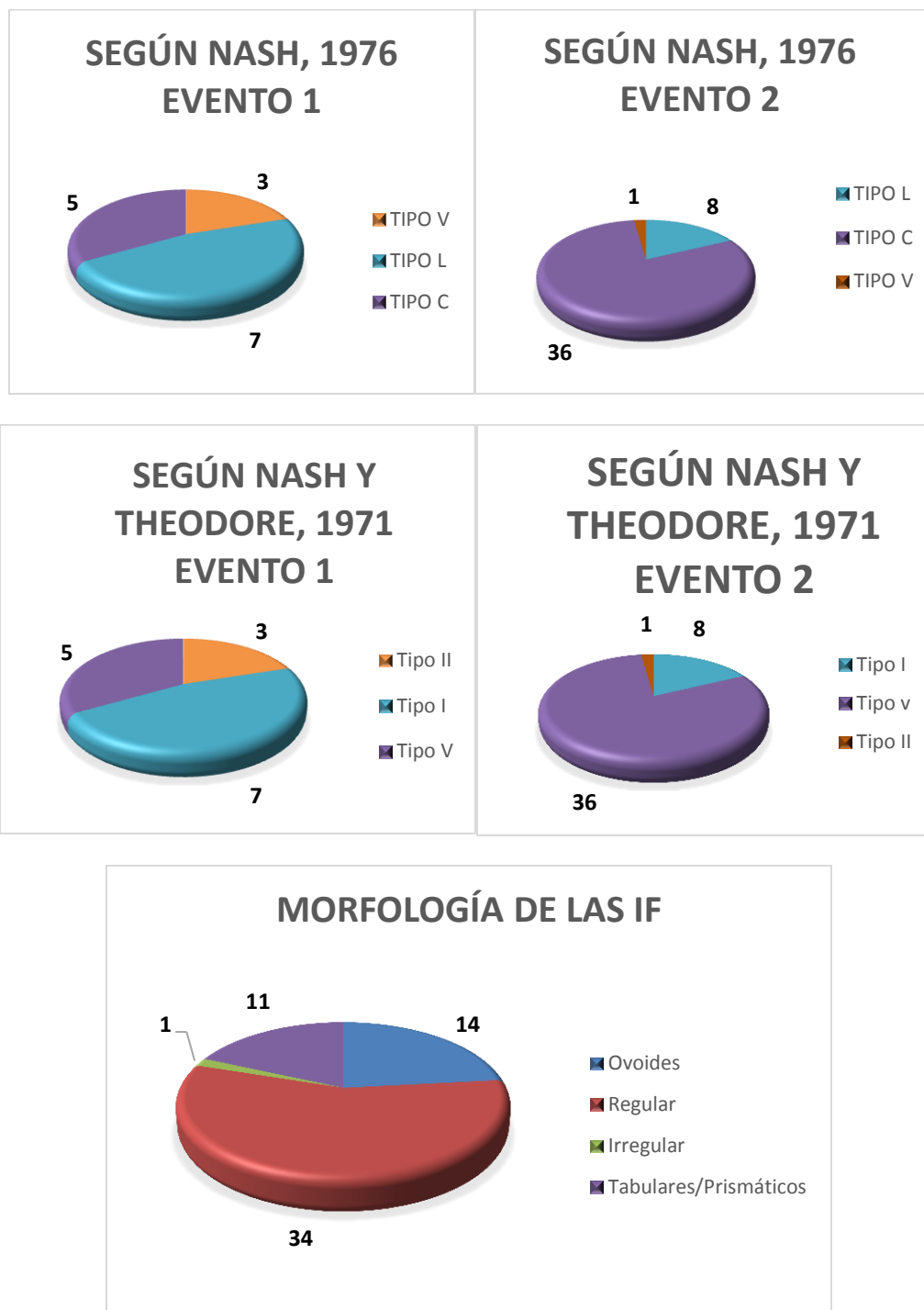


Figura 39. Clasificación de las inclusiones fluidas del evento uno y dos en la mina El Gran Porvenir, según diferentes autores. Además, la clasificación con respecto a su morfología.

Se realizó una clasificación para el evento uno y dos, según Nash (1976), y Nash y Theodore (1971). (Anexo B)

Evento 1: Se analizaron 15 inclusiones fluidas para este evento, correspondientes al nivel 10 de la mina. De estas, tres inclusiones son secundarias, y 12 primarias; todas albergadas en cuarzo.

Por lo tanto, según la clasificación de Nash (1976), tres inclusiones son tipo V, siete tipo L, y cinco tipo C; y su equivalencia a la clasificación de Nash y Theodore (1971) es: Tipo V corresponde a tipo II, tipo L a tipo I y tipo C a tipo V. Con respecto a su morfología, hay ocho inclusiones regulares, seis ovoides y solo una irregular.

Evento 2: Este corresponde a la veta con mayores valores de oro. Se analizaron 45 inclusiones fluidas, de las cuales 18 estaban albergadas en esfalerita, y los restantes en cuarzo. Existe una inclusión tipo V o tipo II, ocho tipo L o tipo I y 36 tipo C o tipo V (Nash, 1976; Nash y Theodore, 1971). Su morfología se divide en: 26 regulares ocho ovoides y 11 tabulares prismáticos.

En conclusión, el tipo de inclusiones fluidas que predominan dentro del yacimiento son las tipo C o tipo V, las cuales son ricas en CO₂, contienen agua líquida, CO₂ líquido y una burbuja pequeña de vapor.

12.2.2 Interpretación de datos microtermométricos

12.2.2.1 Temperatura eutéctica: Es la temperatura mínima a la que puede existir líquido de manera estable, y sirve para establecer el sistema salino presente en la inclusión fluida (Hurai et al., 2015). Se identifica cuando, después de enfriar la muestra (hasta los -190°C), esta comienza a calentarse en la platina Linkham, y el primer movimiento que ocurre se interpreta como un cambio de fase, que en este caso sería de sólido a líquido. Las tablas 4 y 5 incluyen información sobre las diferentes temperaturas eutécticas que tienen ciertos sistemas salinos; en amarillo se resaltan las temperaturas halladas en las inclusiones fluidas de la mina El Gran Porvenir. De las 60 inclusiones, 55 arrojaron datos concluyentes.

Varios compuestos fueron encontrados dentro de la inclusión, ya que se presentaron dos temperaturas eutécticas: Una que oscila entre los -21,2 y -10,6°C e indica el sistema salino de la inclusión, que puede estar conformado por NaCl o KCl (Tabla 4); otra que va hasta los -56°C, desde temperaturas un poco menores, y representa el CO₂ (Tabla 5).

SISTEMA SALINO	TEMPERATURA EUTÉCTICA	FASES SÓLIDAS
H ₂ O - NaCl - CaCl ₂	-55 (-52)	Ice + NaCl.2H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O - MgCl ₂ - CaCl ₂	-52,2	Ice+MgCl ₂ .12H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O - KCl - CaCl ₂	-50,5	Ice + CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O - CaCl ₂	-49,8	Ice + CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-KCl-MgCl ₂	-37,8	Ice + KCl.4H ₂ O + MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	-37,0	Ice+(K,Na) ₂ CO ₃ .6H ₂ O+K ₂ CO ₃ .6H ₂ O
H ₂ O - NaCl - FeCl ₂	-37,0	Ice + NaCl.2H ₂ O + FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O - FeCl ₂	-35,0	Ice + FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O - NaCl - MgCl ₂	-35,0	Ice + NaCl.2H ₂ O + MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂	-33,6	Ice + MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O - NaCl - KCl	-23,5 (-22,9)	Ice + NaCl.2H ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaHCO ₃	-21,8	Ice + NaCl.2H ₂ O + NaHCO ₃
H ₂ O-NaCl-Na ₂ SO ₄	-21,7	Ice + NaCl.2H ₂ O + Na ₂ SO ₄ .5H ₂ O
H ₂ O-NaCl-Na ₂ CO ₃	-21,4	Ice + NaCl.2H ₂ O + NaHCO ₃
H ₂ O-NaCl	-21,2 (-20,8)	Ice + NaCl.2H ₂ O
H ₂ O-KCl	-10,6	Ice + KCl
H ₂ O-NaHCO ₃ -Na ₂ CO ₃	-3,3	Ice + NaHCO ₃ + Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃	-2,3	Ice + NaHCO ₃
H ₂ O-Na ₂ CO ₃	-2,1	Ice + Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ SO ₄	-1,2	Ice + Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O

Tabla 4. Sistemas salinos-acuosos más relevantes para las inclusiones fluidas acuosas. Las temperaturas eutécticas encontradas en la mina El Gran Porvenir están resaltadas en amarillo. Propuesta por Borisenko, 1977 en Shepherd *et al.*, 1985.

Sistema	Masa molar (g·mol ⁻¹)	Ttriple (°C)	Ptriple (MPa)	Tcrítica (°C)	Pcrítica (MPa)	Vm crítico (cm ³ ·mol ⁻¹)
H ₂	2.0159	-259.15	0.0072	-239.9	1.297	65.0
O ₂	31.999	-218.79	0.00015	-118.57	5.043	73.37
N ₂	28.0134	-210	0.0125	-146.95	3.398	90.10
CO	28.01	-205	0.015	-140.3	3.494	93.1
C ₃ H ₈	44.097	-188	1.7x10 ⁻⁴	96.68	4.248	200.0
Ar	39.948	-185.37	6.89	-122.29	4.898	74.57
CH ₄	16.04	-182.5	0.012	-82.59	4.599	98.6
C ₂ H ₆	30.07	-182	1.1x10 ⁻⁶	32.17	4.872	145.5
H ₂ S	34.08	-85.5	0.0232	100.15	8.963	98.0
NH ₃	17.031	-77.66	0.0061	132.25	11.333	72.47
SO ₂	64.065	-75.51	0.0017	157.65	7.884	122
CO ₂	44.01	-56.57	0.5185	30.978	7.377	94.0
H ₂ O	18.0153	0.010	0.00061	373.95	22.064	55.95
KCl	74.56	770	5x10 ⁻⁴	2910?	44.0?	
NaCl	58.44	800	< 0.1	3090?	62.0?	

Tabla 5. Características de los sistemas encontrados en inclusiones fluidas. Resaltado en amarillo está la primera temperatura eutéctica identificada en la mina El Gran Porvenir, que corresponde a CO₂. Tomado de Ridley y Diamond (2000)

Las temperaturas obtenidas en las inclusiones pertenecientes tanto al primer evento mineralizante como al segundo permitieron identificar los siguientes sistemas salinos: **1)** H₂O – CO₂, **2)** H₂O – CO₂ – NaCl, **3)** H₂O – CO₂ – KCl. El primer sistema, se encuentra en 25 inclusiones fluidas acuo- carbónicas, siendo entonces el más común; presenta temperaturas entre -56,6 y -65,0, lo cual puede observarse en la figura 40. Las temperaturas más altas permiten interpretar que el volátil predominante es el CO₂, y las más bajas pueden interpretarse con la presencia de otros volátiles como N₂ y CH₄ según Pitzer (1995). Los sistemas dos y tres contienen CO₂ acompañado de NaCl y KCl, respectivamente; lo cual se pudo determinar por cambios en la burbuja líquida a temperaturas desde los -21,2 hasta los -20,7 °C para el NaCl, y desde -11 hasta -9 °C para el KCl.

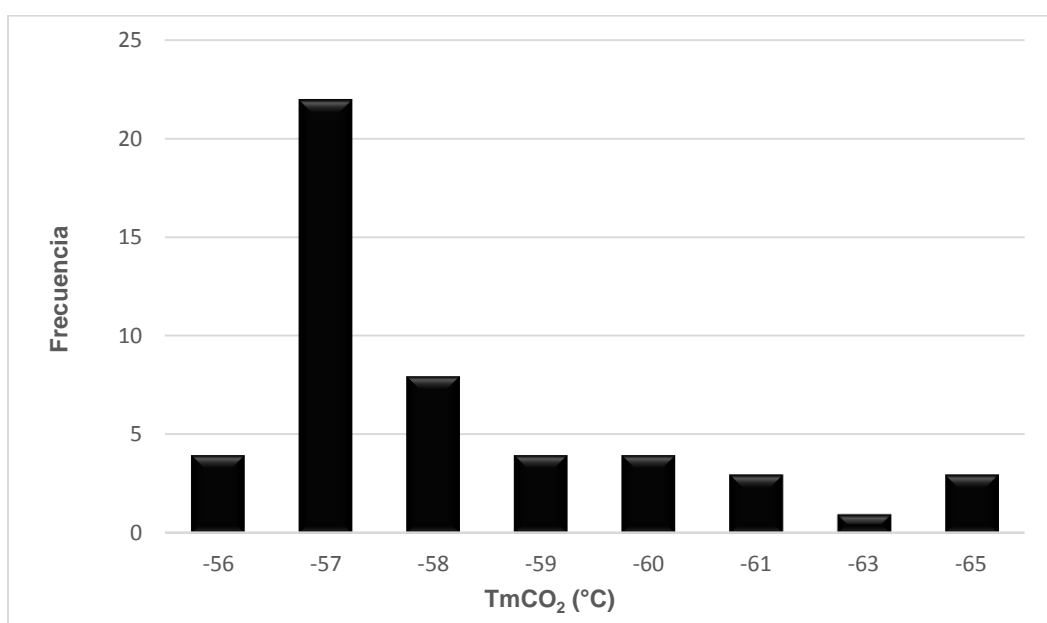


Figura 40. Gráfico de frecuencia para la temperatura eutéctica que indicó la presencia de CO₂ en las inclusiones fluidas de la mina El Gran Porvenir. Las temperaturas menores a -56 °C corresponden a inclusiones con contenido de N₂ y CH₄.

12.2.2.2 Salinidad: Se determina con la temperatura de fusión del último sólido. Las inclusiones acuosas de baja a moderada salinidad pueden homogenizar a líquido o vapor, dependiendo de si la densidad total es mayor (líquido) o menor (vapor) a la que se da durante el punto crítico; mientras que las inclusiones de alta salinidad pueden homogenizar únicamente a líquido por disolución de halita. Las inclusiones que poseen CO₂ como clatrato, solo son estables si este representa más de un 3.6% de la masa de la inclusión, y cuando esto sucede, es muy común que el clatrato interactúe con líquido acuoso y vapor rico en CO₂ (Hurai et al., 2015). En la figura 41 se encuentran graficados datos de salinidad y cantidad molar de CO₂ en la mina.

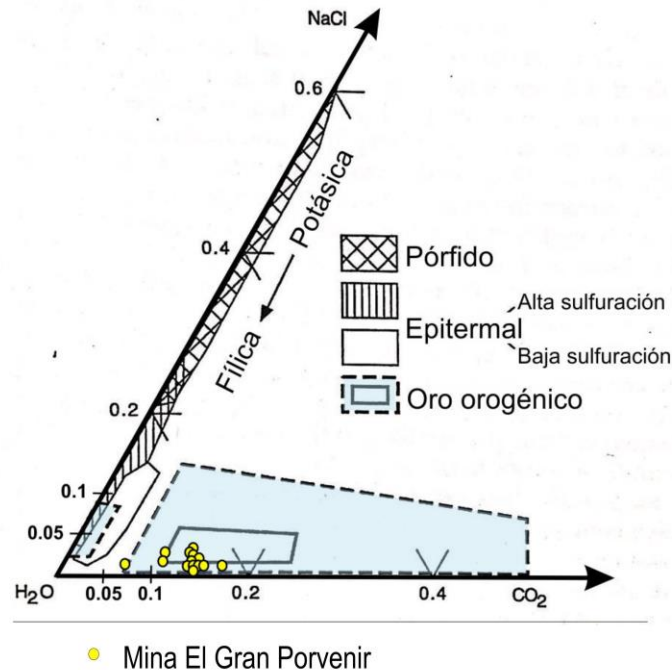


Figura 41. Composición de los fluidos de mena de diferentes depósitos de oro, con las proporciones molares para el H₂O y CO₂ y la salinidad (wt % NaCl equiv). Los puntos amarillos corresponden a los datos de salinidad y cantidad molar de CO₂ en las inclusiones de la mina El Gran Porvenir. Tomado de Ridley y Diamond (2000).

En el caso de la mina El Gran Porvenir, por medio del programa BULK de Bakker (2003), se obtuvo salinidad del fluido mineralizante tomando los datos del sistema salino y la temperatura de fusión del último sólido de 27 inclusiones fluidas; los resultados para ambos eventos se encontraron en un rango de 1.5940 a 12.6596 wt % NaCl, teniendo un promedio de 8.6047 wt % NaCl.

En el nivel diez de la mina, perteneciente al evento uno, se encontraron dos tipos de sales en 11 inclusiones fluidas, NaCl y KCl. Determinando su presencia con la respectiva temperatura eutéctica; dando salinidades desde 9.7972 hasta 10.8724 wt% NaCl.

Para el segundo evento, que es representado por los niveles mencionados a continuación, la salinidad determinada fue:

En el nivel cinco se estudiaron nueve inclusiones fluidas y cinco presentan NaCl. La fusión final del hielo se dio entre -0.9 y -8.7 °C, determinando una salinidad promedio de 8.3634 wt% NaCl.

En el nivel denominado “Avance”, se presentan de nuevo dos sales en 19 inclusiones estudiadas, NaCl y KCl; la salinidad no pudo ser determinada en la mayoría de los casos

debido a la ausencia de datos. En seis inclusiones se observó la temperatura de fusión final del hielo entre -2,3 y -8,2 °C y se obtuvieron salinidades desde 8.3874 hasta 12.0799 wt% NaCl. Siendo este lugar de la mina el que alberga las mayores salinidades, en sus inclusiones fluidas.

La última sección analizada corresponde a la zona llamada “Chucula”, en la cual de las 19 inclusiones fluidas estudiadas nueve arrojaron datos de salinidad, que corresponden a NaCl, con una fusión final del hielo entre -8.4 y -2.1 °C, dando como resultado una salinidad promedio de 6.2706 wt% NaCl.

12.2.2.3 Densidad: Es una unidad de medida de masa por una unidad de volumen. En este caso se calculó usando el programa de Bakker (2003), que usa una serie de ecuaciones matemáticas a partir de los datos del sistema composicional y la temperatura de homogenización de la fase gaseosa del CO₂. (Tabla 6)

GP - 01 - 3	Densidad del fluido	GP - 05 - 4	Densidad del fluido	GP 06 - 4	Densidad del fluido	GP 07 - 2	Densidad del fluido
Z6.7 - 2	0.702754 g/cc	Z2 - 1	0.735836 g/cc	Z7 - 1	0.683972 g/cc	Z5 - 1	0.825502 g/cc
Z13 - 1	0.869157 g/cc	Z4 - 1	0.782846 g/cc	Z7 - 2	0.726458 g/cc	Z5 - 2	0.678373 g/cc
Z13 - 2	0.874159 g/cc	Z4 - 2	0.717978 g/cc	Z7 - 4,1	0.720854 g/cc	Z5 - 3	0.68758 g/cc
Z13 - 3	0.848217 g/cc	Z4 - 3	0.731880 g/cc	Z7 - 4,2	0.756738 g/cc	Z5 - 4	0.74963 g/cc
Z13 - 4	0.847438 g/cc	Z4 - 4	0.747199 g/cc	Z7 - 5	0.750834 g/cc	Z11 - 1	0.710554 g/cc
Z14 - 1	0.970829 g/cc	Z4 - 5	0.752029 g/cc	Z10 - 3	0.71505 g/cc	Z11 - 3	0.697872 g/cc
Z14 - 2	0.856632 g/cc	Z4 - 6	0.738425 g/cc	Z10 - 4	0.71505 g/cc	Z11 - 4	0.702754 g/cc
Z14 - 3	0.868435 g/cc	Z7 - 1	0.73054 g/cc	Z10 - 5	0.759050 g/cc	Z13 - 1	0.765824 g/cc
Z23 - 1	0.852074 g/cc	Z7 - 2	0.676453 g/cc	Z10 - 6	0.723680 g/cc	Z9 - 1	0.699518 g/cc
Z23 - 2	0.915199 g/cc			Z10 - 7	0.734527 g/cc	Z9 - 3	0.702754 g/cc
Z23 - 3	0.899291 g/cc			Z13 - 4	0.73188 g/cc	Z9 - 4	0.697872 g/cc
				Z17 - 1	0.704347 g/cc	Z9 - 5	0.716521 g/cc
				Z17 - 3	0.806999 g/cc	ZXY - 1	0.623458 g/cc

Promedio: 0.761004 g/cc

Tabla 6. Densidades del fluido mineralizante obtenidas por el programa BULK, Bakker (2003).

Como puede observarse en la tabla 6, la densidad del fluido mineralizante calculado en las inclusiones fluidas analizadas la mina El Gran Porvenir se encuentra entre los 0.623458 y 0.970829 g/cc, donde la mayor se encuentra en la sección GP-01-3, que corresponde al nivel diez, y al evento uno; y la menor, en la sección GP-07-2 que corresponde a la Chucula, uno de los niveles más superficiales. En promedio, la densidad del yacimiento en general se encuentra alrededor de los 0.761004 g/cc.

A partir de 11 datos se determinó que para el evento uno la densidad promedio es de 0,864016 g/cc. Teniendo como dato mínimo y máximo 0,702754 – 0,970829 g/cc respectivamente.

En el evento dos, 35 mediciones permitieron hallar una densidad promedio de 0,726667 g/cc, teniendo como dato mínimo y máximo 0.623458 - 0.825502 g/cc respectivamente

12.2.2.4 Temperatura de homogenización: La mayoría de las inclusiones de la mina El Gran Porvenir se encuentran compuestas de dos fases, una líquida y una fase gaseosa (bifásica). Cuando se calienta la inclusión hasta el punto en que desaparecen todas las burbujas existentes, se alcanza la temperatura de homogenización T_h (Izquierdo et al., 2008); esta se asume como la temperatura mínima de atrapamiento del fluido hidrotermal, aunque pierde algo de exactitud cuando las presiones del depósito son altas, y el dato tiende a hacerse menor a la temperatura real (Hurai et al., 2015). En la figura 42 se observan los cambios que presenta una inclusión fluida albergada en cuarzo desde el congelamiento a temperaturas de $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a la temperatura de homogenización. a) Se observa la primera fusión del hielo, la cual corresponde a la temperatura eutéctica $-56,57^{\circ}\text{C}$; b) se presentan las dos fases (líquido y gas) muy juntas, comenzando la burbuja de vapor su proceso de desaparición ($10,2^{\circ}\text{C}$); c) desaparece completamente la fase gaseosa, quedando únicamente la burbuja de líquido, este cambio ocurre a $25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ d) la inclusión alcanza su temperatura de homogenización finalizando el proceso a los $301\text{ }^{\circ}\text{C}$.

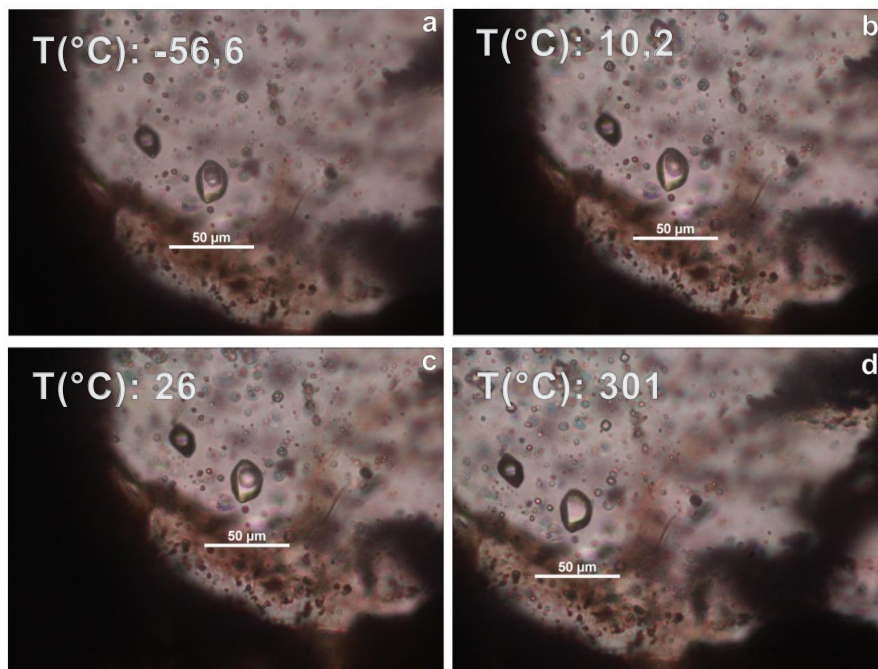


Figura 42. Etapas de una inclusión fluida albergada en cuarzo hasta llegar al punto de su temperatura de homogenización. a) Inclusión casi completamente congelada, se empieza a observar la primera fusión de hielo ($-56,6^{\circ}\text{C}$). b) Se presenta la fase líquida y de vapor, donde esta segunda es de menor tamaño debido a que está alcanzando su temperatura de ebullición ($10,2^{\circ}\text{C}$). c) Inclusión a 26°C , la burbuja de vapor de CO_2 ya ha desaparecido. d) Temperatura de homogenización alcanzada a los 301°C , sólo puede verse una fase líquida. 500X, PPL.

A partir de 51 inclusiones fluidas pudo determinarse que, en este yacimiento, las inclusiones homogenizaron principalmente a líquido, en temperaturas desde 243.8 hasta 348.2 °C. En promedio, la temperatura de homogenización en las inclusiones es de 289.4 °C.

Para el evento uno, que corresponde al nivel diez, la temperatura de homogenización osciló entre 277.1 hasta 343.3 °C, albergando los datos más altos de atrapamiento. Los rangos de temperaturas más amplios y el mayor flujo de datos se encuentran en el evento dos, en los niveles del “Avance”, la “Chúcula” y nivel cinco; presentándose desde 253.5 hasta 348.2 °C, entre 245.7 y 340.1 °C y 243.8 hasta 320.0 °C respectivamente.

En la figura 43 puede visualizarse como cambian tres inclusiones fluidas albergadas en esfalerita, iniciando en la figura a) donde estas presentan dos fases, una líquida y otra gaseosa a 12°C; b) solo se observan las fases líquidas a 26°C; c) estado final de la burbuja líquida de CO₂ (291°C); y en la figura d) ya se encuentra completamente homogenizada a 300°C.

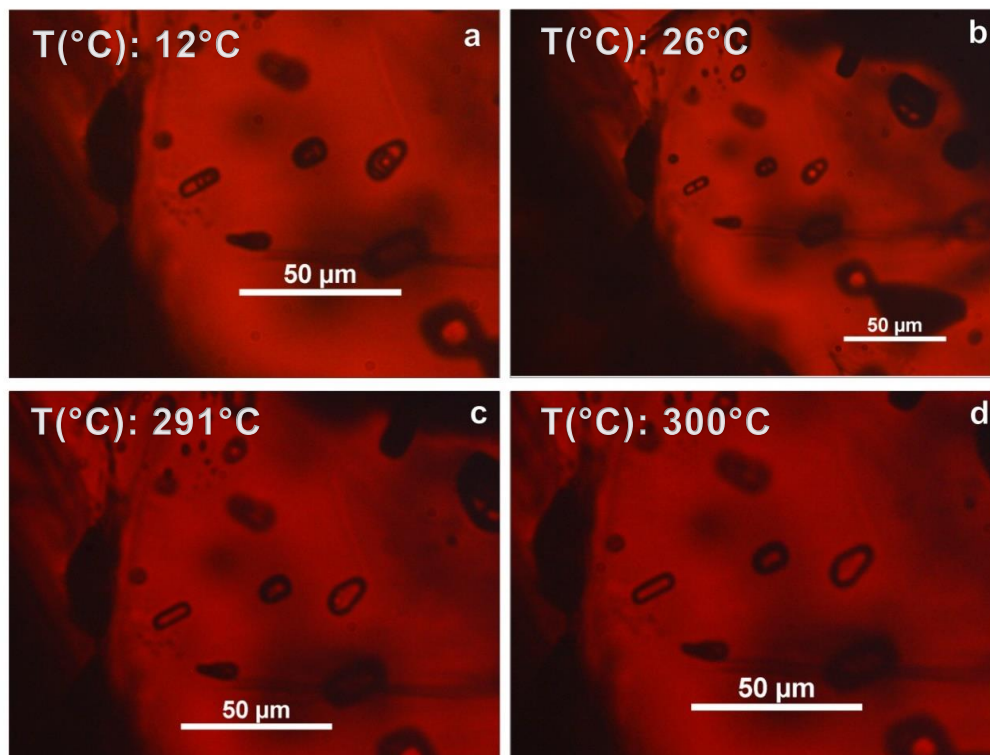


Figura 43. Cambios observados a diferentes temperaturas en tres inclusiones fluidas en esfalerita. a) Fase de vapor de CO₂, líquida de CO₂ y de H₂O, a 12°C. b) Fases líquidas de CO₂ y H₂O. Ya ha desaparecido la burbuja de vapor de CO₂ a los 26°C. c) Fase cercana a la Th de las tres inclusiones (291°C), aún puede observarse la burbuja líquida de CO₂ en dos de estas. d) Temperatura de homogenización alcanzada en las tres inclusiones a 300°C. 500X, PPL.

En el sector el “Avance” se presentó una temperatura de homogenización de 168 °C, en una inclusión fluida secundaria, que se interpreta entonces como la temperatura de un fluido posterior a la mineralización principal.

En la figura 44 puede verse un resumen general de lo dicho anteriormente, con la cantidad de inclusiones que presentaron la temperatura de homogenización representada en los rangos del eje x.

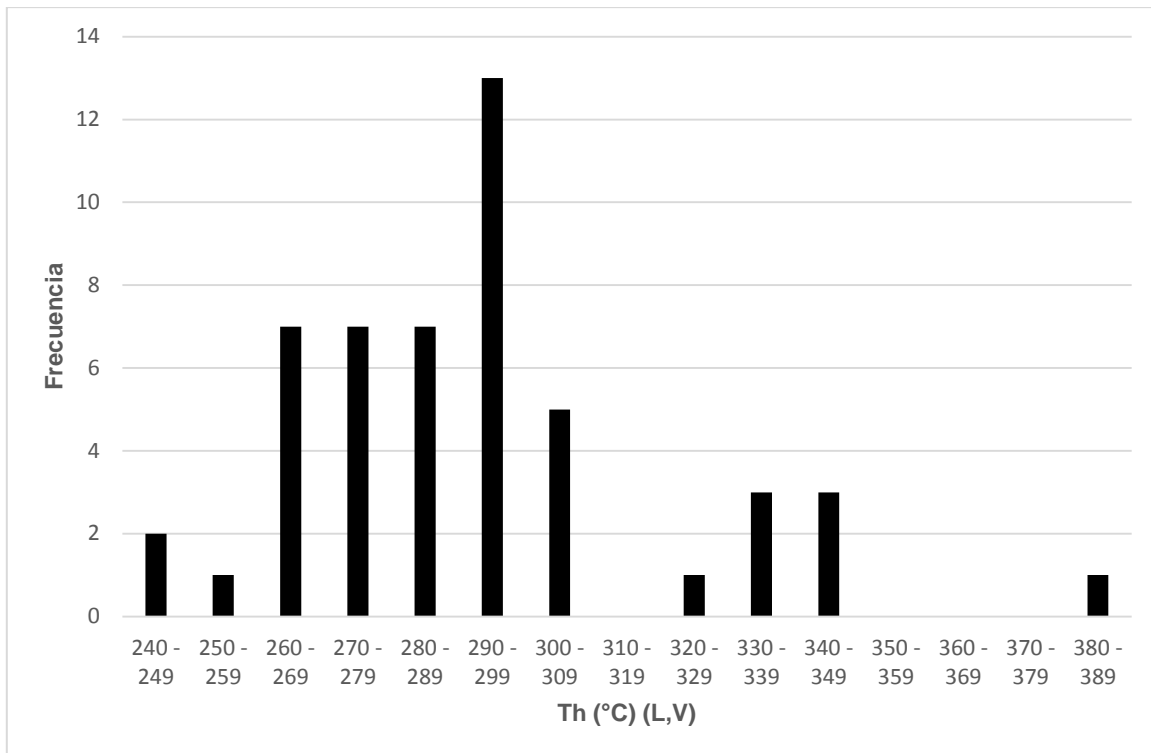


Figura 44. Gráfica que representa el número de inclusiones que presentaron su temperatura de homogenización en diferentes rangos de temperatura.

La relación entre la temperatura de homogenización y la salinidad puede determinar el origen de los fluidos hidrotermales, y por ende el tipo de depósito (Hurai et al., 2015), como puede observarse en la figura 45.

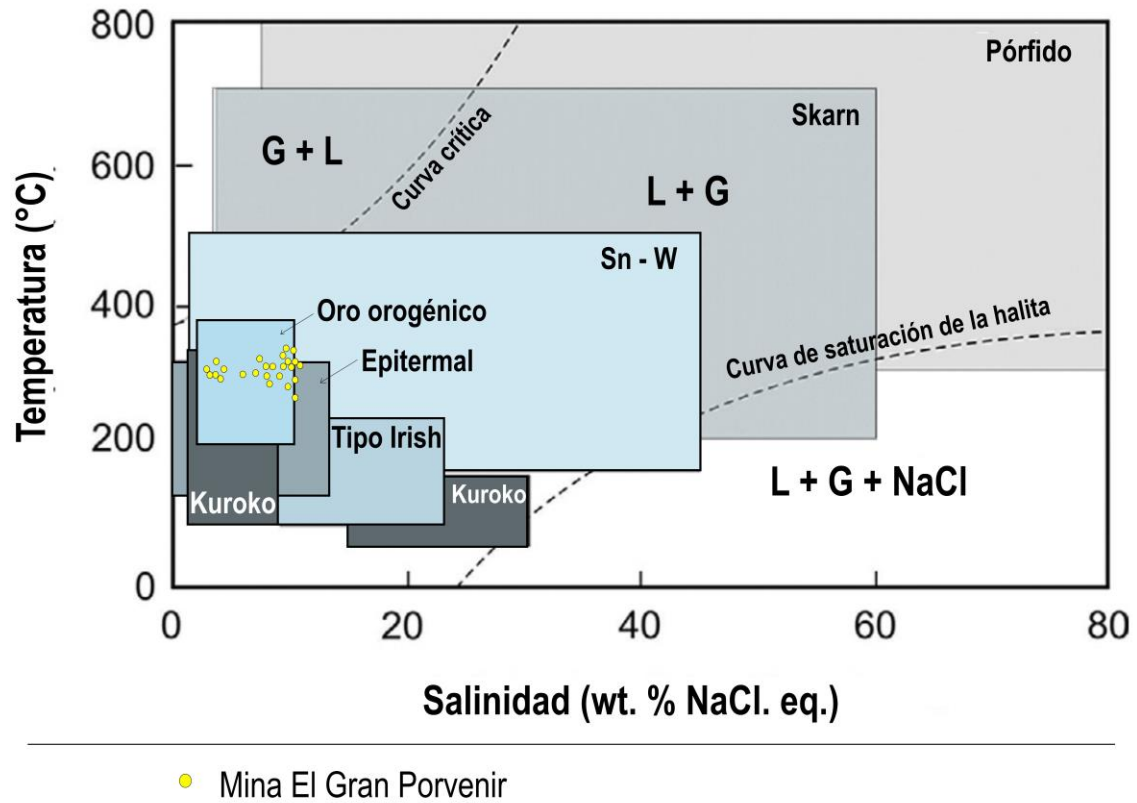


Figura 45. Clasificación del depósito según la relación de la temperatura (°C) y la salinidad (wt. % NaCl. eq.) Tomado de Hurai et al., (2015)

13. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se infiere un modelo genético para la mina El Gran Porvenir, comparándolo con algunos depósitos similares y con la clasificación de Groves et al., (1998). Además, se pudo completar y verificar la información existente sobre el depósito.

La configuración tectónica de los depósitos característicos que describe Groves et al., (1998) (Tabla 8) y la asociación que presenta el oro con la facies metamórfica esquisto verde según el mismo autor, concuerda con las características de la roca caja del depósito El Gran Porvenir; ya que se encuentra localizada en el Terreno Tahamí, localmente en el Complejo Cajamarca, cuyo metamorfismo está relacionado a la colisión de un margen continental. La roca caja son esquistos grafitosos y moscovíticos, que alcanzan facies esquisto verde (Toro et al., 2005), lo que de acuerdo a Yardley (1989) corresponde a una temperatura de formación entre 350 y 500°C, y presiones de aproximadamente 2 a 8 kb.

El oro se deposita en una zona de transición frágil - dúctil de la roca, a presiones entre 1 y 3 kb, y temperaturas entre los 200 y 400°C (Ash y Alldrick, 1996).

Mineralogía del depósito: Se encuentran diferentes vetas de cuarzo cortando la roca metamórfica, las cuales traen consigo una cantidad considerable de sulfuros, como: Pirita, galena, esfalerita, oro, pirrotina, marcasita, calcopirita, entre otros. En cuanto a los minerales ganga, en la veta se presenta moscovita-sericita, carbonatos, plagioclasa, cuarzo y apatito; y en la roca caja se halla grafito, clinozoisita, moscovita-sericita, clorita, cuarzo y pirita diseminada.

Los depósitos de Oro orogénico suelen poseer vetas de cuarzo donde la cantidad de sulfuros es de <3 – 5%, y son principalmente de hierro; los carbonatos ocupan del <5 – 15%, y los minerales de ganga son: Albita, moscovita, clorita, scheelita y turmalina (Groves et al., 1998). Los sulfuros más comunes son pirita y arsenopirita; con trazas de otros minerales que suelen estar asociados al oro como: Pirrotina, galena, calcopirita, esfalerita, molibdenita, estibina, telururos Sb – Au – Ag, loellingita y tetraedrita (Bierlein y Crowe, 2000).

Comúnmente el oro se encuentra como granos anhedrales asociados a galena, rellenando fracturas de una pirita anterior. También como inclusiones de pirita, galena y esfalerita.

Es típico encontrar “chalcopyrite disease” entre esfalerita y calcopirita. Según Barton y Bethke (1987) para que ocurra esta textura de exolución, el depósito debe encontrarse a una temperatura de 200 – 400°C, y según Picot y Johan (1982) debe estar alrededor de los 300°C; estas temperaturas fueron corroboradas a partir de microtermometría, donde la

temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas en esfalerita varía entre 269 – 295°C.

Los minerales de mena y ganga de este depósito coinciden con los descritos por los autores en otros depósitos de Oro Orogénico, aunque no se hayan encontrado en su totalidad. En el caso de los minerales asociados al oro, la tetraedrita no se encontró en este estudio; sin embargo, Pratelli (2010) encontró por medio del microscopio electrónico que este es uno de los minerales presentes en la veta, y fue observado también por Márquez (2007).

Alteración hidrotermal: Se presenta carbonatización y sericitización como alteraciones principales en la mina. Estas son las más comunes en un depósito de Oro Orogénico, y no suelen sobrepasar la escala de metros (Siems, 1993; Groves et al., 1998; Bierlein y Crowe, 2000). El metasomatismo del carbonato es el proceso predominante en la alteración de la roca caja en los depósitos de Oro Orogénico (Boyle, 1979). Debido a que los efectos del metasomatismo se ven muy influenciados por el alto contenido de hierro y magnesio en el protolito (Siems, 1993). Adicional a esto, también se presenta pirita diseminada, euhedral y de grano fino en la roca caja, lo que según Groves et al., (1998) es muy típico en este tipo de depósitos.

Composición y características de los fluidos mineralizantes: Los componentes moleculares principales de los fluidos acuo – carbónicos en inclusiones fluidas de depósitos de oro orogénico son: H₂O y CO₂, con CH₄ y N₂ (Ridley y Diamond, 2000). En una compilación realizada a 94 depósitos alrededor del mundo se pudo observar que la mayoría de estos contienen inclusiones acuo – carbónicas con baja salinidad, estos datos pueden observarse en la tabla 7.

Registros de inclusiones fluidas	Número de registros	% del total
Registros en depósitos		
Acuo carbónico de baja salinidad (M)	87	92.6
Carbónico (C)	36	38.3
Acuoso de baja a moderada salinidad (A)	25	26.6
Asociaciones de registros de inclusiones fluidas en depósitos		
Sólo M	43	45.7
M + C	22	23.4
M + C + A	11	11.7
M + A	10	10.6
M + Acuo carbónica mezclado con salino	1	1.1
Sólo A	4	4.3
A + C	0	0.0
Sólo C	3	3.2
Total registros	94	100

Tabla 7. Compilación de los tipos de inclusiones fluidas presentes en 94 depósitos de Oro Orogénico alrededor del mundo. Tomado de Ridley y Diamond (2000).

Puede concluirse que las inclusiones acuo – carbónicas de baja salinidad son predominantes en este tipo de depósitos, debido a que se encuentran en 87 de los 94 analizados, donde en

43 de estos se presentan solas, en 22 acompañadas por inclusiones carbónicas y en 11 por carbónicas y líquidas de moderada salinidad.

Los puntos mencionados anteriormente fortalecen el argumento de que la Mina El Gran Porvenir puede considerarse como un depósito de oro orogénico, debido a que se encontraron los componentes químicos más importantes dentro de sus inclusiones fluidas (CO_2 , N_2 y CH_4), lo que con ayuda de microtermometría permite clasificarlas como acuo – carbónicas y carbónicas.

En depósitos de oro se ha determinado que la salinidad para los fluidos acuo – carbónicos es de 1 hasta 15 wt % NaCl, con una mayor concentración entre 3 y 7 wt % NaCl (Ridley y Diamond, 2000).

La mina El Gran Porvenir (tanto el evento uno como el dos) presenta fluidos de baja salinidad (8.6047 wt % NaCl en promedio), con una densidad promedio de 0.761004 g/cc, y una temperatura de atrapamiento que va desde los 243.8 hasta los 348.2°C. Composicionalmente se halló CO_2 en altas cantidades, N_2 y CH_4 , y como sales NaCl y KCl.

La salinidad de los depósitos de oro orogénico puede variar desde 1 a 15 wt % NaCl, pero puede hallarse en mayor concentración entre 3 y 7 wt % NaCl (Ridley y Diamond, 2000). Este rango, puede variar según Groves et al., (1998) desde 3 a 10 wt % NaCl. Para cualquiera de los casos, la salinidad en el Gran Porvenir coincide con los parámetros mencionados.

La temperatura de los fluidos puede estar entre los 200 y 700°C, donde existen subdivisiones según la profundidad a la que haya ocurrido la mineralización (Epizonal: 6km, 150 – 300°C; Mesozonal: 6 – 12km, 300 – 475°C; hipozonal: >12km, >475°C) (Groves et al., 1998). Sin embargo, hay autores que limitan los rangos entre 250 y 350°C (Siems, 1993; Bierlein y Crowe, 2000). La temperatura de formación de este depósito se encuentra dentro de los rangos mencionados, y teniendo en cuenta las subdivisiones, estaría en la transición epizonal - mesozonal.

Los fluidos que transportan los minerales están constituidos de $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$, con una alta concentración de CO_2 , que supera los 5 mol% (Groves et al., 1998). Con los resultados obtenidos del MicroRaman puede contrastarse lo dicho anteriormente, debido a que están presentes en las inclusiones fluidas todos los componentes característicos de este tipo de depósitos de oro, además de N_2 , que es mencionado por Ridley y Diamond (2000) como un componente traza importante.

Los resultados presentados en este trabajo, permiten acercarnos a un modelo genético para la mina El Gran Porvenir, que según la clasificación de Groves et al., (1998), es un depósito de tipo Oro Orogénico (*Orogenic Gold Deposits*). En la tabla 8, se hará una comparación

de las características de algunos depósitos de este tipo alrededor del mundo, con el depósito El Gran Porvenir.

Tipo de depósito	Ejemplos	Configuración tectónica	Temp. de formación (°C)	Composición del fluido	Au:Ag	Tipos de alteración
Orogénico	Kalgoorlie, Australia	Margen continental, régimen compresional a transpresional, vetas típicamente en rocas metamorfoseadas hacia el lado del mar del arco continental.	200 - 700	3 - 10 eq wt% NaCl ≥ 5 Mol % CO ₂ Trazas de CH ₄ y N ₂	1 : 10	Carbonatización Sericitización Sulfuración
	Val d'Or, Canadá					
	Ashanti, Ghana					
	Mother lode, USA.					
Orogénico	Mina El Gran Porvenir	Margen continental compresional. Vetas de cuarzo encajadas en esquistos grafitosos.	243 - 348	1.5 - 12 eq wt% NaCl Trazas de CH ₄ y N ₂	--	Carbonatización Sericitización

Tabla 8. Características de algunos depósitos de Oro Orogénico, en comparación con los resultados obtenidos para la mina El Gran Porvenir. Tomado de Groves et al., (1998).

14. CONCLUSIONES

1. El depósito se caracteriza por presentar minerales mena como pirita, galena, esfalerita, calcopirita, pirrotina, marcasita, y oro, el modo de ocurrencia de este último se da principalmente en las fracturas de la pirita asociado a galena, y como inclusión en pirita. La mayor concentración de granos de oro está entre 0.1 a 100 μm , y su forma varía entre sub redondeada a sub angular.
2. En el evento uno, se identificó pirrotina y marcasita; mientras en el evento tres se halló solo este primero acompañado por telururos de Pb, Ag y Au. Estos minerales pueden asociarse fácilmente con el cianuro y consumirlo, lo que hace más complicada la extracción del oro y la plata, ya que no se ven atacados por él. Para el evento dos no se observaron minerales cianicidas, lo que, junto a su gran cantidad de oro, lo hacen la veta más llamativa para extracción de metales.
3. El depósito cuenta con al menos tres eventos de mineralización. Dos principales: El primero, se caracterizan por tener un cuarzo masivo y poca cantidad de sulfuros y oro; mientras el segundo, de mayor espesor, tiene un bandeamiento de cuarzo y sulfuros, con una gran cantidad de estos, y de oro. Existe un tercer evento, posterior al emplazamiento de los diques que cortan las vetas, en el que no se encontraron granos de oro y solo algunos sulfuros de tamaño muy fino.
4. El fluido mineralizante tienen una composición de CO_2 , N_2 , CH_4 y sales como NaCl y KCl, lo cual se obtuvo por medio de microRaman y microtermometría, respectivamente. Los datos microtermométricos permitieron identificar tres sistemas salinos: **1)** $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$, **2)** $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{NaCl}$, y **3)** $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{KCl}$, con una salinidad promedio de 8.6047 wt % NaCl. La temperatura de atrapamiento oscila entre 243.8 a 348.2 $^\circ\text{C}$, y tiene una densidad promedio de 0.761004 g/cc.
5. Reuniendo todos los datos de petrografía, configuración tectónica, metalografía, micro Raman y microtermometría se puede inferir preliminarmente que el depósito de la mina El Gran Porvenir es un depósito de tipo Oro Orogénico (*Orogenic Gold Deposits*) según la clasificación de Groves et al., (1998).

15. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio más detallado de isótopos estables de C, H, O, S, N; para así averiguar la procedencia del fluido mineralizante. En orden de confirmar que sea un depósito de Oro Orogénico, los fluidos deben ser magmáticos y/o metamórficos.
2. Se recomienda realizar un trabajo detallado de la geología estructural de la mina, ya que los depósitos de oro orogénico, se caracterizan por generarse en zonas de cizalla con un fuerte control estructural.
3. Realizar dataciones radiométricas en las vetas y el dique, que permitan establecer la edad de los pulsos mineralizantes en el yacimiento, y la relación de estos con el emplazamiento de los diques aplíticos.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, S. N., & Rose, A. (1980). Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Economic Geology*, 75(2), 229-250.
- Álvarez, J. J. R., Carmona, O. O., Martens, U. C., & Correa, A. M. (2009). Terrenos, complejos y provincias en la cordillera central de Colombia. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2 D*, 9(2), 49-56.
- Ash, C., & Alldrick, D. (1996). Au-quartz veins. *Selected British Columbia mineral deposit profiles*, 2, 1996-13.
- Bakker, R. J. (2003). Package FLUIDS 1. computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. *Chemical Geology*, 194(1-3), 3-23.
- Barnes, H. L. (1997). Geochemistry of hydrothermal ore deposits. *John Wiley & Sons*.
- Barton Jr, P., & Bethke, P. M. (1987). Chalcopyrite disease in sphalerite: Pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 72(5-6), 451-467.
- Bastin, E. S. (1950). Interpretation of ore textures. *Geological Society of America*.
- Bierlein, F. P., & Crowe, D. E. (2000). Gold in 2000, 13 Reviews. *Economic Geology*.
- Blanco-Quintero, I., García-Casco, A., Toro, L., Moreno, M., Ruiz, E., Vinasco, C., et al. (2014). Late jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca complex, eastern flank of the central cordillera, Colombia). *International Geology Review*, 56(15), 1852-1872.
- Borisenko, A. (1977). Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Soviet Geol.Geophys.*, 18, 11-19.
- Boyle, R. W. (1979). The geochemistry of gold and its deposits. *Geological Survey of Canada, Bull. 280*, 584 p. 55(1-4), 139-158.
- Burke, E. A. (2001). Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos*, 55(1-4), 139-158.
- Calua, H. (2014). Aplicación de inclusiones fluidas en la exploración del prospecto Campana, La Libertad – Perú.

- Castillo, J.S. (2016). Caracterización de un macizo rocoso con fines de voladura en la mina “El Gran Porvenir del Líbano”.
- Celada, C.M., Luengas, C., Velásquez, L., Prieto, D., Cáceres, A., Sepúlveda, J., López, J., Moyano, I. & Prieto, G. (2016). Mapa Metalogénico de Colombia. Escala 1:1500000. *Servicio Geológico Colombiano*.
- Dong, G., Morrison, G., & Jaireth, S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90(6), 1841-1856.
- Eilu, P. K. (1999). Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings. *Geology Publications, UWA Extension, University of Western Australia*.
- Frezzotti, M. L., Tecce, F., & Casagli, A. (2012). Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 1-20.
- Fumerton, S. (2012). Technical NI 43-101 Report on the El Gran Porvenir Project.
- Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, Á. & Diedrix, H., compiladores, 2015. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1000.000. *Servicio Geológico Colombiano*.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S., & Robert, F. (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13(1-5), 7-27.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13(2), 45-77.
- Hincapié, G., & Camargo, G. (2005). Formación de dos unidades de roca aflorantes en el flanco este de la cordillera central, sector de Padua: *X congreso colombiano de geología*.
- Hurai, V., Huraiová, M., Slobodník, M., & Thomas, R. (2015). Geofluids: Developments in microthermometry, spectroscopy, thermodynamics, and stable isotopes. *Elsevier*.
- Malvicini, L., & Saulnier, M. (1979). Texturas de depósitos minerales. *Asociación Argentina De Mineralogía, Petrografía y Sedimentología*,

- Malvicini, L., & Saulnier, M. (1979). Texturas de depósitos minerales. *Asociación Argentina De Mineralogía, Petrografía y Sedimentología*.
- Márquez, M.A. (2007). Caracterización mineralógica de la mena y los granos de oro de la mina El Gran Porvenir del Libano.
- Nash, J. T., & Theodore, T. G. (1971). Ore fluids in the porphyry copper deposit at copper canyon, nevada. *Economic Geology*, 66(3), 385-399.
- Nash, J. T. (1976). Fluid-inclusion petrology--data from porphyry copper deposits and applications to exploration: A summary of new and published descriptions of fluid inclusions from 36 porphyry copper deposits and discussion of possible applications to exploration for copper deposits. *US Govt. Print. Off.*
- Osorio, E., Vallejo, J., & Toro, L. (2015). 10. análisis petrográfico de los neises y anfibolitas de tierradentro.
- Owona, S., Ondo, J. M., Ratschbacher, L., & Ekodeck, G. E. (2013). Evidence of quartz dynamic recrystallizations in SW cameroon: Implications on late-archean,-eburnean and-panafrican deformations over 250-750 C. *Sciences, Technologies Et Développement*, 15, 48-58.
- Picot, P., & Johan, Z. (1982). Atlas of ore minerals, *BRGM*.
- Pirajno, F., & Smithies, R. (1992). The FeO/(FeO MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 42(2-3), 371-381.
- Pratelli, T. (2010). Orogenic Gold of the Central Colombian Cordilleras.
- Ramdohr, P. (1980). The ore minerals and their intergrowths, 2nd edition. *Pergamon Press*.
- Ramírez, D. (2014). Soporte en Labores de Exploración y Explotación de un Yacimiento Aurífero Vetiforme - Mina el Gran Porvenir del Libano S.A.
- Restrepo, J. J., Ordóñez-Carmona, O., Armstrong, R., & Pimentel, M. M. (2011). Triassic metamorphism in the northern part of the tahamí terrane of the central cordillera of colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 497-507.
- Ridley, R.J., and Diamond, L. (2000). Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models. *SEG Reviews*, 13, 141-162.

- Roedder, E. (2002). Fluid inclusions. *Encyclopedia of physical sciences and technology*.
- Sánchez, M. M., Cruz, Arley de Jesus Gómez, & González, H. C. (2008). Graptolitos del ordovícico y geología de los afloramientos del río venado (norte del departamento del huila). *Boletín De Geología*, 30(1)
- Siems, P. L. (1993). A Handbook of Wall-rock Alteration at Mineral Deposits. *Economic Geology Unit, University of Idaho*.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H., & Alderton, D. H. (1985). A practical guide to fluid inclusion studies. *Blackie and Sons*, 239.
- Stanton, R. L. (1972). Ore petrology. *McGraw-Hill Companies*.
- Streckeisen, A. L. (1973). Plutonic rock: Classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, 18, 26-30.
- Thompson A.J.B. & Thompson J.F.H. (1996). Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division*.
- Toro, L., Gómez, A. d. J., & Bedoya, R. (2005). Condiciones de pt de los esquistos actinolíticos del complejo cajamarca al sureste de montebello, antioquia. *Boletín De Geología*, 27(2)
- Turner, F. J. (1981). Metamorphic petrology: Mineralogical, field, and tectonic aspects. *McGraw-Hill Companies*.
- Valencia, L.G., Ceballos, J.A., Pulgarín, B.A. (2015). Depósitos de Avalanchas de Escombros en el Complejo Volcánico Ruiz – Tolima. XVI Congreso Colombiano de Geología.
- Yardley, B. W. (1989). An introduction to metamorphic petrology (No. 552.3/. 4 YAR).

17. AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por acompañarnos desde el día uno, llenarnos de fortaleza, sabiduría y paciencia.

A **Nuestros padres** por ayudarnos y comprendernos durante todo este proceso, por su amor incondicional.

A **la mina El Gran Porvenir** por la financiación, asistencia y acompañamiento. Especialmente al gerente operativo **Benjamin Angée**, por su apoyo absoluto.

A **Mauricio Alvarán**, por ser nuestro guía y su infinita paciencia.

A **Edwin Naranjo, Diego Loaiza, Jimmy Torres y Gonzalo Salcedo** por su asesoría técnica siempre que la necesitamos. Por compartir su conocimiento en cada área para perfeccionar este trabajo.

A **la Universidad de Caldas** por los espacios y equipos utilizados durante este trabajo, y en el transcurso de nuestro pregrado. Porque además como universidad pública, nos enseñó a luchar por los sueños colectivos, y nos convirtió no solo en profesionales sino en mejores seres humanos.

A **Juan Carlos Molano y Rubén Gaitán** por permitirnos usar el equipo de MicroRaman en la Universidad Nacional de Colombia, y su respectivo acompañamiento en el tema.

A **todos nuestros profesores** por inculcarnos el amor a la geología desde la primera clase, por cuidarnos y dar todo de sí en cada salida de campo; y especialmente a los que nos permiten mantener una relación personal e incondicional con ellos.

A **nuestros amigos** que contribuyeron en la realización de este trabajo: Camilo P., Daniel G., Albis, Ammar, Bulla, Mateo, Aleja N.

ANEXO A

	Tamaño μm		Forma	Asociado con	Incluido en	En fracturas de	Libre
	Mayor	Menor					
GP 08 - 04							
Grano 1	5,35	3,92	Redondeado		Pirita		No
Grano 2	9,48	8,69	Redondeado		Pirita		No
Grano 3	3,96	2,46	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 4	11,72	10,68	Redondeado		Pirita		No
Grano 5	89,75	33,6	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 6	4,67	1,98	Redondeado			Pirita	No
Grano 7	2,13	2	Redondeado		Pirita		No
Grano 8	9,2	8,03	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 9	19,48	15,68	Redondeado			Pirita	No
Grano 10	13,7	7,83	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 11	32,59	19,59	Redondeado		Pirita		No
Grano 12	15,7	11,89	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 13	93,43	42,96	Sub Angular			Pirita	No
Grano 14	61,22	42,03	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 15	18,31	6,26	Sub Angular		Pirita		No
Grano 16	1,61	1,2	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 17	1,66	1	Redondeado		Pirita		No
Grano 18	3,49	2	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 19	165,27	39,3	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 20	7,6	3,81	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 21	2,22	1,42	Redondeado		Pirita		No
Grano 22	53,42	17,62	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 23	7,86	7,25	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 24	46,21	21,55	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 25	5,77	3,58	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 26	5,66	2	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 27	18,23	13,72	Redondeado		Pirita		No
Grano 28	14,69	12,83	Sub Angular	Calcopirita		Pirita	No
Grano 29	13,97	9,06	Redondeado		Pirita		No
Grano 30	60,38	11,87	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 31	18,6	10,11	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 32	176,73	37,7	Sub Angular	Galena		Pirita	No
GP 07 - 04							
Grano 1	132,94	9,77	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 2	82,18	22,13	Redondeado	Pirita y Galena		Pirita	No
Grano 3	28,13	11,19	Sub Angular	Pirita		Pirita	No
Grano 4	15,07	11,7	Sub Angular		Pirita		No

Grano 5	4,66	1,78	Sub Angular	Galena	Pirita		No
Grano 6	12,66	9,14	Sub Angular		Pirita		No
Grano 7	5,5	2,4	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 8	5,67	4,81	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 9	38,01	23,79	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 10	11,39	6,31	Sub Redondeado				No
Grano 11	12,38	6,4	Angular		Pirita		No
Grano 12	4,21	2,21	Redondeado		Pirita		No
Grano 13	12,51	4,17	Sub Angular			Pirita	No
Grano 14	7,48	4,41	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 15	14,48	6,28	Sub Angular		Pirita		No
Grano 16	47,82	34,98	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 17	66,32	10,9	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 18	20,12	7,41	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 19	161,38	57,94	Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 20	10,35	8,5	Redondeado		Pirita		No
Grano 21	17,41	7,27	Sub Angular		Pirita		No
Grano 22	35,14	19,7	Sub Angular	Esfalerita	Pirita		No
Grano 23	11,35	8,27	Redondeado		Pirita		No
Grano 24	11,25	10,2	Sub Angular	Galena	Pirita		No
Grano 25	15,62	13,99	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 26	1,45	1,35	Muy Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 27	7,27	4,74	Sub Angular	Galena	Pirita		No
Grano 28	3,29	2,81	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 29	2,7	2,6	Muy Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 30	6,82	3,93	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 31	22,82	7,96	Angular		Pirita		No
Grano 32	50,27	12,78	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 33	25,06	7,84	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 34	161,2	73,84	Sub Angular	Esfalerita, Galena y Pirita			No
Grano 35	94,02	8,79	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 36	42,05	17,25	Angular		Pirita		No
Grano 37	31,72	10,7	Angular			Pirita	No
Grano 38	11,07	2,8	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 39	40,43	22,09	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 40	10,32	3,88	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 41	46	20,39	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 42	25,2	20,32	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 43	5,43	3,85	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 44	66,32	21,51	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 45	15,45	10,02	Redondeado		Pirita		No

Grano 46	6,9	5,13	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 47	18,04	15,4	Sub Redondeado	Esfalerita	Pirita		No
Grano 48	5,49	2,15	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 49	21,64	17,98	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 50	27,66	8,23	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 51	4,72	3	Redondeado		Pirita		No
Grano 52	13,18	9,11	Redondeado		Pirita		No
Grano 53	13,92	10,27	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 54	3,7	3,65	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 55	25,86	16,88	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 56	3,9	3,5	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 57	4,62	3,69	Redondeado		Pirita		No
Grano 58	12,77	5,19	Sub Angular		Pirita		No
Grano 59	5,57	2,23	Sub Angular		Pirita		No
Grano 60	98,46	33,75	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 61	39,35	23,35	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 62	31	22,51	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 63	53,41	38,28	Angular			Pirita	No
Grano 64	34,21	13,23	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 65	12,21	9,84	Redondeado		Pirita		No
Grano 66	8	3,2	Redondeado		Pirita		No
Grano 67	15,21	9,4	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 68	11,82	6,64	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 69	23,92	12,55	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 70	29,16	16,86	Sub Angular		Pirita		No
Grano 71	171,22	21,78	Muy Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 72	34,3	15,75	Angular		Pirita		No
Grano 73	66,71	21,93	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 74	12,17	7,05	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 75	15	7,24	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 76	153,71	22,8	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 77	43,61	26,24	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 78	14,88	3,62	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 79	18,32	8,1	Sub Angular		Pirita		No
Grano 80	70,41	20,62	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 81	18,12	14,32	Sub Angular		Pirita		No
Grano 82	103,74	31,09	Sub Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 83	82,9	27,78	Sub Angular	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 84	20,8	7,95	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 85	28,27	14,94	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 86	18	5,52	Sub Angular			Pirita	No

Grano 87	11,47	10,85	Sub Angular		Pirita		No
Grano 88	25,69	9,3	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 89	105,03	32,4	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 90	59,96	11,81	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 91	15,73	7,96	Redondeado		Pirita		No
Grano 92	6,12	2,06	Redondeado		Pirita		No
Grano 93	4,85	3,29	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 94	25,47	9,62	Redondeado		Pirita		No
Grano 95	49,47	17,45	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 96	47,08	9,15	Sub Redondeado	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 97	21,58	7,07	Redondeado		Pirita		No
Grano 98	38,9	12,39	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 99	105,93	55,41	Muy Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 100	23,67	10,77	Sub Angular	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 101	35,88	24,68	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 102	50,36	12,56	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 103	67,83	25,74	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 104	44,52	15,51	Sub Angular	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 105	93,48	32	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 106	16,24	15,37	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 107	22,35	14,79	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 108	4,62	4,49	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 109	71,08	24,59	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 110	93,68	90,37	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 111	13,13	5,73	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 112	14,2	8,03	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 113	79,63	33,54	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 114	207,14	16,99	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 115	252,23	32,07	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 116	68,66	34,8	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 117	22,17	8,3	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 118	12,28	4,43	Redondeado		Pirita		No
Grano 119	11,38	6,05	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 120	14,82	10,81	Redondeado		Pirita		No
Grano 121	15,25	5,52	Redondeado		Pirita		No
Grano 122	9,84	6,84	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 123	28,18	11,62	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 124	2,2	1,67	Redondeado		Pirita		No
Grano 125	28,16	10,18	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 126	26,06	6,43	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 127	13,88	8,63	Sub Angular		Pirita		No

Grano 128	23,44	13,93	Sub Redondeado	Esfalerita	Pirita		No
Grano 129	10,19	8,85	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 130	6,95	5	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 131	8,98	5,39	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 132	5,2	4,36	Redondeado		Pirita		No
Grano 133	63,54	18,11	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 134	12,44	11,02	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 135	23,22	10,07	Angular			Pirita	No
Grano 136	30,4	18,69	Sub Angular			Pirita	No
Grano 137	11,81	7,5	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 138	11,43	11,29	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 139	10,89	7,38	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 140	3,16	2,15	Redondeado		Pirita		No
Grano 141	30,82	23,54	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 142	14,52	5,28	Sub Angular		Pirita		No
Grano 143	70,1	29,32	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 144	53,96	28,02	Angular		Pirita		No
Grano 145	9,17	8,31	Redondeado		Pirita		No
Grano 146	10,89	7,75	Sub Angular		Pirita		No
Grano 147	51,69	36,04	Sub Angular	Cuarzo			Si
Grano 148	54,08	17,89	Angular	Pirita		Pirita	No
Grano 149	18,9	12,3	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 150	49,66	19,38	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 151	4,27	2,66	Redondeado		Pirita		No
GP 07 - 03							
Grano 1	19,76	16,49	Redondeado		Pirita		No
Grano 2	4,47	3,4	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 3	45,94	27,96	Sub Angular	Cuarzo	Pirita		No
Grano 4	79,9	37,2	Sub Angular		Pirita		No
Grano 5	24,81	15,01	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 6	5,48	4,82	Muy Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 7	46,96	18,65	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 8	13,81	8,77	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 9	21,6	6,27	Sub Angular			Pirita	No
Grano 10	11,59	7,6	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 11	50,26	1,52	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 12	65,12	10	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 13	36,36	8,36	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 14	33,06	11,14	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 15	23	4	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 16	77,97	6,63	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No

Grano 17	28,72	8,41	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 18	26,68	7	Sub Angular		Pirita		No
Grano 19	27,65	5,96	Sub Redondeado	Cuarzo	Pirita		No
Grano 20	112,58	50,48	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 21	8,14	7,05	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 22	98,03	28,69	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 23	27,83	15,93	Angular		Pirita		No
Grano 24	25,56	12,86	Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 25	42,72	21,08	Redondeado			Pirita	No
Grano 26	23,11	12,24	Redondeado		Pirita		No
Grano 27	26,47	13,68	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 28	11,35	4,74	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 29	35,02	28,6	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 30	35,66	5,77	Angular	Cuarzo y Esfalerita		Pirita	No
Grano 31	27,52	18,14	Angular	Cuarzo y Esfalerita		Pirita	No
Grano 32	3,08	1,74	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 33	19,83	19,23	Sub Redondeado	Cuarzo y Esfalerita		Pirita	No
Grano 34	24,71	19,43	Sub Redondeado	Cuarzo y Esfalerita		Pirita	No
Grano 35	17,31	14,56	Sub Redondeado	Cuarzo y Esfalerita		Pirita	No
Grano 36	723,84	10,3	Sub Angular			Pirita	No
Grano 37	95,04	46,03	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 38	118,46	92,44	Sub Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 39	96,37	67,98	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 40	14,53	6,32	Sub Angular		Pirita		No
Grano 41	276,74	101,21	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 42	10,43	7,2	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 43	14	8,41	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 44	37,5	8,22	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 45	17,28	9,33	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 46	9,52	8,44	Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 47	5,29	2,62	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 48	43,23	27,86	Muy Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 49	12,5	5,1	Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 50	19,58	8,65	Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
GP 07 - 02							
Grano 1	18,37	11,95	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 2	52,32	40,74	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 3	5,74	1,27	Sub Angular		Pirita		No
Grano 4	2,69	2,46	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 5	4,57	3,24	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 6	3,79	1,61	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No

Grano 7	6,93	6,83	Angular		Pirita		No
Grano 8	7,08	3,44	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 9	10,37	5,87	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 10	17,58	4,58	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 11	9,8	7,42	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 12	3,71	2,68	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 13	88,2	24,49	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 14	5,05	3,63	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 15	15,27	4,08	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 16	30,35	3,34	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 17	83,17	3,19	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 18	4,14	2,67	Sub Angular		Pirita		No
Grano 19	3,13	2,6	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 20	3,48	2	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 21	40,6	18,4	Sub Redondeado	Calcopirita	Pirita		No
Grano 22	10,56	3,41	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 23	15,1	9,67	Sub Angular		Pirita		No
Grano 24	5,3	2,31	Sub Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 25	10,33	5,77	Angular	Cuarzo y Pirita			No
Grano 26	7,4	4,28	Sub Angular	Cuarzo y Pirita			No
Grano 27	15,48	7,97	Sub Angular	Cuarzo y Pirita			No
Grano 28	13,15	11,4	Angular		Pirita		No
Grano 29	69,34	23,92	Sub Angular			Pirita	No
Grano 30	11,69	7,55	Sub Angular		Pirita		No
Grano 31	31,76	21,29	Sub Redondeado	Cuarzo			Si
Grano 32	57,17	43,52	Sub Redondeado	Cuarzo			Si
Grano 33	26,47	20,58	Sub Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 34	42,75	25	Angular		Pirita		No
Grano 35	16,29	9,16	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 36	134,86	69,14	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 37	44,96	33,71	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 38	18,7	18,24	Angular			Pirita	No
Grano 39	16,22	9,35	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 40	117,15	52,56	Sub Angular	Cuarzo y Pirita			No
Grano 41	5,48	4,42	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 42	5,15	2,93	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 43	15,72	5,8	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 44	8,82	7,36	Angular		Pirita		No
Grano 45	33,12	10,53	Sub Angular			Pirita	No
Grano 46	21,39	14,25	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 47	16,19	12,67	Sub Angular	Galena		Pirita	No

Grano 48	10,82	6,35	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 49	46,62	13,32	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 50	11,13	10,53	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 51	53,1	52,4	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 52	31,54	22,88	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 53	24,02	8,75	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 54	12,88	7,04	Sub Angular		Pirita		No
Grano 55	9,26	6,32	Redondeado		Pirita		No
Grano 56	2,18	1,64	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 57	2,34	1,61	Redondeado		Pirita		No
Grano 58	14,4	8,78	Redondeado		Pirita		No
Grano 59	28,23	6,71	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 60	9,97	3,25	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 61	25	11,69	Sub Angular		Pirita		No
Grano 62	7,49	5,47	Redondeado		Pirita		No
Grano 63	2,41	2,67	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 64	5,5	3,61	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 65	9,78	6,39	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 66	17,2	8,25	Sub Angular			Pirita	No
Grano 67	6,9	3,2	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 68	41,7	7,85	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 69	40,49	15,1	Sub Angular		Pirita		No
Grano 70	14,28	6,57	Redondeado		Pirita		No
Grano 71	31,04	12,81	Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 72	19,63	13,78	Sub Angular			Pirita	No
Grano 73	13,08	5,38	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 74	9,14	6,17	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 75	32,18	9,15	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 76	19,78	12,77	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 77	75,03	24,84	Sub Angular			Pirita	No
Grano 78	7,6	4,84	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 79	12,67	11,51	Sub Angular		Pirita		No
Grano 80	14,42	7,44	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 81	210,04	28,35	Sub Redondeado	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 82	60,86	19,82	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 83	14,42	12,95	Sub Angular			Pirita	No
Grano 84	18,42	11,74	Sub Angular			Pirita	No
Grano 85	14,4	7,74	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 86	8,19	5,09	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 87	12,45	5,94	Sub Angular		Pirita		No
Grano 88	15,88	13,48	Redondeado		Pirita		No

Grano 89	25,6	13,61	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 90	9,88	9,13	Muy Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 91	59,12	6,94	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 92	59,72	15,65	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 93	13,34	3,51	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 94	19,67	11,73	Sub Angular		Pirita		No
Grano 95	29,79	23,22	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 96	8,9	6,4	Sub Angular	Cuarzo	Pirita		No
Grano 97	18,74	10,74	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 98	25,89	10,38	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 99	37,19	18,29	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 100	73,98	16,93	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 101	24,11	17,27	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 102	1,23	0,93	Redondeado		Pirita		No
Grano 103	3,77	3,73	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 104	13,89	7,99	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 105	5,9	4,59	Redondeado		Pirita		No
Grano 106	45,92	20,4	Angular	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 107	20,12	7,43	Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 108	21,5	18,74	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 109	45,04	14,51	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 110	24,04	10,4	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 111	31,63	14,24	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 112	27,7	16,74	Sub Angular			Pirita	No
Grano 113	15,96	4,27	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 114	31,92	12,53	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 115	98,58	27,98	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 116	18,96	13,28	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 117	27,19	15,85	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 118	47,73	4,51	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 119	115,01	18,04	Angular	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 120	98,46	22,49	Sub Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 121	100,44	30,34	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 122	16,58	11,72	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 123	52,03	38,73	Muy Angular		Pirita		No
Grano 124	31,35	10,42	Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 125	15,05	15	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 126	18,74	8,33	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 127	43,36	27,91	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 128	12,7	12,08	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 129	6,72	4,67	Redondeado	Cuarzo		Pirita	No

Grano 130	19,21	12,2	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 131	20,88	17,68	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 132	45,54	31,71	Muy Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 133	15,72	13,27	Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 134	17,67	7,17	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 135	21,93	12,78	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 136	7,07	6,12	Redondeado		Pirita		No
Grano 137	30,11	9,26	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 138	10,82	7,38	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 139	3,59	2,55	Redondeado		Galena	Pirita	No
Grano 140	65,52	35,11	Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 141	6,83	3,79	Sub Redondeado	Esfalerita y Galena			No
Grano 142	20,82	5,96	Sub Redondeado	Esfalerita y Galena		Pirita	No
Grano 143	68,47	41,54	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 144	11,31	5,84	Redondeado		Galena		No
Grano 145	258,05	101,23	Sub Redondeado	Esfalerita y Galena		Pirita	No
Grano 146	37,74	5,2	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 147	9,62	1,34	Sub Angular		Esfalerita		No
Grano 148	8	5,64	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 149	7,48	3,92	Sub Angular	Esfalerita y Pirita			No
Grano 150	49,73	2,53	Sub Angular	Esfalerita y Pirita			No
Grano 151	16,65	7,91	Sub Redondeado		Galena		No
Grano 152	30,78	16,84	Redondeado	Esfalerita y Galena		Pirita	No
Grano 153	60,91	7,81	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 154	13,14	15,53	Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 155	6,49	3,91	Redondeado		Pirita		No
Grano 156	16,86	9,15	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 157	33,81	26,44	Sub Redondeado	Esfalerita y Pirita			No
Grano 158	13,88	8,49	Sub Redondeado	Esfalerita y Pirita			No
Grano 159	17,45	4,01	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 160	37,93	27,47	Sub Angular		Pirita		No
Grano 161	13,42	11,56	Redondeado		Pirita		No
Grano 162	8,65	7,77	Sub Angular		Pirita		No
Grano 163	24,04	18,84	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 164	16,11	6,86	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 165	18,24	16,92	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 166	17,47	4,48	Redondeado		Pirita		No
Grano 167	28,43	16,98	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 168	46,75	15,4	Angular	Esfalerita, Cuarzo, Pirita			No
Grano 169	9,26	6,85	Sub Angular	Esfalerita y Pirita			No
Grano 170	13,42	7,45	Redondeado		Pirita		No

Grano 171	12,38	7,49	Redondeado	Cuarzo	Pirita		No
Grano 172	16	6,7	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 173	9,7	11,28	Redondeado		Pirita		No
Grano 174	32,04	14,53	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 175	61,52	24,33	Sub Angular			Pirita	No
Grano 176	23,85	17	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 177	34,44	10,97	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 178	30,73	8,28	Sub Redondeado	Esfalerita y Galena		Pirita	No
Grano 179	22,09	12,17	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 180	84,3	16,77	Sub Angular			Pirita	No
Grano 181	95,93	19,1	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 182	122,66	70,12	Muy Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 183	30,12	13,45	Redondeado		Pirita		No
Grano 184	5,34	1,78	Redondeado		Pirita		No
Grano 185	4,3	3,24	Redondeado		Pirita		No
Grano 186	2,3	1,52	Redondeado		Pirita		No
Grano 187	32,9	6,08	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 188	33,44	12,26	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 189	7,04	6,05	Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 190	16,88	8,69	Sub Angular		Pirita		No
Grano 191	13,27	9,67	Sub Angular		Pirita		No
Grano 192	9,69	8,81	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 193	15,03	5,01	Redondeado		Pirita		No
Grano 194	61,4	24,39	Sub Angular			Pirita	No
Grano 195	26,57	7,95	Sub Angular			Pirita	No
Grano 196	27,41	11,56	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 197	4,51	4,61	Redondeado		Pirita		No
Grano 198	28,81	4,72	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 199	33,2	22	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 200	11,21	7,63	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 201	6,17	5,19	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 202	10,69	8,14	Redondeado			Pirita	No
Grano 203	5,89	2,61	Redondeado		Pirita		No
Grano 204	10,44	2,51	Sub Angular		Pirita		No
Grano 205	14,29	8,86	Angular	Galena	Pirita		No
Grano 206	8,01	4	Redondeado		Pirita		No
Grano 207	4,57	2,78	Redondeado		Pirita		No
Grano 208	11	4,42	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 209	7,94	6,69	Angular			Pirita	No
Grano 210	6,17	2,15	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 211	2,78	1,75	Redondeado		Pirita		No

Grano 212	3,87	2,55	Redondeado		Pirita		No
Grano 213	22,85	7,7	Sub Angular	Galena	Pirita		No
Grano 214	24,84	4,29	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 215	5,44	3,83	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 216	5,64	2,02	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 217	18,82	6,13	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 218	14,76	3,35	Redondeado		Pirita		No
Grano 219	8,81	9,74	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 220	27,23	11,6	Redondeado			Pirita	No
Grano 221	9,95	12,31	Redondeado			Pirita	No
Grano 222	13,23	8	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 223	11,7	8,27	Redondeado		Pirita		No
Grano 224	4,78	3,75	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 225	15,62	9,5	Redondeado		Pirita		No
Grano 226	7,86	8,51	Redondeado		Pirita		No
Grano 227	17,86	11,55	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 228	32,46	15,36	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 229	12,53	5,83	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 230	22,6	7,51	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 231	114,28	43,83	Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 232	5,29	2,63	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 233	12,84	7,16	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 234	45,06	17,81	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 235	43,09	22,92	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 236	3,94	3	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 237	3,9	1,53	Sub Angular			Pirita	No
Grano 238	9,65	4,81	Redondeado		Pirita		No
Grano 239	35,93	5,43	Sub Angular		Pirita		No
Grano 240	26,15	9,39	Sub Angular		Pirita		No
Grano 241	31,67	6,34	Sub Angular		Pirita		No
Grano 242	6,08	4,71	Redondeado		Pirita		No
Grano 243	17,9	7,11	Sub Angular		Pirita		No
Grano 244	24,52	14,08	Sub Angular		Pirita		No
Grano 245	166,89	6,81	Sub Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 246	45,66	10,92	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 247	10,03	2,59	Redondeado			Pirita	No
Grano 248	53,48	38,32	Muy Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 249	31,72	17,59	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 250	23,42	19,33	Sub Angular		Pirita		No
Grano 251	17,18	12,01	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 252	148,72	18,12	Sub Angular	Galena		Pirita	No

Grano 253	111,68	19	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 254	109,84	70,85	Redondeado	Pirita, Cuarzo y Galena			No
Grano 255	23,41	21,05	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 256	12,08	11,81	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 257	3,59	3,6	Redondeado		Pirita		No
Grano 258	6,63	5,82	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 259	29,74	9,18	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 260	13,36	9,52	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 261	31,36	24,41	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 262	152,4	14,8	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 263	40,54	18,57	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 264	24,17	11,04	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 265	31,76	16,45	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 266	33,03	15,52	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 267	34,27	14,92	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 268	75,89	18,85	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 269	49,04	20,01	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 270	94,61	74,17	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 271	45,49	12,34	Sub Angular		Pirita		No
Grano 272	40,97	27,43	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 273	11,01	8,73	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 274	7,76	2,72	Sub Angular		Pirita		No
Grano 275	1,87	1,83	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 276	79,78	16,1	Sub Angular	Cuarzo y Galena		Pirita	No
Grano 277	85,17	45,85	Sub Redondeado	Galena, Pirita y Cuarzo			No
Grano 278	88,1	36,49	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 279	6,46	4,15	Redondeado		Pirita		No
Grano 280	84,38	32,56	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 281	28,4	12,71	Angular		Pirita		No
GP 06 - 04							
Grano 1	73,27	49,32	Angular	Pirita			No
Grano 2	72,63	27,52	Sub Angular			Pirita	No
Grano 3	40,81	21,05	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 4	12,82	7,62	Redondeado		Pirita		No
Grano 5	24,24	14,97	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 6	16,74	8,98	Redondeado		Pirita		No
Grano 7	109,75	25,5	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 8	84,4	9,43	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 9	43,45	25,54	Angular	Galena	Pirita		No
Grano 10	16,41	4,22	Sub Redondeado	Esfalerita		Pirita	No
Grano 11	35,37	10,65	Sub Angular			Pirita	No

Grano 12	16,55	12,88	Sub Angular			Pirita	No
Grano 13	102,22	33,11	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 14	53,58	35,34	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 15	15,36	13,03	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 16	49,74	21,68	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 17	50,47	12,29	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 18	15,99	14,27	Sub Angular		Pirita		No
Grano 19	104,65	64	Muy Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 20	5,05	3,45	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 21	132,75	18,49	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 22	40,45	17,64	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 23	140,4	113,44	Muy Angular	Galena		Pirita	No
Grano 24	187,97	105,9	Angular		Pirita		No
Grano 25	159,62	14,22	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 26	53,67	17,68	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 27	95,34	46,16	Sub Redondeado	Galena y Esfalerita		Pirita	No
Grano 28	240,96	68,61	Angular	Esfalerita	Pirita		No
Grano 29	110,54	95,3	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 30	20,61	9,78	Sub Angular		Pirita		No
Grano 31	8,42	3,9	Redondeado		Pirita		No
Grano 32	35,61	14,15	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 33	29,64	29,52	Sub Angular	Esfalerita	Pirita		No
Grano 34	73,95	21,69	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 35	35,44	17,23	Sub Angular			Pirita	No
Grano 36	18,79	8,78	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 37	39,72	19,55	Angular			Pirita	No
Grano 38	93,09	18,04	Angular			Pirita	No
Grano 39	52,51	29,54	Sub Angular	Esfalerita	Pirita		No
Grano 40	16,31	11,39	Sub Redondeado	Calcopirita	Pirita		No
Grano 41	35,67	7,26	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 42	126,24	25,54	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 43	5,42	5,31	Redondeado		Pirita		No
Grano 44	30,8	4,22	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 45	41,32	14,5	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 46	24,91	8,89	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 47	23,66	10,15	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 48	16,77	15,75	Muy Angular		Pirita		No
Grano 49	15,65	11,3	Sub Angular		Pirita		No
Grano 50	55,81	35,31	Sub Angular	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 51	46,66	43,88	Muy Angular	Galena		Pirita	No
Grano 52	14,74	4,78	Redondeado		Pirita		No

Grano 53	12,12	5,6	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 54	61,77	4,96	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 55	53,35	11,65	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 56	28,48	16,39	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 57	49,32	9,69	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 58	38,32	15,24	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 59	40,04	13,6	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 60	254,21	15,66	Sub Angular			Pirita	No
Grano 61	96,18	10,67	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 62	61,54	30	Sub Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 63	25,06	5,48	Redondeado		Pirita		No
Grano 64	42	30	Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 65	74,71	59,41	Muy Angular	Esfalerita y Cuarzo		Pirita	No
Grano 66	93,07	52,13	Muy Angular	Esfalerita		Pirita	No
Grano 67	20,54	10,4	Angular		Pirita		No
Grano 68	121,55	21,52	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 69	44	38,51	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 70	15,11	4,55	Redondeado		Pirita		No
Grano 71	95,57	47,62	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 72	40,52	13,83	Sub Redondeado	Esfalerita			No
Grano 73	17,34	3,86	Sub Redondeado			Pirita	No
GP 03 - 07							
Grano 1	33,95	25,12	Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 2	2,65	1,8	Redondeado		Pirita		No
Grano 3	4,1	3,61	Redondeado			Pirita	No
Grano 4	11,65	7,92	Sub Angular	Galena	Pirita		No
Grano 5	15,1	11,98	Sub Redondeado	Esfalerita	Pirita		No
Grano 6	11,6	5,52	Angular		Pirita		No
Grano 7	5,25	4,26	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 8	4,51	2,9	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 9	6,68	4,4	Sub Angular		Pirita		No
Grano 10	3,65	3,23	Redondeado		Pirita		No
Grano 11	2,64	2,16	Sub Angular		Pirita		No
Grano 12	91,33	32,6	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 13	31,16	4,27	Angular			Pirita	No
Grano 14	30,01	6,66	Angular			Pirita	No
Grano 15	14,81	9,08	Angular		Pirita		No
Grano 16	18,87	10,66	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 17	12,92	11,89	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 18	12,86	4,8	Angular			Pirita	No
Grano 19	7,33	4,53	Sub Angular		Pirita		No

Grano 20	7,96	7,03	Sub Angular			Pirita	No
Grano 21	6,23	3,12	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 22	50,7	33,89	Sub Redondeado	Pirita			No
Grano 23	21,84	9,06	Sub Redondeado	Pirita			No
Grano 24	33,67	26,64	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 25	14,34	9,48	Redondeado		Pirita		No
Grano 26	79,85	13,59	Sub Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 27	44,05	20,51	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 28	20,86	4,2	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 29	9,33	9,35	Redondeado		Pirita		No
Grano 30	8,61	6,22	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 31	7	4,68	Redondeado		Pirita		No
Grano 32	15,23	9,9	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 33	52,79	31,36	Angular	Galena		Pirita	No
Grano 34	19,72	7,62	Sub Redondeado	Cuarzo		Pirita	No
Grano 35	39,01	9,44	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 36	34,73	9,35	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 37	5,25	2,99	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 38	6,26	5,46	Redondeado		Pirita		No
Grano 39	26,14	3,93	Sub Angular			Pirita	No
Grano 40	13,73	6,57	Angular			Pirita	No
Grano 41	22,08	16,35	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 42	37,9	10,89	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 43	19,07	5,1	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 44	53,24	3,61	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 45	10,47	9,61	Sub Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 46	25,12	22,45	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 47	9,95	4,9	Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 48	66,17	2,15	Sub Angular			Pirita	No
Grano 49	67,67	9	Angular			Pirita	No
Grano 50	16,25	7,34	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 51	19,56	11,41	Sub Redondeado	Cuarzo y Pirita			No
Grano 52	6,22	4,57	Sub Angular	Cuarzo y Pirita			No
Grano 53	5,68	2,26	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 54	16,13	6,65	Angular		Pirita		No
Grano 55	16,16	8,2	Muy angular		Pirita		No
Grano 56	39,71	13,37	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 57	15,41	10,22	Angular	Cuarzo		Pirita	No
Grano 58	4,01	2,38	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 59	24,64	21,81	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 60	40,33	29,91	Angular	Cuarzo		Pirita	No

Grano 61	25,88	18,87	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 62	12,45	12,31	Muy Redondeado			Pirita	No
Grano 63	7,01	6,69	Redondeado			Pirita	No
Grano 64	17,82	3,03	Angular			Pirita	No
Grano 65	10,56	10,33	Muy Redondeado			Pirita	No
Grano 66	16,1	5,3	Angular		Pirita		No
Grano 67	39,36	8,95	Sub Redondeado	Galena		Pirita	No
Grano 68	3,81	3,7	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 69X	38,36	9,44	Sub Redondeado			Pirita	No
Grano 70	9,73	8,71	Muy Redondeado		Pirita		No
Grano 71	14,37	8,14	Redondeado	Galena	Pirita		No
Grano 72	39,41	15,08	Sub Angular	Galena		Pirita	No
Grano 73	26,48	6,45	Angular			Pirita	No
Grano 74	14,24	13,23	Angular		Pirita		No
Grano 75	9,13	2,91	Angular		Pirita		No
Grano 76	4,61	3,46	Redondeado		Pirita		No
Grano 77	6,13	4,72	Sub Redondeado		Pirita		No
Grano 78	29,69	5,33	Sub Angular			Pirita	No
GP 02 - 03							
Grano 1	40,96	16,37	Sub Angular	Galena y Cuarzo		Pirita	No
Grano 2	79,29	27,26	Sub Redondeado	Galena	Pirita		No

ANEXO B

CLASIFICACIÓN DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS DE LA MINA EL GRAN PORVENIR

Número de IF	Mineral	Inclusión	Según Nash (1976)	Nash y Theodore (1971)	Según la morfología
1	Cuarzo	Primaria	Tipo V	Tipo II	Regular
2	Cuarzo	Secundaria	Tipo L	Tipo I	Ovoides
3	Cuarzo	Secundaria	Tipo L	Tipo I	Regular
4	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
5	Cuarzo	Secundaria	Tipo C	Tipo V	Irregular
6	Cuarzo	Primaria	Tipo V	Tipo II	Ovoides
7	Cuarzo	Primaria	Tipo V	Tipo II	Regular
8	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
9	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
10	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
11	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
12	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Ovoides
13	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
14	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Ovoides
15	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
16	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
17	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
18	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
19	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
20	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
21	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
22	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
23	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
24	Cuarzo	Secundaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
25	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
26	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
27	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
28	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
29	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
30	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
31	Esfalerita	Primaria	Tipo L	Tipo I	Tabulares/Prismáticos
32	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
33	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
34	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular

35	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
36	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
37	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Tabulares/Prismáticos
38	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
39	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
40	Cuarzo	Primaria	Tipo V	Tipo II	Tabulares/Prismáticos
41	Esfalerita	Secundaria	Tipo L	Tipo I	Regular
42	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
43	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
44	Cuarzo	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
45	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
46	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
47	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
48	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
49	Esfalerita	Primaria	Tipo L	Tipo I	Tabulares/Prismáticos
50	Esfalerita	Secundaria	Tipo L	Tipo I	Regular
51	Esfalerita	Primaria	Tipo L	Tipo I	Regular
52	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
53	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
54	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
55	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
56	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
57	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Ovoides
58	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
59	Cuarzo	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular
60	Esfalerita	Primaria	Tipo C	Tipo V	Regular