

**PARAGENESIS MINERALES DE LAS BRECHAS MINERALIZADAS DEL  
SECTOR LA MASCOTA (CALIFORNIA, SANTANDER)**

**ANGEL RICARDO FORERO HERRERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUCARAMANGA  
2010**

**PARAGENESIS MINERAL DE LAS BRECHAS MINERALIZADAS DEL SECTOR  
LA MASCOTA (CALIFORNIA, SANTANDER)**

**ANGEL RICARDO FORERO HERRERA**

**Proyecto de grado para optar al título de Geólogo**

**Director:**

**CARLOS ALBERTO GARCIA RAMIREZ  
Profesor Escuela de Geología (UIS)**

**Codirector:**

**ALFONSO LUIS RODRIGUEZ MADRID  
Geólogo CVS Explorations Ltda.  
Ventana Gold Corp.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUCARAMANGA**

**2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grano no hubiese sido posible sin la invaluable colaboración, confianza, paciencia y apoyo incondicional de CVS Explorations Ltda. en cabeza de la doctora Blanca Stella Frías y el Geólogo Jon H. Lehmann, Gerente General de CVS Explorations Ltda.; y el director del proyecto el profesor Carlos Alberto Garcia quien con su conocimiento y compromiso condujo el desarrollo de este trabajo.

Al geólogo Alfonso Luis Rodríguez Madrid, mi codirector, quien ayudo a construir la propuesta de trabajo y depositó toda su confianza en mí y siempre estuvo dispuesto a aportar su experiencia dentro de la empresa para agilizar los procesos.

Al profesor Luis Carlos Mantilla quien de manera amable siempre estuvo dispuesto a compartir sus conocimientos para enriquecer la sana discusión de los resultados que al final le dieron sustento a este trabajo.

Al profesor y amigo Oscar Castellanos quien no dudo ni un solo momento en resolver dudas y aportar su conocimiento al desarrollo de este trabajo.

Al instituto de geología económica aplicada GEA de la Universidad de Concepción en Chile y en especial a la profesora Laura Hernández quien mostro un gran interés por el proyecto y brindo todos sus conocimientos en la técnica de Microsonda electrónica.

Y a todo el equipo de geólogos de la empresa CVS Explorations Ltda. por su amable colaboración y su incondicional apoyo para lograr un trabajo de alta calidad.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	2
1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
2. GENERALIDADES	3
2.1. LOCALIZACION	3
2.2. FISIOGRAFIA Y CLIMA	4
3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	5
4. ANTECEDENTES	6
5. METODOLOGIA	9
5.1. FASE 1 O DE PRECAMPO	11
5.2. FASE 2 O DE CAMPO.	11
5.3. FASE 3 O DE LABORATORIO	12
5.4. FASE 4 O DE OFICINA	13
6. GEOLOGIA DEL DEPOSITO	14
7. MINERALOGIA	16
7.1. ZONA SUR-OESTE	19
7.2. ZONA CENTRO	23
7.3. ZONA NOR-ESTE	28
7.4. PARAGENESIS MINERALES	32
8. QUIMICA MINERAL	33
8.1. ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS	33
9. MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS	47
9.1 PETROGRAFIA	47
9.2 MICROTERMOMETRIA	49
10 DISCUSIÓN	52

11. CONCLUSIONES	55
12. SUGERENCIAS	56
13. BIBLIOGRAFIA	57

## LISTADO DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Localización del sector la Mascota.	3
Figura 2. Fisiografía y clima.	4
Figura 3. Mapa geológico del sector La Mascota	14
Figura 4. Azufre nativo (amarillo) en cavidad brecha hidrotermal de La Mascota	15
Figura 5. Ejemplo de las brechas de La Mascota.	15
Figura 6. Distribución espacial de las muestras.	18
Figura 7. Imagen macroscópica. Muestras zona sur-oeste	19
Figura 8. Imagen microscópica muestras zona sur-oeste	22
Figura 9. Imagen macroscópica Muestras zona centro	23
Figura 10. Imagen microscópica Muestras zona centro	27
Figura 11. Imagen macroscópica Muestra zona nor-este	28
Figura 12. Imagen microscópica Muestra zona nor-este	31
Figura 13. Contenidos de cobre y de arsénico en Pirita	34
Figura 14. Contenidos de arsénico y de plata en Bornita.	36
Figura 15. Contenidos de arsénico y de plata en Calcopirita.	38
Figura 16. Contenidos de arsénico y de plata en Calcosina.	42
Figura 17. Imagen de inclusiones fluidas Muestra 519275	48
Figura 18. Imagen de inclusiones fluidas Muestra 833991	49

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pag</b>
Tabla 1. Listado de muestras, pozos, secciones y profundidades	16
Tabla 2. División del área en sectores sur-oeste, centro y Nor-este.	17
Tabla 3. Abundancia relativa de los minerales	32
Tabla 4. Composición químico de las piritas.	35
Tabla 5. Composición químico de las bornitas.	37
Tabla 6. Composición geoquímica de las calcopiritas.	39
Tabla 7. Composición geoquímica de la esfalerita.	41
Tabla 8. Composición geoquímica de la calcosina.	43
Tabla 9. Composición geoquímica de la Tennantita.	45
Tabla 10. Composición geoquímica de la covelina.	46
Tabla 11. Resultados de la microtermometria de inclusiones fluidas.	50
Tabla 12: Características de los depósitos epitermales.	54

## **ANEXOS**

Anexo 1. Descripción macroscópica de las muestras seleccionadas.

Anexo 2. Metalografía de las secciones pulidas.

Anexo 3. Resultados de análisis de Microsonda electrónica EMPA.

Anexo 4. Trabajo de microtermometría de inclusiones fluidas.

Anexo 5. CD Rom con presentación e informe.

## RESUMEN

**TITULO:** PARAGENESIS MINERALES DE LAS BRECHAS MINERALIZADAS DEL SECTOR LA MASCOTA (CALIFORNIA, SANTANDER)\*

**AUTOR:** Forero, Angel R\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Deposito, oro, brecha, paragénesis, química mineral, microtermometria de inclusiones fluidas, California.

El depósito aurífero del sector de la Mascota se encuentra ubicado en el Macizo de Santander en la Cordillera Oriental de Colombia, área enmarcada en el municipio de California-Santander, este depósito hace parte de diferentes zonas que se encuentran en etapa de exploración por parte de la compañía CVS Explorations Ltda. filial de la compañía canadiense Ventana Gold Corp.

La mineralización se encuentra encajada principalmente en neis cuarzofeldespático y neis horblendicobiotítico pertenecientes al Neis de Bucaramanga. Estas rocas metamórficas han sido intruidas por varios cuerpos ígneos de composición tonalítica a granodiorítica.

El depósito del sector de La Mascota está constituido por cuerpos brechiformes de sílice con sulfuros de hierro, cobre y zinc y óxidos de titanio y wolframio diseminados en la matriz silícea. Estos cuerpos de origen hidrotermal fueron el objetivo del presente estudio. La mineralización consiste en oro electrum e incluido en sulfuros, pirita, calcopirita, tennantita, tetraedrita y como producto de reemplazamiento, bornita y covelina, también se presentan óxidos como rutilo y wolframita, la ganga se compone principalmente de cuarzo, sericita y moscovita. Este estudio se realizo con la intención de identificar las asociaciones minerales presentes en estos cuerpos de modo que se puedan asociar a los contenidos de oro en cada zona del depósito.

Se determinaron cerca de 20 paragénesis que se pueden agrupar en tres generales.

Pirita ± Calcopirita ± Wolframita ± Tennantita ± Esfalerita ± Calcosina ± Oro.

Pirita ± Wolframita ± Tennantita ± Calcosina ± Calcopirita ± Oro.

Pirita ± Tennantita ± Calcopirita.

Los cuerpos brechiformes están estructuralmente controlados por el sistema de fallas regionales de Cucutilla y la Baja con dirección principal NE.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director. Carlos Alberto García

## ABSTRACT

**TITLE:** MINERAL PARAGENESIS IN THE MINERALIZED BRECCIAS OF LA MASCOTA (CALIFORNIA, SANTANDER)\*

**AUTHOR:** Forero, Angel R\*\*.

**KEYWORDS:** Deposit, gold, breccia, paragenesis, chemical chemistry, microthermometry of fluid inclusions, California.

The gold deposit of La Mascota sector is located in the Santander Massif in the Eastern Colombian Cordillera, area of California municipality. The ore deposit is part of several Greenfield areas that CVS Explorations Ltda (Subsidiary of Ventana Gold Corp.) is exploring.

The mineralization is mainly emplaced in Qz-feldespatic Gneiss and Hornblendic-biotitic Gneiss of *Neis de Bucaramanga* Formation. The metamorphic Formation has been intruded by several tonalitic and granodioritic igneous bodies.

The gold deposit of La Mascota sector is constituted by brecciated bodies of silica with Fe, Cu, Zn, TiOx and Wox sulfides disseminated in the Silicic matrix. These bodies with hydrothermal influence were the aim of study. The mineralization is gold-electrum and Au-bearing sulfides, pyrite, chalcopyrite, tennantite, tetrahedrite and replacement-like product bornite and covellite, also are present oxides like rutile and wolframite, the gänge is mainly quartz, sericite and muscovite. This research was purposed to identify the mineral assemblages present in the breccia bodies and their relationship with Au content in each deposit zone.

About 20 paragenesis were determined and these can be grouped into three general assemblages

Pyrite ± Chalcopyrite ± Wolframite ± Tennantite ± Sphalerite ± Chalcosite ± Gold.

Pyrite ± Wolframite ± Tennantite ± Chalcosite ± Chalcopyrite ± Gold.

Pyrite ± Tennantite ± Chalcopyrite.

The breccias are structurally controlled by the regional NE faults system of Cucutilla and La baja

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Physicochemical Engineerings, School of Geology. Director. Carlos Alberto García

## INTRODUCCION

El sistema de Brechas del sector de La Mascota está ubicado en el distrito minero de California, localizado en el Macizo de Santander en la Cordillera Oriental de Colombia.

El sector de La Mascota hace parte de las áreas del proyecto La Bodega, el cual desde el año 2006 se halla en etapa de exploración por la compañía CVS EXPLORATIONS Ltda. cuya casa matriz es la compañía canadiense VENTANA GOLD CORPORATION. El proyecto la Bodega, gracias al descubrimiento de La Mascota ha cobrado gran importancia en los tres últimos años dado a los altos valores de oro que han mostrado las brechas mineralizadas de este sector.

A la fecha la compañía ha perforado más de 200 pozos con los cuales se ha logrado recopilar una amplia información primaria de tipo litológico, mineralógico, estructural y geoquímico.

El propósito de este trabajo es determinar las paragénesis minerales de las brechas mineralizadas del sector de la Mascota, para conocer las condiciones de de temperatura y las características de los fluidos mineralizantes. Para lograr este objetivo se escogieron 22 muestras de 14 pozos ubicados en 12 secciones diferentes de acuerdo con su contenido de oro de tal manera que las asociaciones minerales representaran las menas con alto contenido de oro en el depósito.

Adicionalmente se realizaron estudios de inclusiones fluidas en dos muestras, con el fin de caracterizar posibles rangos de temperaturas de formación del depósito de manera preliminar.

Este trabajo de grado, modalidad investigación, fue financiado por la empresa CVS Explorations Ltda. y la Universidad Industrial de Santander.

# **1. OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las paragénesis minerales en las brechas mineralizadas del sector LA MASCOTA en el municipio de California, Santander

## **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar los minerales de la mena y la ganga en las brechas mineralizadas.
- Analizar la composición química de los minerales de la mena y la ganga.
- Establecer las relaciones texturales y microestructurales de los componentes de la mineralización.
- Determinar las asociaciones minerales estables y su orden de formación en las brechas mineralizadas.
- Realizar estudios petrográficos y microtermométricos en inclusiones fluidas (IF) para aportar datos preliminares sobre las características físico-químicas de los paleo fluidos mineralizantes.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 LOCALIZACION

El sector de la Mascota está ubicado en la parte nororiental del departamento de Santander, a unos 10 Km. del municipio de California que a su vez se encuentra a 50 Km. de la ciudad de Bucaramanga capital del departamento de Santander. El acceso al municipio de California se hace por carretera pavimentada en un 60% y de allí hasta el sector de la mascota por una carretera secundaria sin pavimentar que conduce a las veredas la Baja y Angostura.

Desde el punto de vista geográfico, el sector de la mascota está ubicado  $7^{\circ}21'15''$  al norte y  $72^{\circ}56'27''$  al este y geológicamente se localiza en el centro del Macizo de Santander en la Cordillera Oriental de Colombia y está referenciado en el cuadrángulo H-13 Pamplona delimitado por las coordenadas: 1'129.000 - 1'130.000 al norte y 1'307.000-1'308.000 al este. Ver figura 1.

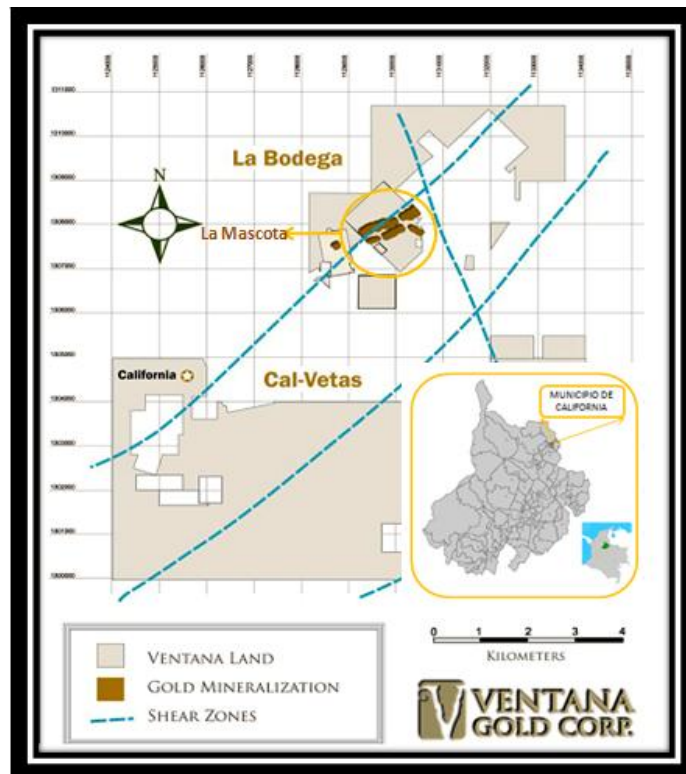
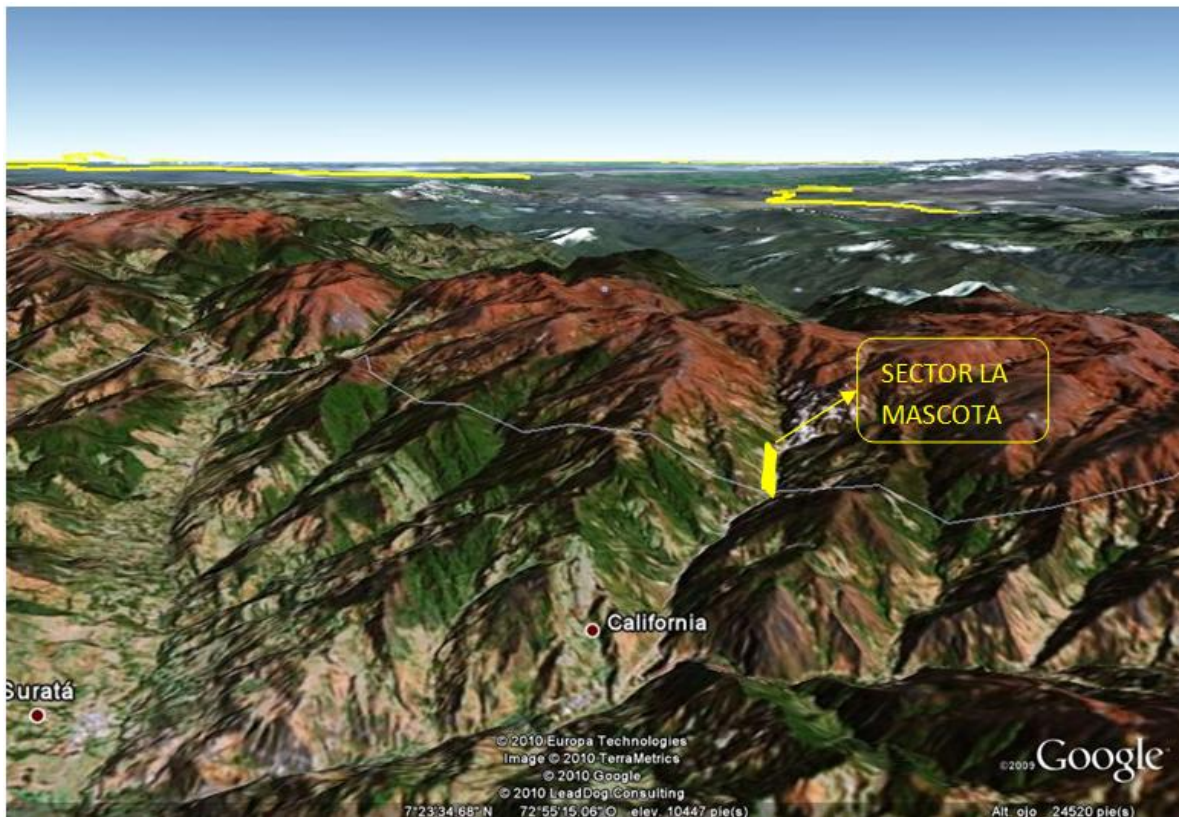


Figura 1. Localización del depósito de la Mascota. Tomado de [www.ventanagold.com](http://www.ventanagold.com)

## 2.2 FISIOGRAFIA Y CLIMA

El área, como la gran mayoría de las zonas que se encuentran en la Cordillera Oriental, está dominada por un relieve empinado con pendientes bastante pronunciadas y valles profundos, el drenaje es principalmente paralelo controlado por una intensa actividad estructural, la altura a la que se ubica sobre el nivel del mar es de 2700 m aprox.

El clima es templado a frío entre 8° y 15° C, la vegetación está dominada por árboles y plantas de menor tamaño, los arboles que dominan son los robles. Ver figura 2.



**Figura 2.** Fisiografía del distrito minero de Vetás – California. Imagen tomada de google earth mirando hacia el NE.

### 3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El distrito minero de California, se encuentra ubicado en el Macizo de Santander, segmento nororiental de la Cordillera Oriental colombiana. El Macizo de Santander está compuesto por rocas metamórficas de la Formación Neis de Bucaramanga, Silgará y el Ortoneis, de edades Mesoproterozoico a Paleozoico Inferior, rocas ígneas Mesozoicas y rocas sedimentarias Paleozoicas y Cenozoicas. (Ward et al, 1973).

El Neis de Bucaramanga es un paraneis del Mesoproterozoico que se compone de rocas afectadas por metamorfismo regional de alto grado, esta formación consta de rocas pelíticas (neises biotíticos y silimaníticos), rocas máficas (neises horbléndicos y anfibolitas), rocas cuarzofeldespáticas (neis y cuarcitas) y rocas carbonatadas (mármoles). La Formación Silgará consiste en filitas, cuarcitas, mármoles y esquistos pelíticos (micáceos, granatíferos, estaurolíticos, andalusíticos, cianíticos y silimaníticos), rocas calcosilicatadas. El Ortoneis es de composición tonalítica, granítica a granodiorítica. Estas rocas del Ortoneis presentan contactos intrusivos con el Neis de Bucaramanga y la Formación Silgará. El complejo metamórfico está intruido por rocas ígneas del Cenozoico de composición variable (tonalita, dacita, andesita, granodiorita y diorita). La geometría y tamaño de estos cuerpos es variable, según relaciones estructurales y de alteración observadas en el distrito, pueden o no tener relación directa con la mineralización.

La mineralización del distrito se atribuye a actividad magmática del Cenozoico (Shaw, R. 2000), en la cual se formaron pórfidos dacíticos y andesíticos que produjeron los fluidos mineralizantes, estos fluidos transitaban por estructuras que se encuentran orientadas hacia el NE al igual que el sistema de fallas regional de Cucutilla y la Baja.

#### 4. ANTECEDENTES

El distrito minero de Vetas-California en Santander, ha sido objeto de diferentes estudios que van desde la cartografía geológica, geoquímica, exploración y determinación de recursos y reservas de oro y plata.

Uno de los trabajos más completos fue la cartografía geológica del macizo de Santander que se dividió en las planchas H12 y H13 a una escala de 1:100000, que ha servido de base fundamental para los análisis más recientes y fue realizado por (Ward et al.) 1973.

Mendoza et al. (1979), realizaron la prospección geoquímica de la zona de California por medio de la que se determinaron las zonas de mayor contenido de oro en la zona, para este estudio utilizaron muestreo de sedimentos activos y de muestras de afloramiento.

Greystar (2006), en uno de sus reportes técnicos en el cual mostro un estimado de 11 millones de onzas de oro como reservas en el depósito de Angosturas, estas reservas tendrán una recuperación del 75%. Otras empresas también han desarrollado trabajos de exploración en California, definiendo diferentes tipos de mineralización dentro del distrito que contrastan con los sistemas de venas y mineralización diseminada en el proyecto Angosturas.

En cuanto a la mineralización y la geología estructural, se han desarrollado diversos trabajos en el marco de convenios entre las empresas privadas y entidades estatales como la Universidad Industrial de Santander e Ingeominas.

Pinto (1991), en un trabajo petrográfico logro definir sulfuros como Bornita, Digenita, Calcopirita en venas de cuarzo. Esto relacionó el depósito con pulsos magmáticos que generaron fluidos mineralizantes, los cuales transportaron y depositaron estos minerales.

Aceros y Castellanos, (1993), describieron que la mineralización tiene un fuerte control estructural por parte de diaclasas tensionales con direcciones de N60-85E / 60-80SE, este estudio se realizó tomando familias de diaclasas. Se concluyó que la asociación más frecuente es cuarzo, pirita, galena, blenda, y calcopirita.

Diaz. y Guerrero (2006), desarrollaron un estudio con el fin de determinar las menas auroargentíferas del depósito Angosturas que explora Greystar Resources. En este estudio se pudo determinar cuatro tipos de menas principales asociadas a pirita. Tetraedrita, Digenita, calcopirita, limonita, hematita y magnetita.

Diversos estudios sobre el tipo de mineralización, la edad y el origen, se han desarrollado también en el marco de convenios entre las compañías y entidades estatales como la UIS y el Ingeominas.

Polania en 1982, definió los depósitos de California como filonianos epitermales de tipo pechblenda-pirita, con buen contenido de oro y plata, el relaciona la mineralización con las fracturas sigmoidales y diagonales a la quebrada la Baja que sirvió como vía para los fluidos mineralizantes que originaron numerosos filones.

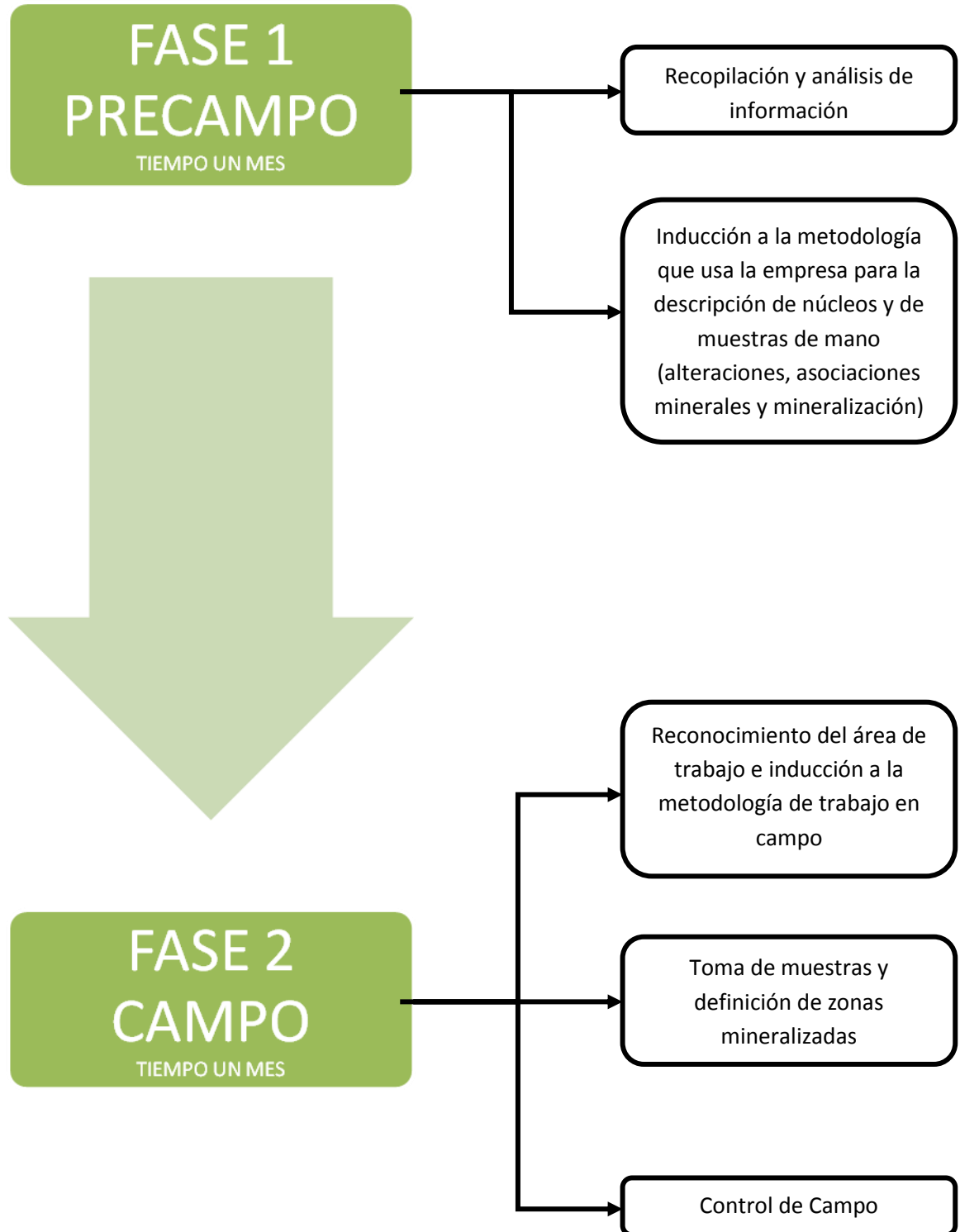
Una de las pocas dataciones que se tienen se realizó en la mina la Bodega en sulfuros ricos en oro concentrados por gravedad con el fin de determinar las edades de los depósitos epitermales y las posibles relaciones genéticas entre el pórfido y la mineralización epitermal. Utilizando el método de Re-Os se determinó una edad de  $57 \pm 10$  ma (Mathur et al., 2002)

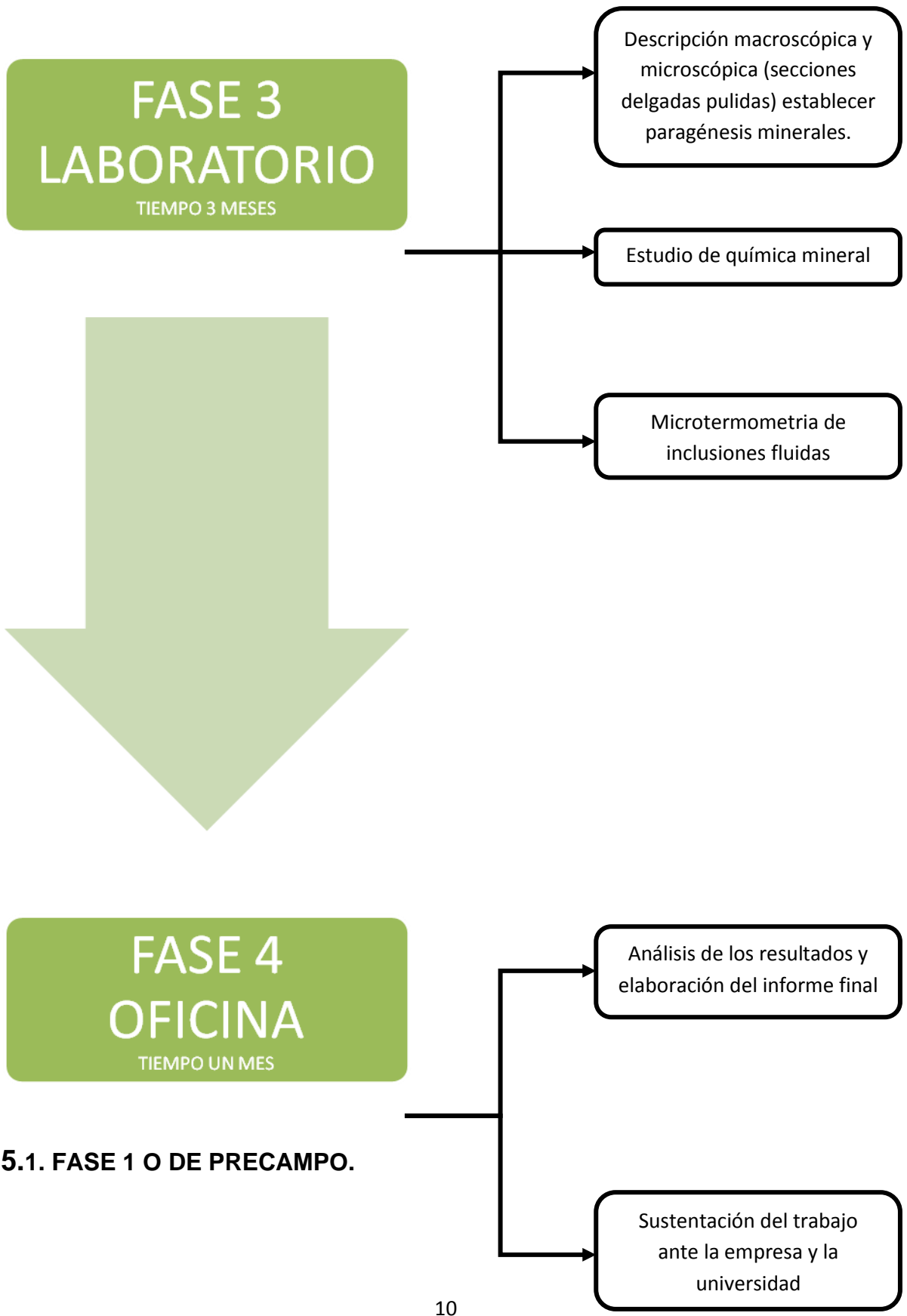
Las edades U-Pb en zircones entorno a 8.4 – 9.0 Ma, reportadas recientemente por Mantilla et al. (2009), como edades de cristalización de magmas félsicos relacionados con la formación de cuerpos riódacíticos porfídicos, evidencia la existencia de un pulso magmático muy reciente para la Cordillera Oriental y posiblemente procesos magmáticos hidrotermales asociados a este. Este estudio se realizó en cuerpos que afloran en el sector conocido como Móngora.

En el sector de la Mascota la compañía CVS Explorations Ltda. ha desarrollado estudios metalúrgicos y geológicos con el fin de determinar las reservas de oro en estas brechas, uno de estos fue realizado por Giovanni di Prisco, 2009, donde este autor analizó la distribución y ocurrencia del oro en el depósito de La Mascota mediante microsonda electrónica, en 29 muestras de núcleos de perforación, mostrando que el oro se encuentra diseminado y en intercrecimiento con pirita y sulfuros de cobre como calcosina, tennantita y calcopirita.

Los estudios realizados al presente en el área de California han permitido conocer algunas características de las mineralizaciones de oro y plata tales como los tipos e mena y sus minerales, relación con estructuras mayores y menores, aspectos geoquímicos, alteraciones, entre otros. Sin embargo queda pendiente por resolver preguntas como las condiciones de formación de los depósitos y la edad de los mismos.

## 5. METODOLOGIA





**5.1. FASE 1 O DE PRECAMPO.**

En esta fase se realizó toda la recopilación y análisis bibliográfico (mapas, informes, artículos, libros, etc.) de la zona de estudio. Esta fase se realizó en las bibliotecas de la Universidad Industrial de Santander, Ingeominas, y de la compañía CVS Explorations Ltda. así como de documentos por internet.

## **5.2. FASE 2 O DE CAMPO.**

Esta fase se divide en 3 sub-fases que son:

- **Reconocimiento del área de trabajo e inducción a la metodología de trabajo en campo:** en esta fase se realizó una visita a la zona donde se definieron las zonas en las cuales se tomaría las muestras, para esto fue necesario conocer el protocolo de muestreo y descripción de núcleos que usa la compañía. Luego analizando los perfiles geológicos se definieron los intervalos de interés para este trabajo. Esta fase se desarrolló en las instalaciones de muestreo de núcleos de la compañía en California Santander.
- **Estudio de núcleos y toma de muestras:** se muestrearon los pozos en los intervalos que cortaba las brechas mineralizadas con altos tenores de oro y presencia de sulfuros, en total se tomaron 22 muestras. Esta parte se desarrolló en las instalaciones donde se describen los núcleos de la compañía en California Santander y en la bodega de núcleos de la empresa en Bucaramanga.
- **Visitas complementarias:** estas visitas tenían como objetivo la toma de dos muestras para el análisis de microtermometría de inclusiones fluidas y la recopilación de información actualizada como (mapas, fotos, secciones, perfiles geológicos).

### 5.3. FASE 3 O DE LABORATORIO.

Análisis mineralógico y petrográfico:

- **Análisis macroscópico:** este análisis se realizó en el laboratorio de estéreo microscopia en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, donde se definieron las muestras para la elaboración de secciones delgadas pulidas. También se analizó la mineralogía y microestructuras presentes en las muestras.
- **Análisis petrográfico:** se analizaron 22 secciones delgadas pulidas utilizando dos microscopios de luz transmitida y luz reflejada marca Nikon, ubicados en el laboratorio de Geología de la UIS en la sede de Guatiguará. Este análisis permitió la determinación de la mineralogía, textura, microestructuras y paragénesis minerales.
- **Determinación de la composición química de los minerales de la mena:** Se realizó el análisis mediante Microsonda electrónica en un equipo marca JEOL JXA 8600 M que trabaja a un voltaje de 15Kv, del laboratorio de Microsonda del Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA) de la Universidad de Concepción en Chile. Se analizaron 7 minerales en 93 puntos.

La preparación de la muestra comienza en realizar una lamina delgada que mida 30  $\mu\text{m}$  de espesor, con esta lamina se debe lograr una superficie 100% plana de modo que los cristales expongan uno de sus planos para que sean atacados con los rayos x. Después de tener una superficie plana, se debe realizar un pulido de esta cara plana, logrando que estas superficies cristalinas logren un brillo similar al de un espejo, para esto se debe pulir con alúmina de 1  $\mu\text{m}$  y con diamantina de  $\frac{1}{4}$  de  $\mu\text{m}$ . Después de todo el proceso de pulido, se debe realizar la marcación de los puntos que se quieren analizar, para esto se encierra la zona con marcador de tinta indeleble de modo que pueda ser removida con facilidad, esta marcación se realiza para facilitar la ubicación de los puntos en el monitor de la Microsonda. Habiendo marcado las secciones pulidas, se debe carbonizar la placa, para esto se lleva a una cámara al vacío que bombardea de rayos ultravioletas la placa, para saber el punto exacto de carbonización, se coloca una placa de bronce al lado y cuando esta se torna azul, está indicando que ya se ha logrado una capa de carbón de 25  $\mu\text{m}$  de espesor

lo que permite que el rayo de la Microsonda no destruya los minerales atacados.

- **Análisis de inclusiones fluidas:** se analizaron 2 muestras representativas en el laboratorio de microtermometría de inclusiones fluidas de la UIS sede Guatiguará, para determinar temperatura de homogenización y composición de los fluidos mineralizantes.

#### **5.4. FASE 4 O DE OFICINA**

En esta fase se realizó la interpretación de la información recolectada la cual se tabuló y se diagramó para su mejor entendimiento a la par en que se realizaba el informe final y sus anexos.

## 6. GEOLOGIA DEL DEPOSITO

La Mineralización de Oro del Sector de La Mascota, ubicada en el municipio de California (Santander) consiste en estructuras brechiformes de espesor variable que siguen una dirección de N45-60E/80NW. Estas brechas se encuentran encajadas en las rocas del Neis de Bucaramanga y se hallan afectadas por un sistema de fallas más tardías que posiblemente están relacionadas con los sistemas de fallas regional de Cucutilla y La Baja con una tendencia estructural general N60E. Ver figura 3

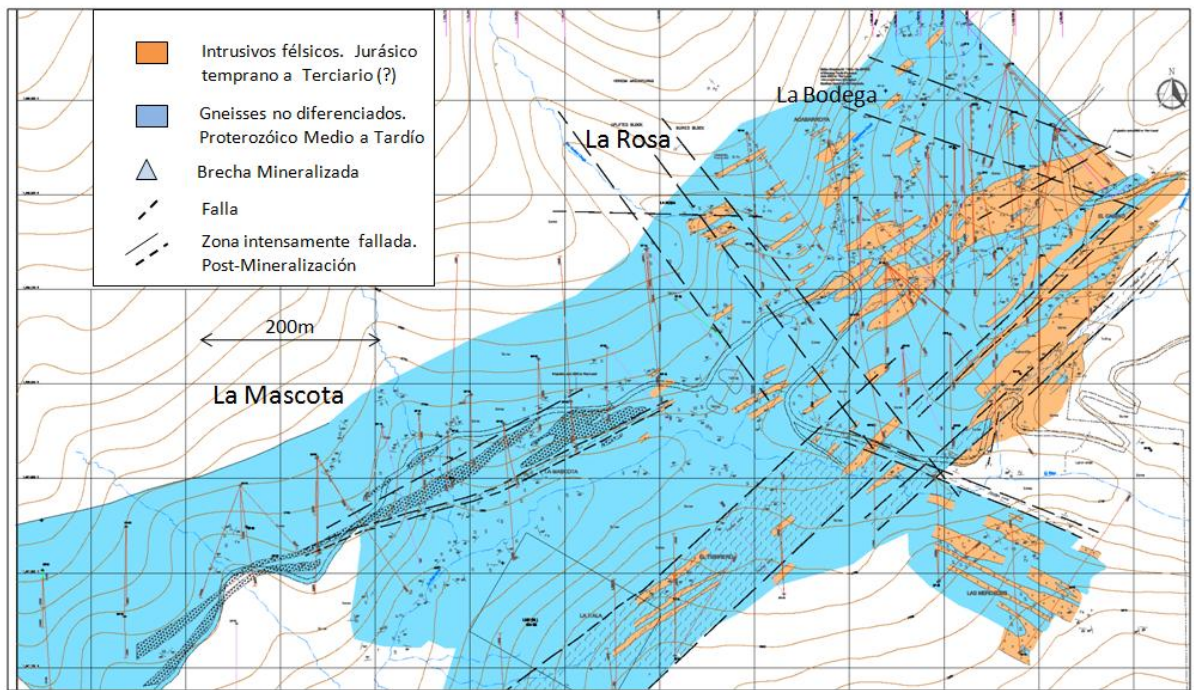


Figura 3: Mapa geológico del Proyecto La Bodega. Por A. Bernasconi, 2007

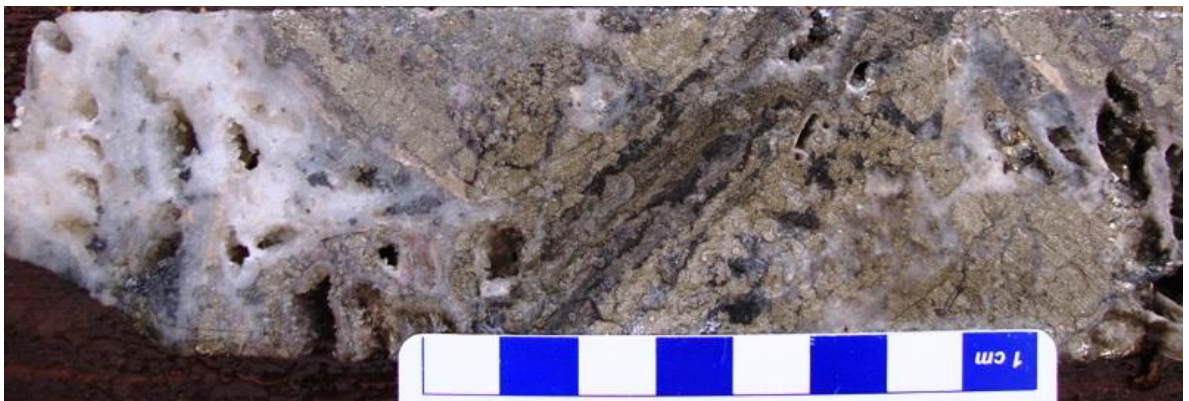
La mineralización en el sector de La Mascota hasta el momento ha sido catalogada carácter hidrotermal, presentando zonas de alteración relacionadas a los fluidos mineralizantes, tales como: clorita + epidota (alteración propilitica), illita + sericita + pirita (argílica), Cuarzo + Sericita + Pirita (QSP o Fílica) y silicificación con fuerte presencia de sulfuros generalmente relacionado con las brechas y la mineralización misma. Las brechas presentan cuarzo vuggy y texturas crustiformes típicas de ambientes epitermales. Ver figura 3 y 4.



**Figura 4:** Azufre nativo (amarillo) en cavidad brecha hidrotermal de La Mascota. Muestra LB195 414.90m.

Los contenidos de oro alcanzan valores de hasta 155 g/t y están asociados a minerales de cobre como Calcopirita, Tennantita, Calcosina y tetraedrita, la mineralogía también se comprende de óxidos como la Wolframita y el Rutilo (ocurrencia eventual). La pirita es el mineral que más abunda en las brechas. Ver figura 4.

A nivel de condiciones fisicoquímicas de formación de los minerales, este depósito ha sido catalogado hasta el momento, como un depósito hidrotermal de alta sulfuración y de poca profundidad lo cual podría evidenciarse en las estructuras crustiformes que se presentan en las brechas. Ver figura 3 y 4.



**Figura 5:** Ejemplo de las brechas de La Mascota. Observe las texturas crustiformes de sulfuros de Cobre y Pirita bordeando venas de cuarzo tipo drusy. Muestra LB147 241.5m.

## 7. MINERALOGIA

Este estudio se realizó sobre 22 muestras seleccionadas de 14 pozos distribuidos a lo largo de toda el área, las características por las cuales se escogieron estas muestras fueron su contenido de oro y sulfuros de hierro, cobre, zinc y óxidos de wolframio y como característica fundamental, que fueran parte de las brechas mineralizadas. En la tabla 1 se muestra la distribución de las muestras de sur a norte y sus profundidades en cada pozo.

SECCION	POZO	PROF (m)	MUESTRA	Inclusiones fluidas	Calcografía
1129000	153	317	991071		X
1129350	100	231,8	955753		X
1129350	100	242,1	955765		X
1129350	100	235,9	955758		X
1129350	112	257,6	73215		X
1129450	94	306,7	939608		X
1129475	142	205,3	8122		X
1129550	85	172	823991		X
1129600	87	171,6	824185	X	X
1129600	87	182,1	824197		X
1129650	47	268,15	677811		X
1129650	47	287,5	677833		X
1129750	45	148,25	565494		X
1129750	48	202,4	566185		X
1129750	48	318,5	744054		X
1129750	48	327,6	744064		X
1129750	18	79,4	519275	X	X
1129775	113	143,7	72601		X
1129850	18	88,2	519284		X
1129850	18	94,1	519290		X
1129900	7	96,3	468430		X
1129950	111A	217,15	72340		X

**Tabla1:** Muestras seleccionadas para los análisis, las secciones marcan la ubicación de sur a norte de cada muestra siendo la sección 1129000 la que está más al sur y la 1129950 la que está más al norte

Para la descripción mineralógica se realizó una división de las brechas en 3 subzonas (zona Sur-oeste, zona centro y zona Nor-este), esta división obedece

también a ocurrencias minerales como el aumento de wolframita y Esfalerita hacia el sur-oeste y a su vez la disminución del contenido de calcosina marcando una disminución del contenido de cobre. Además se escogió una sola muestra de la zona más al Sur, El Cuatro, perteneciente al pozo 153. Esta muestra se tomó con el ánimo de establecer alguna diferencia en el contenido mineral y su distribución. Al momento de iniciar este estudio, El Cuatro se hallaba en exploración de parte de CVS Explorations Ltda., por considerarse la posible extensión al SW de las brechas de La Mascota. La división por zonas se puede observar en la tabla 2.

SECTOR	ZONA	SECCION	POZO
EL CUATRO		1129000	153
LA MASCOTA	ZONA SUR-OESTE	1129350	100-112
	ZONA CENTRO	1129450	94
		1129475	142
		1129550	85
		DP 36	113
		1129650	47
		1129750	45-48
		1129850	18
	ZONA NOR-ESTE	1129900	7
		1129950	111A
DP 45		87	

**Tabla 2:** División del área de trabajo.

En la siguiente figura se muestra una vista en planta del sector La Mascota donde se aprecia espacialmente la ubicación de las muestras seleccionadas.

## DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS MUESTRAS

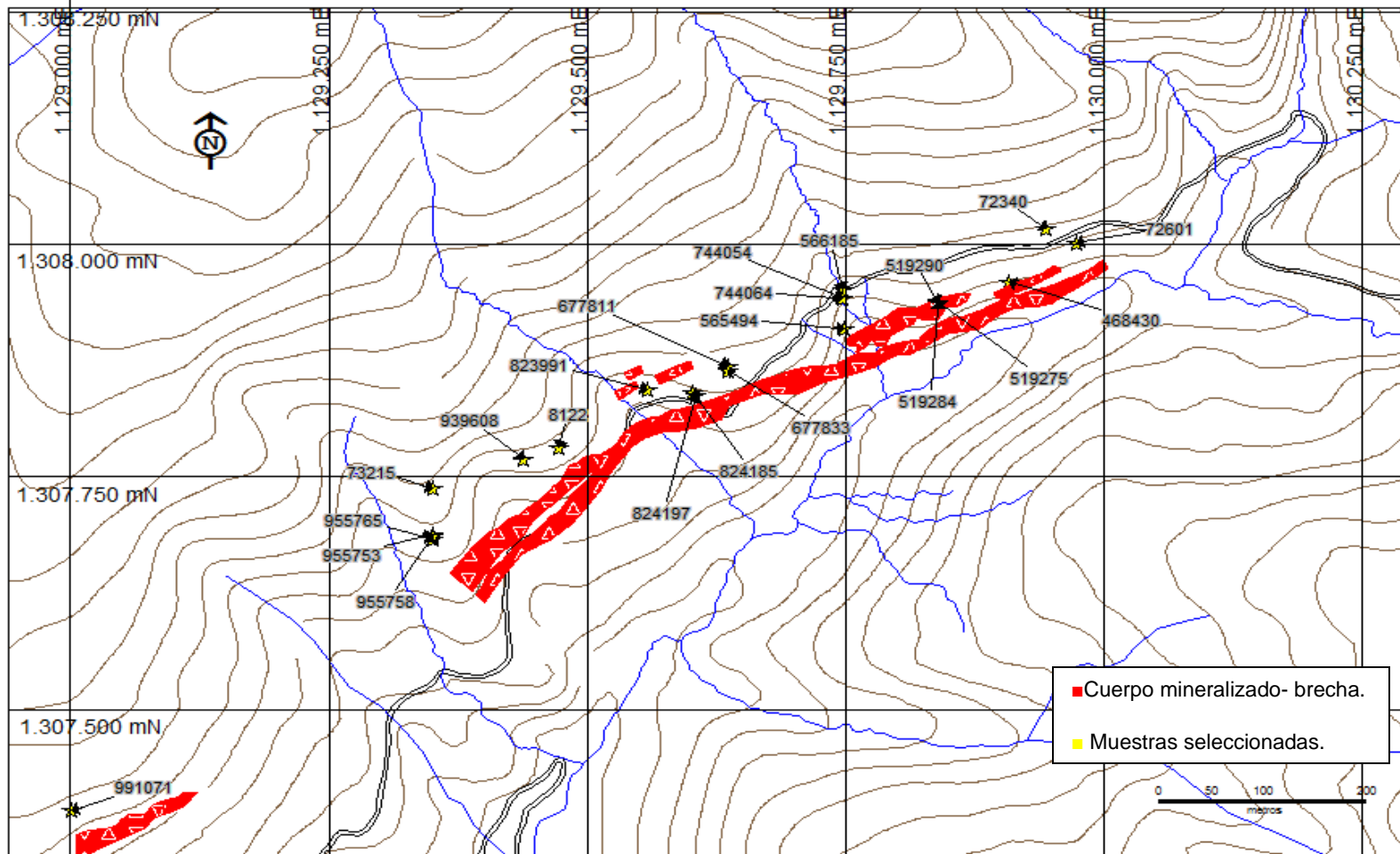
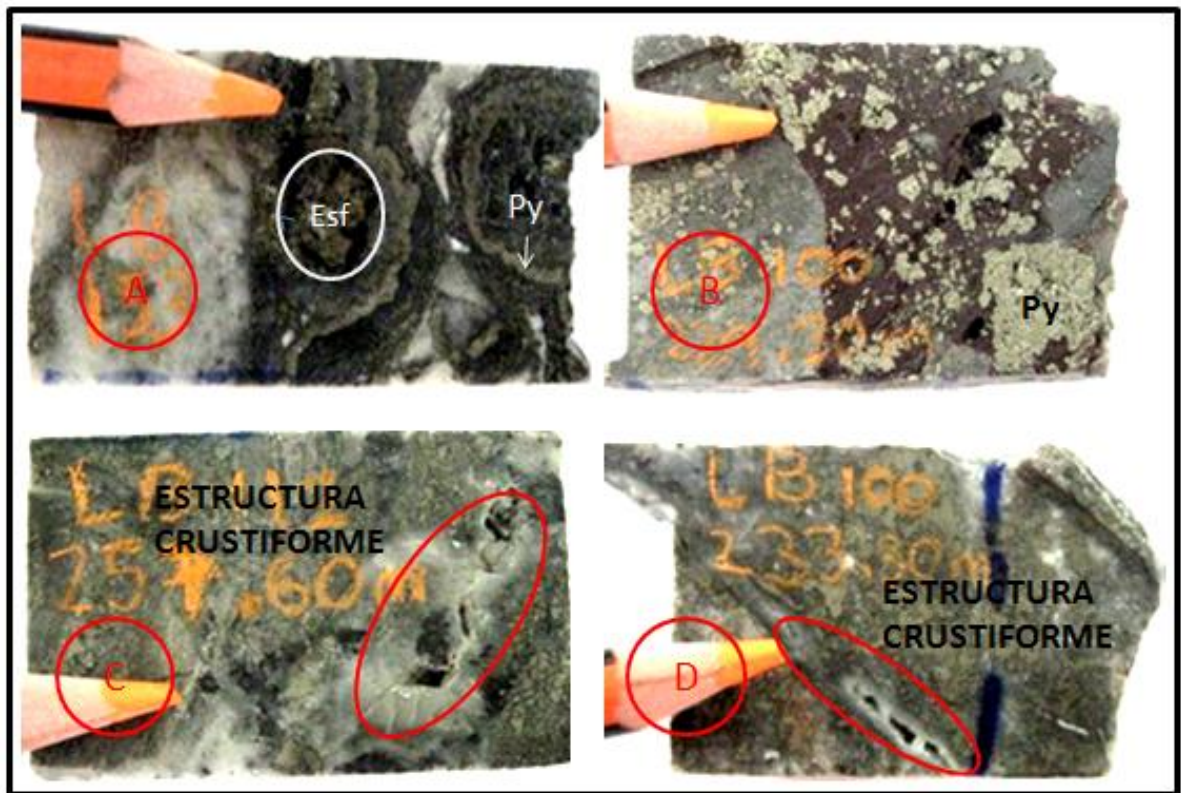


Figura 6: Distribución espacial de las muestras seleccionadas.

## 7.1. ZONA SUR-OESTE

En esta zona los contenidos de oro están entre 2,7 y 25,7 g/t, a nivel macroscópico, esta zona se caracteriza por presentar mayor contenido de esfalerita y wolframita, los sulfuros de cobre están presentes pero en menor proporción que en las otras zonas, la calcosina que es el sulfuro de cobre con mayor contenido de cobre, está presente como mineral primario solo en una muestra de esta zona, a nivel macroscópico se observan agregados de pirita en una matriz de sílice en la muestra 955753, la muestra 991071 del pozo 153 que pertenece a El Cuatro, muestra estructuras crustiforme en los cristales de esfalerita bordeados por venillas de pirita



**Figura 7:** A: muestra 991071 que presenta esfalerita en estructura crustiforme. B: muestra 955753 que presenta pirita muy fina y una mancha roja de hematita producto de oxidación. C: Muestra 73215, presenta estructura crustiforme cortando una masa de sílice con individuos de pirita. D: Muestra 955758 se observa estructura crustiforme cortando una masa de sílice.

A nivel microscópico se definió la textura de cada mineral y sus asociaciones en las brechas, para la zona Sur-Oeste se presentan los siguientes minerales:

## **PIRITA**

Se observan dos generaciones. Pirita1: se presenta en individuos euhedrales a subhedrales en forma de hexágonos, cubos y piritohedros que alcanzan un tamaño de hasta 0,4 mm por 1mm, su color es amarillo claro homogéneo en nicoles paralelos, en todas las muestras y sus bordes rectos. Pirita2: predominan agregados masivos alargados de gran tamaño que pueden estar dispersos o rellenando venas de hasta 5 mm espesor, (M 991071). Ver anexo 2.

## **CALCOPIRITA**

Se presenta en individuos asociados a la pirita, unas veces incluida en ella, estos individuos son anhedrales con bordes irregulares, llega a medir 0,6 mm de largo, el color es amarillo opaco de baja intensidad en nicoles paralelos, no posee reflexión interna, esta calcopirita se encuentra reemplazada de adentro hacia afuera por bornita de color rosado claro en nicoles paralelos, calcosina de color azulado y covelina (muestra 955753).

## **ESFALERITA**

Agregados masivos que varían de tamaño desde 0,1 mm hasta más de 2 mm, de color purpura opaco en nicoles paralelos, con bordes irregulares y cavidades rellenas de cuarzo, la esfalerita se encuentra intercrecida con la tennantita mostrando contactos netos, los contactos con la pirita son netos también, esta esfalerita muestra en nicoles cruzados un color marrón claro debido a que es de la variedad acaramelada llamada Blenda, con poco contenido de hierro.

## **TENNANTITA -TETRAEDRITA**

Se presenta en cristales anhedrales de tamaño 0,2 a 0,6 mm de largo, de color gris claro homogéneo en nicoles paralelos, de baja intensidad y reflexión interna negra, que se encuentran en intercrecimiento con los cristales de esfalerita (M 991071) y con calcopirita (M 955765), este sulfuro presenta bordes redondeados y los contactos con la pirita son netos.

## **WOLFRAMITA**

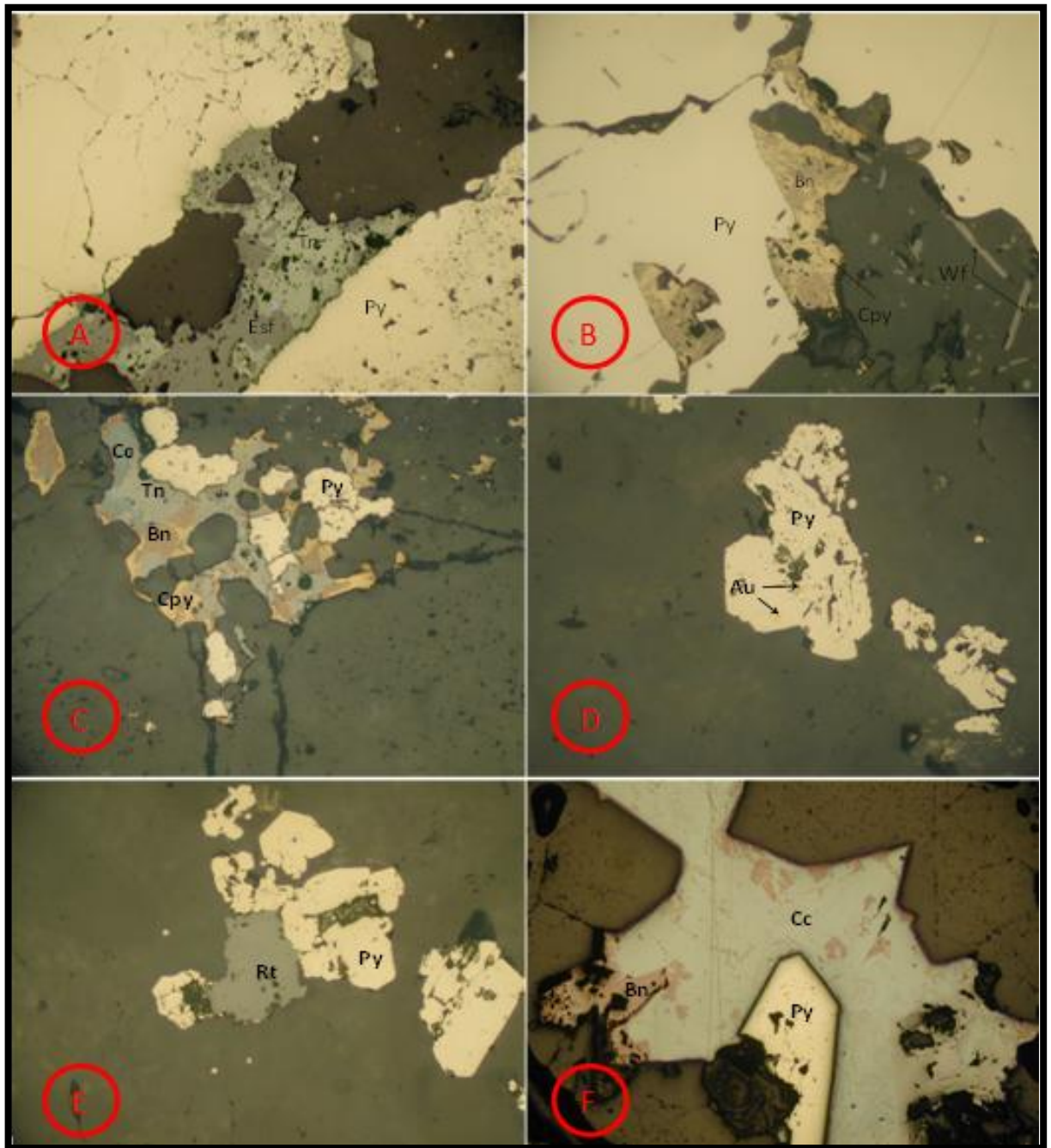
Individuos alargados que varían en su tamaño llegando a medir 145  $\mu\text{m}$  de largo por 50  $\mu\text{m}$  de ancho, de color gris claro en nicoles paralelos y rojizo con nicoles cruzados, forman también agregados fibrosos, los bordes son bien definidos, la wolframita se encuentra principalmente en la matriz de sílice aunque en pocas ocasiones se presenta en contacto neto con la pirita.

## **CALCOSINA**

Se presenta en individuos subhedrales con bordes rectos y definidos que llega a medir 1 mm por 0,6 mm, de color gris claro azulado en nicoles paralelos, no poseen reflexión interna, está siendo reemplazado por bornita, otra forma es como producto del reemplazamiento de calcopirita, en esta fase se torna más azulosa que en la anterior, no posee una forma definida y su tamaño depende del grado de reemplazamiento (M 955765). Ver anexo 2.

## **BORNITA**

Se presenta como producto del reemplazamiento de calcosina y calcopirita, su color es rosado opaco y no tiene una forma definida, el tamaño depende del grado de reemplazamiento que se da de adentro hacia afuera. Ver figura 7.



**Figura 8:** asociaciones minerales de la zona sur-oeste. A. Pirita (Py) asociada a Esfalerita (Esf) que se encuentra en intercrecimiento con Tennantita (Tn). B. Pirita (Py) asociada a Wolframita (Wf) y a Calcopirita (Cpy) que se está reemplazando por Bornita (Bn). C. asociación de Pirita (Py) con Tennantita (Tn) y Calcopirita (Cpy) que se está reemplazando por Bornita (Bn) y Calcosina (Cc). D. Pirita (Py) con inclusiones de oro (Au). E. Pirita (Py) en contacto neto con Rutilo (Rt). F. Pirita (Py) en contacto con Calcosina (Cc) que se está reemplazando por Bornita (Bn). Muestras 991071, 955753, 955765, 955758, 73215.

## 7.2. ZONA CENTRO

En esta zona los contenidos de oro están entre 4,7 y 155 g/t, las muestras de esta zona se caracterizan por presentar mayor contenido de sulfuros de cobre que en la zona anterior aunque la pirita sigue siendo el sulfuro predominante, esta pirita se observa diseminada en la brecha en granos muy finos y también se presenta rellenando venas de cuarzo, en la muestra 566185 del pozo 48, se observa una vena de 4 mm de espesor rellena de solo pirita que es paralela a otras venillas que contienen sulfuros de cobre. Como característica fundamental de esta zona es la presencia de venas que cortan los agregados de pirita fina y que están rellenas de calcosina y tennantita, estas venillas no alcanzan a medir 0.5 mm. Ver figura 9.



**Figura 9:** A: muestra 566185 donde se observa una vena rellena de pirita que mide 4mm de espesor y paralela a esta se observan venillas más pequeñas rellenas de cuarzo y sulfuros finos. B: muestra 565494 donde se observa una serie de venillas rellenas de cuarzo y sulfuros oscuros que bordean los agregados de pirita. C: Muestra 744054 presenta pirita fina cortada por venillas con calcosina y tennantita. D: Muestra 8122 se observan venillas con pirita fina y estructura crustiforme.

A nivel microscópico se definió la textura de cada mineral y sus asociaciones en las brechas, para la zona Centro se presentan los siguientes minerales:

## **PIRITA**

Se presentan dos generaciones de pirita en esta parte, la primera muestra cristales anhedrales y subhedrales dispersos con bordes redondeados que llegan a medir 0,8 mm de largo, el color es amarillo claro homogéneo en nicoles paralelos, (ver anexo 2 muestra 8122). Una segunda forma se da en cristales euhedrales en forma de piritohedros y hexágonos que llegan a medir 0,8 mm por 1 mm, el color es amarillo claro homogéneo en nicoles paralelos y los bordes son rectos, (ver anexo 2 muestra 824185). Una segunda generación de pirita ocurre en agregados cristalinos masivos y alargados que pueden llegar a medir más de 3 mm por unos 3 cm, la particularidad que presentan la mayoría de estos agregados es que su color aunque es igualmente amarillo, no es homogéneo y se llega a tornar en un color mostaza, esto puede deberse a la presencia de elementos como arsénico, níquel o bismuto. La pirita se presenta también rellenando venillas, una de estas se presenta en la muestra 566185 que presenta una vena de 7 mm de espesor y que se extiende por unos 5 cm de largo, estas venillas están rodeadas por agregados de cuarzo muy fino.

## **CALCOSINA**

La calcosina se presenta generalmente en dos generaciones, una en cristales subhedrales y anhedrales con bordes rectos y redondeados que está asociada a pirita, esta calcosina muestra un color gris azulado y llegan a medir 1 mm de largo por 0,6 mm de ancho, la calcosina presenta inclusiones de oro que miden  $0.96\ \mu\text{m}$  de ancho por  $9.6\ \mu\text{m}$  (ver anexo 2 muestra 565494), una segunda generación de calcosina se presenta como reemplazamiento de la calcopirita, esta calcosina muestra un color mas azulado y su forma y tamaño dependen de el grado de reemplazamiento. Ver anexo 2 muestra 823991.

## **CALCOPIRITA**

La calcopirita se presenta como individuos anhedrales con bordes irregulares asociados a pirita, tennantita y wolframita, el color es mostaza opaco en nicoles paralelos, la calcopirita se encuentra reemplazada por bornita y calcosina, este reemplazamiento llega a ser total en algunos casos y se da de centro a borde, otra forma es incluida en wolframita. Ver anexo 2 muestra 677811.

## **WOLFRAMITA**

Se presenta como cristales euhedrales alargados de apariencia fibrosa con tamaño medio de 760  $\mu\text{m}$  de largo por 190  $\mu\text{m}$  de ancho (ver anexo 2 muestra 744064), el color es gris claro en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, también se puede observar como agregados fibrosos, la wolframita se encuentra asociada a calcopirita, tennantita y pirita, los contactos entre estos minerales son netos.

## **TENNANTITA**

Se observan individuos anhedrales a subhedrales que llegan a medir 300  $\mu\text{m}$  por 200  $\mu\text{m}$ , el color en nicoles paralelos es gris claro y en nicoles cruzados es marrón oscuro, los bordes son irregulares y los contactos son netos. (ver anexo 2 muestra 566185).

## **ORO**

El oro se presenta de dos formas. Oro1: se presenta en cristales subhedrales y anhedrales, de color amarillo dorado, de tamaño 200  $\mu\text{m}$  de largo por 120  $\mu\text{m}$  de ancho, con bordes definidos e irregulares y contactos netos con pirita, tennantita y calcopirita. Oro2: se presenta incluido en calcosina, el color es amarillo dorado y mide 0.96  $\mu\text{m}$  de ancho por 9.6  $\mu\text{m}$  de largo.

## **COVELINA**

Se presenta como producto del reemplazamiento de la calcopirita, su color es azul en nicoles paralelos, el tamaño y forma de esta covelina dependen del grado de reemplazamiento que tenga, en algunos casos llega a un reemplazamiento total dejando solo residuos de calcopirita en los bordes, (ver anexo 2 muestra 677811).

## **RUTILO**

Individuos hexagonales euhedrales a subhedrales de diferentes tamaños que llegan a medir 152  $\mu\text{m}$  por 95  $\mu\text{m}$ , de color gris oscuro en nicoles paralelos y marrón claro en nicoles cruzados, con bordes rectos y redondeados, su contacto con la pirita es neto y no presenta alteración. Ver anexo 2 muestra 824185.

## **ESFALERITA**

Se presenta como agregados masivos de color púrpura opaco en nicoles paralelos, en nicoles cruzados muestra un color acaramelado típico de las esfaleritas ricas en hierro también llamadas blendas, llegan a medir 1 mm por 1mm con bordes irregulares, esta esfalerita está en contacto con la pirita y con pequeños cristales de tennantita y wolframita y presenta inclusiones de cuarzo. Ver anexo 2 muestra 566185.

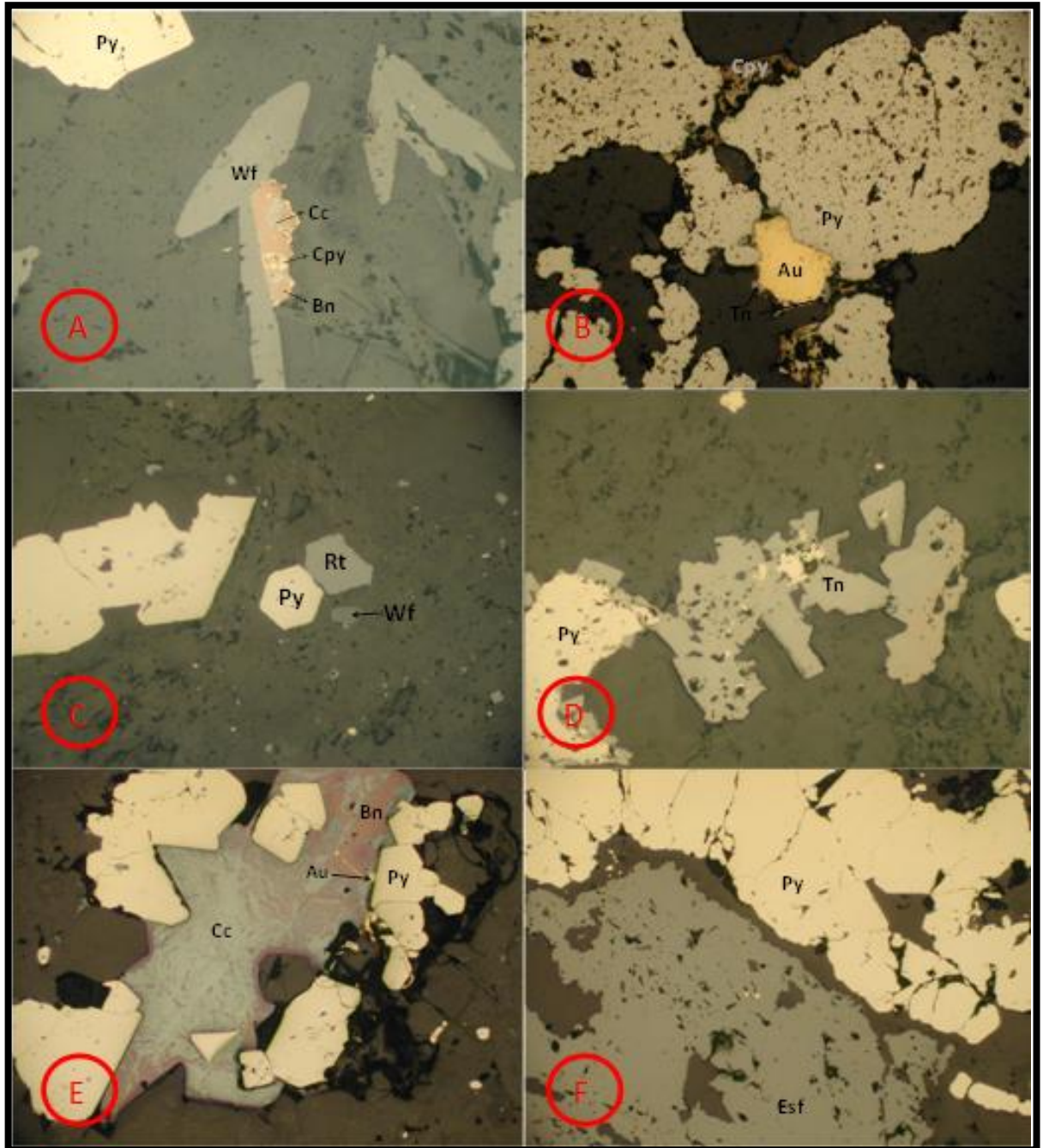
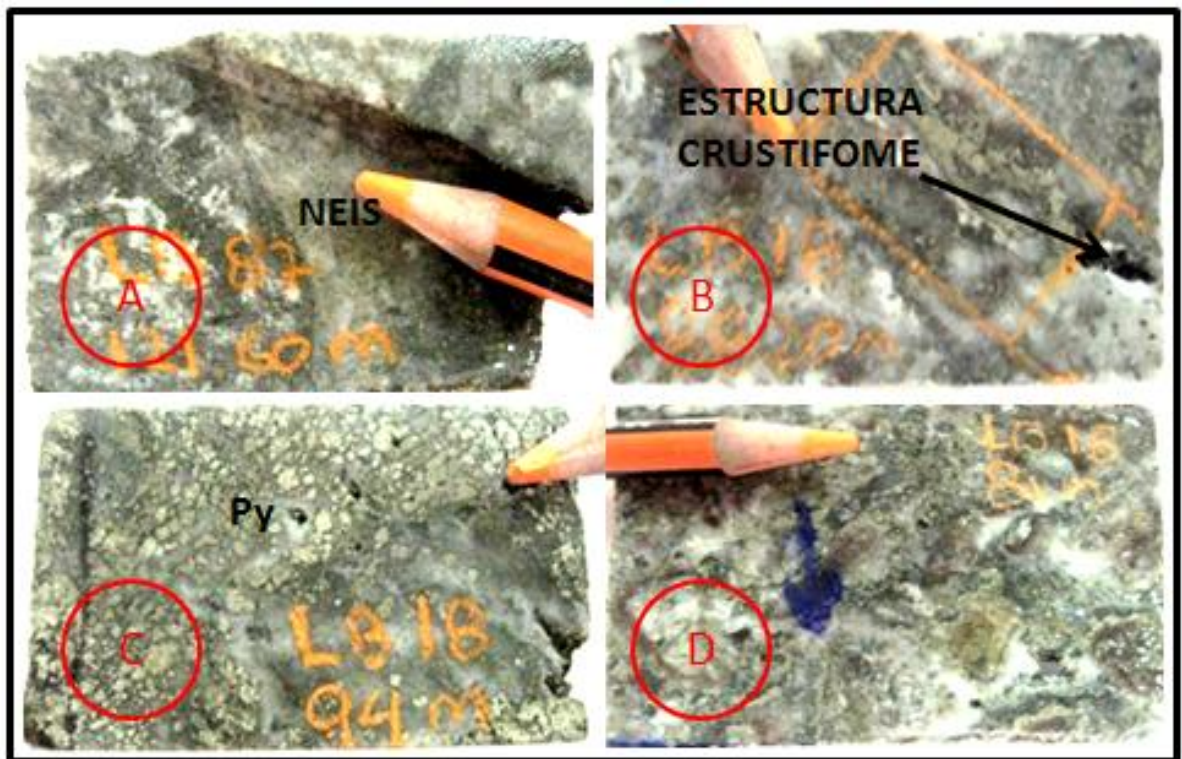


Figura 10: Asociaciones minerales de la zona centro. A. Wolframita (Wf) asociada con Calcopirita (Cpy) que se está reemplazando por Bornita (Bn) y por Calcosina (Cc). B. asociación de Pirita (Py) con Calcopirita (Cpy) y Oro libre (Au). C. Pirita (Py) asociada con Rutilo (Rt), Wolframita (Wf). D. Pirita (Py) asociada con Tennantita (Tn). E. Pirita (Py) en contacto con Calcosina (Cc) con inclusiones de Oro (Au), esta Calcosina se está reemplazando por Bornita (Bn). F. Pirita (Py) en asociación con Esfalerita (Esf). Muestras: 8122, 823991, 824185, 677833, 565494, 566185.

### 7.3. ZONA NOR-ESTE

En esta zona los contenidos de oro están entre 1,9 y 20,2 g/t, en esta zona se pueden observar con mayor frecuencia las asociaciones de pirita con sulfuros de cobre como la calcosina lo que evidencia una mayor concentración de cobre que en las otras zonas, la pirita se presenta de forma diseminada en la sílice de la brecha aunque también se presenta rellenando venillas de eventos posteriores al cuerpo mineralizado, la muestra 519284 del pozo 18 presenta una venilla que no alcanzo a ser rellenada en su totalidad y que está cortando otras venillas de menor tamaño (ver anexo 1), esta relación se repite en todas las muestras de la zona, la muestra 824185 del pozo 87, muestra clastos del neis en la matriz silíceo que compone los cuerpos brechiformes. Ver figura 11.



**Figura 11:** A: muestra 824185 presenta clastos del neis que son bordeados por la sílice producto de la alteración hidrotermal. B: muestra 519284 muestra una vena que esta rellena de pirita y que a su vez corta la sílice del evento formador de la brecha, esto evidencia diferentes eventos mineralizantes. C: Muestra 519290 se observan agregados de pirita. D: Muestra 519275, presenta estructura crustiforme.

A nivel microscópico se definió la textura de cada mineral y sus asociaciones en las brechas, para la zona Centro se presentan los siguientes minerales.

## **PIRITA**

Se presenta en dos generaciones. Pirita1: individuos anhedrales y subhedrales de color amarillo claro homogéneo en nicoles paralelos, llegan a medir 1.5 mm por 1 mm, (ver anexo 2 Muestra 519290), estos individuos están asociados principalmente a calcosina. Pirita2: agregados masivos alargados con bordes rectos y redondeados que llegan a medir 2 mm por 4 mm, de color amarillo claro en nicoles paralelos que presenta tonalidades más oscuras debido a impurezas de arsénico y níquel, estos agregados están asociados a calcosina, tennantita y oro en contactos netos.

## **CALCOSINA**

Agregados cristalinos con bordes redondeados y rectos, su tamaño llega a ser de 1mm por 0.5 mm, el color es gris azulado en nicoles paralelos, los contactos con pirita, tennantita y oro son netos, esta calcosina se encuentra reemplazada por bornita de forma irregular. También se observa a la calcosina como reemplazamiento de la calcopirita, en estos casos su color toma una tonalidad más azulosa.

## **TENNANTITA**

Individuos anhedrales de color gris claro en nicoles paralelos y de color marrón oscuro en nicoles cruzados, llegan a medir 90  $\mu\text{m}$  por 45  $\mu\text{m}$ , sus bordes son irregulares. La tennantita está asociada a la calcopirita y a la pirita en venas de generación más reciente que la calcosina. Ver anexo 2 muestra 468430.

## **CALCOPIRITA**

Individuos anhedrales de color amarillo mostaza en nicoles paralelos, asociados a la segunda generación de pirita que además está en contacto neto con la tennantita, los bordes son irregulares, estos individuos llegan a medir 170  $\mu\text{m}$  por 95  $\mu\text{m}$ , esta calcopirita se encuentra reemplazada a calcosina y a bornita que en algunos lugares han logrado reemplazarla por completo.

## **BORNITA**

Se presenta como producto del reemplazamiento parcial o total de calcosina y calcopirita, su color es rosado opaco en nicoles paralelos, su tamaño varía según el grado de reemplazamiento que haya alcanzado, en las calcopirita este reemplazamiento se da desde el centro hacia los bordes de los cristales, mientras que en las calcosinas se observa manchas sin una orientación predominante.

### **COVELINA**

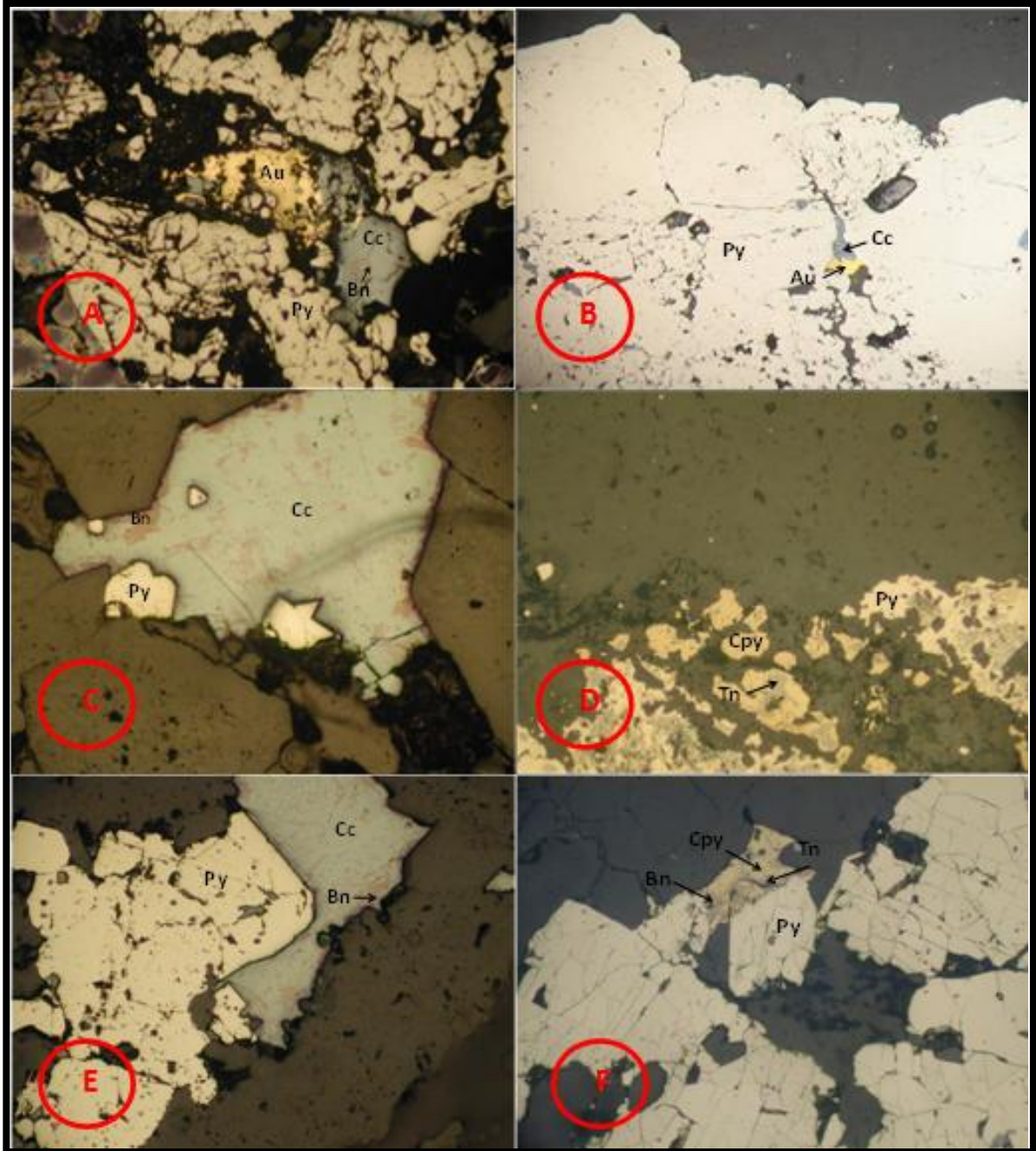
Se presenta como producto del reemplazamiento de la calcopirita que puede llegar a ser total en algunos casos, la covelina es de color azul en nicoles paralelos, el tamaño depende de los cristales de calcopirita, este reemplazamiento se da desde el centro de los cristales hacia los bordes.

### **WOLFRAMITA**

Individuos alargados con bordes rectos y definidos, llegan a medir 19  $\mu\text{m}$  de ancho por 95  $\mu\text{m}$  de largo, su color en nicoles paralelos es gris y rojizo en nicoles cruzados, esta wolframita se encuentra dispersa en la matriz de sílice y en contacto neto con la pirita. Ver anexo 2 Muestra 519284.

### **ORO**

Se presenta en dos generaciones. Oro1: individuos anhedrales que miden 0.6 mm por 0.5 mm, su color en nicoles paralelos es amarillo dorado, los bordes son irregulares y los contactos son difusos. Ver anexo 2 Muestra 519274. Oro2: este oro se presenta de forma intersticial en los espacios generados en los bordes de los agregados de pirita, el color en nicoles paralelos es amarillo dorado, este oro intersticial llega a medir 5  $\mu\text{m}$  por 2,5  $\mu\text{m}$  y los bordes son irregulares.



**Figura 12:** Asociaciones minerales de la zona Nor-este. A. Oro (Au) asociado con Pirita (Py) y Calcosina (Cc) que se está reemplazando por Bornita (Bn). B. asociación de Pirita (Py) con Calcosina (Cc) intersticial y Oro libre (Au). C. Pirita (Py) asociada con Calcosina (Cc) que está siendo reemplazada por Bornita (Bn). D. Pirita (Py) asociada con Tennantita (Tn) y Calcopirita (Cpy). E. Pirita (Py) en contacto con Calcosina (Cc) que está reemplazando por Bornita (Bn). F. Pirita (Py) en asociación con Tennantita (Tn) y Calcopirita (Cpy) que está siendo reemplazada por Bornita (Bn). Muestras: 519274, 519284, 519290, 468430, 73240, 72601.

## 7.4. PARAGENESIS MINERALES

En la siguiente tabla se muestra de forma resumida la abundancia relativa de los minerales de la mena presentes en las brechas, estos minerales están asociados en las siguientes paragénesis generales:

- Pirita ± Calcopirita ± Wolframita ± Tennantita ± Esfalerita ± Calcosina ± Oro.
- Pirita ± Wolframita ± Tennantita ± Calcosina ± Calcopirita ± Oro.
- Pirita ± Tennantita ± Calcopirita.

Ubicación de las muestras							Presencia de minerales (%)									
Zona	SECCION	DP	MUESTRA	POZO	PROF (m)	Au g/Tn	Py	Esf	Wf	Au	Cpy	Tn	Cc	Rt	Bn	Cv
El Cuatro	1129000		991071	153	317	28,2	18	10,5	0,3			1,2				
Sur - Oeste	1129350		955753	100	231.8	3,97	35		0,5		0,5					
	1129350		955765	100	242.1	25,74	12	0,3	1,5		1	3	6		0,3	0,4
	1129350		955758	100	235.9	2,73	24		0,2	0,1				0,7		
	1129350		73215	112	257.60	18,59	15			0,2			4		0,8	
Centro	1129450		939608	94	306.70	18,68	32		3							
	1129475		8122	142	205.30	11,1	22		1		0,8		0,5		0,7	
	1129550		823991	85	172	155,6	78			0,7	1	3	1		1	0,3
	1129600	45	824185	47	268,15	57,89	9		0,3					0,7		
	1129600	45	824197	47	287.50	7,48	7			0,1	0,8		1		0,5	0,6
	1129650		677811	45	148.25	18,28	16		1	0,1	1,5	0,8			0,5	0,2
	1129650		677833	48	202.40	37,79	23		0,5				1,5			
	1129750		565494	48	318.50	29,45	75			0,2				3		1,8
	1129750		566185	48	327.60	7,99	18	1,5	0,2				0,2			
	1129750		744054	18	79.40	19,65	39		0,2				1	0,4		0,4
	1129750		744064	18	88.20	6,44	14			1						
Nor - Este	1129850		519275	18	94.10	20,29	20		0,8	0,2		1	7		1	
	1129850		519284	7	96.30	12,99	17,5		0,5	0,1			1		0,9	
	1129850		519290	111A	217.15	6,01	68						1,5		0,5	
	1129900		468430	113	143.70	1,9	8				0,5	1,5				
	1129950		72340	87	171.60	20,61	28						1,5		0,5	
	1129975	36	72601	87	182.10	15,17	13				0,8	0,4		0,5	0,3	

**Tabla 3:** Abundancia relativa de los minerales. Py: Pirita. Esf: Esfalerita. Wf: Wolframita. Au: Oro. Cpy: Calcopirita. Tn: Tennantita. Cc: Calcosina. Rt: Rutilo. Bn: Bornita. Cv: Covelina.

## 8. QUIMICA MINERAL

### 8.1 ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Este análisis se realizó en pirita, calcopirita, tennantita, tetraedrita, bornita, covelina y esfalerita presentes en las muestras, seleccionando aquellos que estuvieran en paragénesis y otros que son producto de reemplazamiento.

#### **PIRITA (46.4% de Fe y el 53.6% S)**

Los análisis que se tomaron en los cristales y agregados de pirita, se tomaron en los bordes que se encuentran en contacto con otros sulfuros, esto con el fin de observar las variaciones que puedan tener los minerales cuando se encuentran en contacto.

En cuanto a los elementos mayores se puede observar que los contenidos de azufre son hasta 3% más bajos (muestra 677833) de lo que puede tener una pirita común, solo tres análisis de pirita ubicados en la zona Nor-este muestran valores normales, también se presentan resultados por encima de los contenidos normales pero en menor cantidad pues solo llegan a exceder en 1%, los contenidos de hierro son bastante normales, solo en dos muestras de la zona centro y de la zona Nor-este se obtuvieron resultados de 2% por debajo del contenido normal de hierro. Los elementos menores presentaron resultados bajos aunque uno de ellos, el cobre, muestra cuatro valores anómalos de alto porcentaje, el valor anómalo más alto es de 2.12%, que sustituye al hierro en el mismo punto (Muestra 519284), los valores de arsénico al igual que el cobre son bastante bajos a diferencia de 2 valores anómalos altos de 1.096% y 4.690%, este segundo valor sustituye el faltante de hierro y azufre en esta muestra (Muestra 677833), estas muestras que presentan una elevación en el contenido de elementos menores, presentan una variación en su color y al observarla en la Microsonda, se ve de un tono más claro que las otras.

En la figura 13 se muestra la distribución de cobre y arsénico en las piritas, allí se puede observar como los contenidos de arsénico son continuos y bajos a diferencia de los contenidos de cobre que se muestran en una distribución irregular.

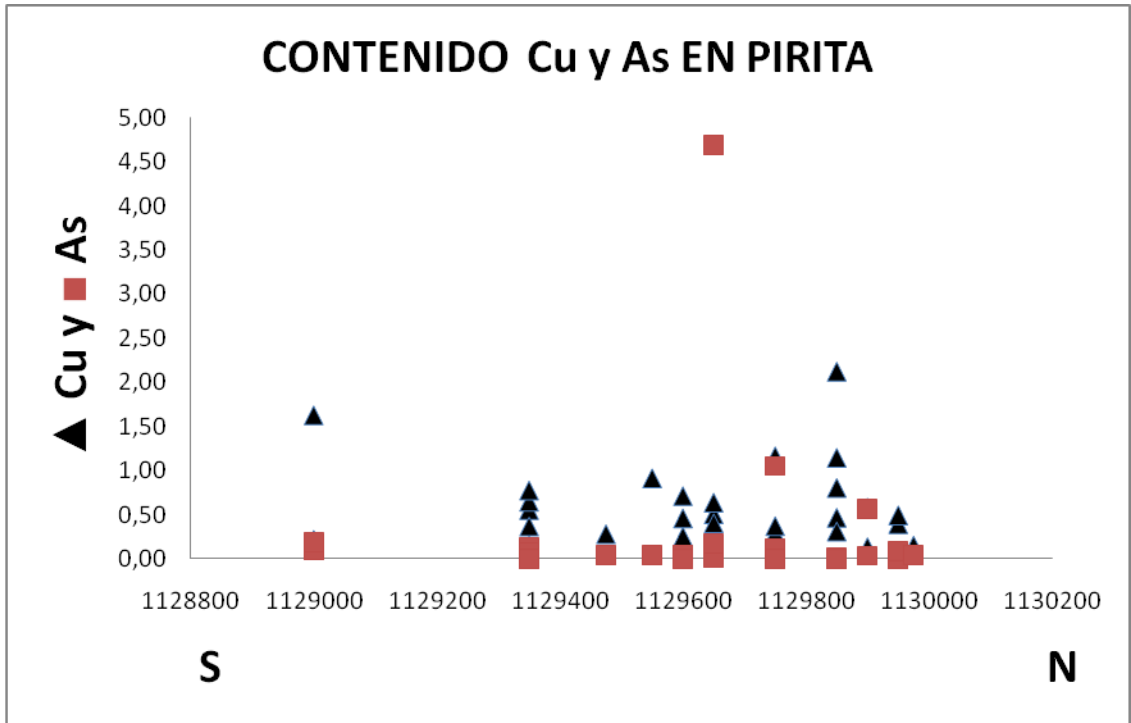


Figura 13: Contenido de ▲Cobre y de ■Arsénico en pirita.

**PIRITA (46.4% de Fe y el 53.6% S)**

SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Punto	Porcentaje en peso								Contenido atomico								
					Cu	Fe	S	Ag	As	Co	Ni	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Co	Ni	CatTot	
1129000	153	991071	317	23	0,21	46,51	52,34	0,029	0,095	0,035	0,007	99,23	0,004	1,011	1,982	0	0	0	0	3	
1129000	153	991071	317	24	1,63	45,39	52,96	0	0,196	0,034	0,006	100,21	0,031	0,978	1,987	0	0	0	0	3	
1129350	100	955753	231.8	25	0,55	46,53	51,43	0	0,013	0,042	0,021	98,59	0,011	1,022	1,966	0	0	0	0	3	
1129350	100	955753	231.8	26	0,15	46,48	53,92	0	0,018	0,048	0,011	100,64	0,003	0,992	2,004	0	0	0	0	3	
1129350	100	955765	242.1	27	0,65	46,35	54,41	0,01	0,142	0,024	0,005	101,59	0,012	0,98	2,005	0	0	0	0	3	
1129350	100	955765	242.1	28	0,77	45,87	54,02	0,009	0,073	0,03	0,005	100,78	0,015	0,978	2,006	0	0	0	0	3	
1129350	112	73215	257.60	30	0,37	46,05	53,95	0,018	0	0,034	0	100,41	0,007	0,984	2,008	0	0	0	0	3	
1129475	142	8122	205.30	31	0,28	46,24	53,76	0,041	0,047	0,022	0	100,39	0,005	0,99	2,004	0	0	0	0	3	
1129550	85	823991	172	29	0,91	46,32	53,19	0,001	0,05	0,043	0,046	100,56	0,017	0,993	1,987	0	0	0	0	3	
1129600	87	824197	182.10	20	0,25	46,51	52,58	0	0,055	0,046	0,02	99,45	0,005	1,008	1,985	0	0	0	0	3	
1129600	87	824197	182.10	21	0,46	46,2	54,49	0,003	0,054	0,047	0	101,25	0,009	0,979	2,011	0	0	0	0	3	
1129600	87	824197	182.10	22	0,71	46,53	54,03	0,039	0	0,045	0,003	101,35	0,013	0,988	1,998	0	0	0	0	3	
1129650	47	677811	268,15	13	0,5	46,1	54,45	0	0,056	0,038	0,01	101,16	0,009	0,978	2,011	0	0	0	0	3	
1129650	47	677811	268,15	14	0,64	45,91	52,57	0	0,011	0,053	0	99,18	0,012	0,997	1,989	0	0	0	0	3	
1129650	47	677833	287.50	18	0,3	46,63	54,36	0	0,178	0,06	0,002	101,54	0,006	0,987	2,004	0	0	0	0	3	
1129650	47	677833	287.50	19	0,4	44,82	50,66	0,005	4,69	0,066	0,012	100,66	0,008	0,982	1,933	0	0,1	0	0	3	
1129750	45	565494	148.25	15	0,13	46,39	54,27	0	0,019	0,053	0,009	100,88	0,003	0,986	2,01	0	0	0	0	3	
1129750	45	565494	148.25	16	1,16	46,35	52,68	0,012	0,031	0,061	0	100,3	0,022	0,999	1,977	0	0	0	0	3	
1129750	48	566185	202.40	17	0,01	45,84	54,23	0,021	1,056	0,057	0	101,22	0	0,974	2,007	0	0	0	0	3	
1129750	48	744054	318.50	7	0,29	46,14	54,18	0,014	0,123	0,057	0,054	100,85	0,005	0,982	2,008	0	0	0	0	3	
1129750	48	744054	318.50	8	0,37	46,29	54,16	0	0,002	0,049	0,022	100,89	0,007	0,985	2,007	0	0	0	0	3	
1129750	18	519275	79.40	4	0,8	45,9	54,91	0,024	0	0,039	0	101,68	0,015	0,968	2,016	0	0	0	0	3	
1129750	18	519275	79.40	5	0,47	45,95	54,49	0,02	0,019	0,04	0,013	100,99	0,009	0,975	2,014	0	0	0	0	3	
1129850	18	519284	88.20	11	0,31	46,47	54,1	0,005	0,005	0,049	0,128	101,07	0,006	0,988	2,003	0	0	0	0	3	
1129850	18	519284	88.20	12	2,12	44,92	53,94	0,02	0	0,033	0,009	101,04	0,04	0,957	2,002	0	0	0	0	3	
1129850	18	519290	94.10	6	1,14	46,33	52,95	0,004	0,004	0,049	0,008	100,49	0,022	0,996	1,982	0	0	0	0	3	
1129900	7	468430	96.30	9	0,58	46,06	53,52	0,022	0,565	0,048	0,003	100,79	0,011	0,985	1,994	0	0	0	0	3	
1129900	7	468430	96.30	10	0,13	46,73	53,83	0	0,037	0,057	0,018	100,8	0,003	0,996	1,999	0	0	0	0	3	
1129950	111A	72340	217.15	1	0,39	46,22	54,28	0,01	0	0,047	0,011	100,96	0,007	0,982	2,009	0	0	0	0	3	
1129950	111A	72340	217.15	2	0,49	46,08	54,52	0,017	0,089	0,041	0,011	101,25	0,009	0,976	2,012	0	0	0	0	3	
1130000	113	72601	143.70	3	0,15	46,2	53,66	0,019	0,045	0,044	0,005	100,12	0,003	0,991	2,004	0	0	0	0	3	
<b>Leyenda de colores</b>		Valores anómalos de Cobre																			
		Valores anómalos de Hierro																			
		Valores anómalos de Azufre																			
		Valores anómalos de Arsénico																			

**Tabla 4:** Composición química de la pirita.

### BORNITA (Cu 63,3 %, Fe 11,2 %, S 25,5 %)

Las bornitas presentes en las muestras son producto del reemplazamiento de calcopirita y calcosina, los resultados obtenidos en cuanto a sus elementos mayores son normales aunque en algunas muestras los valores anómalos bajos de cobre son sustituidos por un incremento en los valores de hierro y azufre, esto se evidencia en las muestras 955753 y 677811, otras muestras presentan valores de 4% por encima del contenido normal de azufre y valores de 1% por debajo de los valores normales de hierro, pero los contenidos de cobre se mantienen normales. Los valores obtenidos de elementos menores como la plata y el arsénico son bajos, en la plata se obtuvo 4 valores anómalos altos, teniendo en la muestra 72340 el valor más alto que llega hasta el 0,9 %, este incremento de plata muestra una disminución en el contenido de cobre. En cuanto al arsénico, se muestran dos valores anómalos altos que sustituyen una leve disminución de cobre. Todas las variaciones composicionales que se presentan en las bornitas, ocurren por una disminución de cobre que se sustituye ya sean por hierro, azufre, plata o arsénico.

En la figura 14 se muestra la distribución de arsénico y plata y se puede observar como los contenidos de plata aumentan desde la zona centro hacia el Nor-Este mientras que los contenidos de arsénico se muestran regulares.

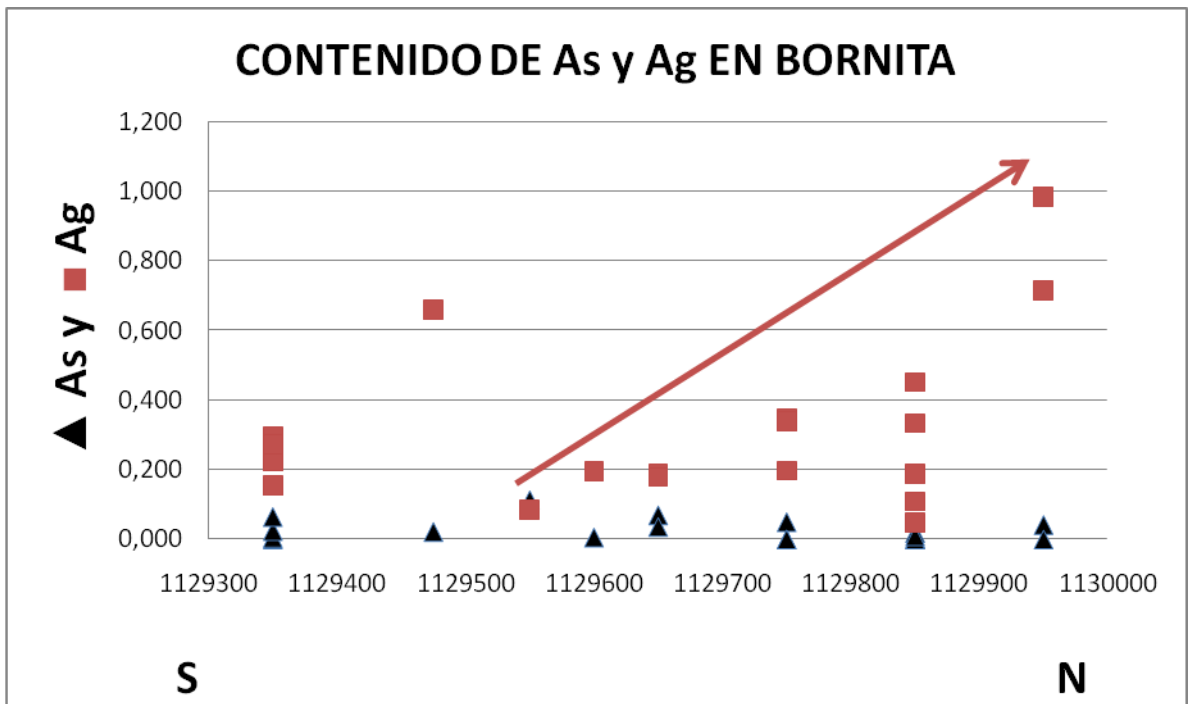


Figura 14: Contenido de ▲Arsénico y de ■ Plata en los cristales de Bornita.

**BORNITA (Cu 63,3 %, Fe 11,2 %, S 25,5 %)**

SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Porcentaje en peso						Contenido cationico					
						Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
1129350	100	955753	231.8	3,97	14	56,94	12,03	29,68	0,153	0	98,8	4,396	1,057	4,54	0,007	0	10
1129350	100	955753	231.8	3,97	15	58,16	11,29	29,97	0,224	0,005	99,65	4,456	0,984	4,55	0,01	0	10
1129350	100	955765	242.1	25,74	16	62,98	10,66	25,99	0,296	0,024	99,95	4,967	0,957	4,061	0,014	0,002	10
1129350	100	955765	242.1	25,74	17	61,68	11,39	26,14	0,156	0,156	99,52	4,869	1,023	4,09	0,007	0,01	10
1129350	112	73215	257.60	18,59	18	64,36	10,37	26	0,274	0,065	101,06	5,032	0,923	4,028	0,013	0,004	10
1129475	142	8122	205.30	11,1	20	62,07	11,97	26,28	0,659	0,022	101,01	4,842	1,063	4,063	0,03	0,001	10
1129550	85	823991	172	155,6	19	61,18	11,88	26,66	0,087	0,113	99,92	4,792	1,059	4,138	0,004	0,008	10
1129600	87	824197	182.10	15,17	1	63,1	11,28	25,25	0,196	0,006	99,83	5,004	1,018	3,968	0,009	0	10
1129650	47	677811	268,15	57,89	10	58,78	12,64	28,77	0,191	0,07	100,45	4,51	1,104	4,374	0,009	0,005	10
1129650	47	677811	268,15	57,89	11	57,95	12,46	29,26	0,179	0,036	99,89	4,449	1,088	4,452	0,008	0,002	10
1129750	45	565494	148.25	18,28	12	63,62	10,36	25,76	0,348	0,05	100,13	5,021	0,931	4,029	0,016	0,003	10
1129750	45	565494	148.25	18,28	13	63,33	10,88	25,9	0,339	0	100,44	4,977	0,973	4,034	0,016	0	10
1129750	48	744054	318.50	29,45	7	62,2	11,99	26,31	0,198	0	100,7	4,856	1,065	4,07	0,009	0	10
1129750	18	519275	79.40	19,65	4	63,74	10,5	25,91	0,452	0,002	100,61	5,007	0,939	4,033	0,021	0	10
1129750	18	519275	79.40	19,65	5	63,35	10,75	26,31	0,334	0	100,75	4,953	0,956	4,076	0,015	0	10
1129850	18	519284	88.20	6,44	8	63,77	10	25,75	0,048	0	99,56	5,053	0,901	4,043	0,002	0	10
1129850	18	519284	88.20	6,44	9	63,71	10,46	25,94	0,11	0,019	100,24	5,013	0,937	4,044	0,005	0,001	10
1129850	18	519290	94.10	20,29	6	63,74	10,54	25,57	0,189	0,009	100,05	5,038	0,948	4,005	0,009	0,001	10
1129950	111A	72340	217.15	6,01	2	61,54	11,11	25,64	0,984	0,042	99,32	4,9	1,007	4,045	0,046	0,003	10
1129950	111A	72340	217.15	6,01	3	63,16	10,8	25,91	0,716	0	100,58	1,49	0,29	1,211	0,01	0	3
<b>Leyenda de colores</b>		Valores anómalos de Cobre															
		Valores anómalos de Hierro															
		Valores anómalos de Azufre															
		Valores anómalos de Plata															
		Valores anómalos de Arsénico															

Tabla 5: Composición química de la Bornita

### CALCOPIRITA (Cu 34,6 %, Fe 30,4 %, S 35 %)

La calcopirita muestra valores consistentes en cuanto a sus elementos mayores, solo un resultado muestra un valor anómalo alto de porcentaje de cobre, el cual se ve reflejado en un valor anómalo bajo en porcentaje de hierro, a su vez este incremento de cobre está acompañado por una disminución en el resultado de azufre (Muestra 955765), en esta misma muestra se da un aumento en el porcentaje de plata. Los valores de los porcentajes en peso de los elementos menores como la plata y el arsénico, son bajos y están por el orden de 0.1% para la plata y 0.08% para el arsénico, aunque también se muestran valores anómalos bajos y altos, estos valores no representan un cambio marcado en cuanto a los contenidos de los elementos mayores.

En la figura 15 se muestra la distribución de arsénico y plata en calcopirita, en esta grafica se muestra claramente como los contenidos de plata disminuyen hacia el Nor-este mientras que los contenidos de arsénico tienen una distribución irregular.

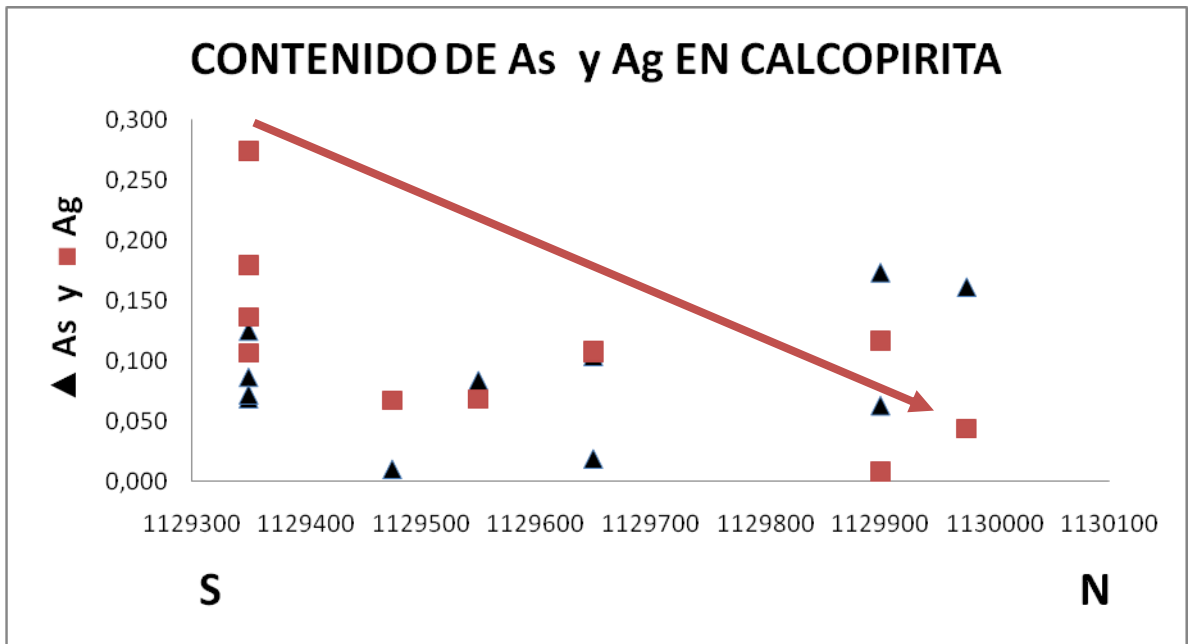


Figura 15: Contenido de ▲Arsénico y de ■ Plata en Calcopirita.

**CALCOPIRITA (Cu 34,6 %, Fe 30,4 %, S 35 %)**

SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Porcentaje en peso						Contenido atomico					
						Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
1129350	100	955753	231.8	3,97	4	34,84	29,08	34,55	0,137	0,125	98,73	1,02	0,969	2,005	0,002	0,003	4
1129350	100	955765	242.1	25,74	1	34,07	29,17	33,91	0,107	0,087	97,34	1,013	0,987	1,997	0,002	0,002	4
1129350	100	955765	242.1	25,74	2	34,82	29	34,46	0,18	0,069	98,53	1,022	0,969	2,004	0,003	0,002	4
1129350	100	955765	242.1	25,74	3	44,13	22,53	31,98	0,275	0,072	98,99	1,324	0,769	1,901	0,005	0,002	4
1129475	142	8122	205.30	11,1	10	35,11	29,64	34,82	0,067	0,01	99,65	1,019	0,978	2,002	0,001	0	4
1129550	85	823991	172	155,6	11	35,26	28,08	35,2	0,068	0,084	98,7	1,029	0,932	2,035	0,001	0,002	4
1129650	47	677811	268,15	57,89	5	34,26	29,07	33,56	0,107	0,019	97,01	1,023	0,988	1,986	0,002	0,001	4
1129650	47	677811	268,15	57,89	6	33,51	29,54	34,1	0,109	0,104	97,36	0,994	0,997	2,004	0,002	0,003	4
1129900	7	468430	96.30	12,99	7	34,66	28,95	34,64	0,117	0,174	98,54	1,016	0,965	2,012	0,002	0,004	4
1129900	7	468430	96.30	12,99	8	34,09	30,35	34,52	0,008	0,063	99,03	0,995	1,008	1,996	0	0,002	4
1130000	113	72601	143.70	1,9	9	34,33	28,44	33,89	0,044	0,161	96,87	1,025	0,966	2,005	0,001	0,004	4
<b>Leyenda de colores</b>		Valores anómalos de Cobre															
		Valores anómalos de Hierro															
		Valores anómalos de Azufre															
		Valores anómalos de Plata															
		Valores anómalos de Arsénico															

**Tabla 6:** Contenido químico de la Calcopirita

### **ESFALERITA (64.06 %Zn, 2.88 %Fe, 33.06 %S)**

La esfalerita o también conocida como blenda, cambia su apariencia según el contenido de hierro, mientras más bajo, su color es acaramelado mientras que si los valores son altos su color es gris plateado y se llama marmatita. La esfalerita presente en las muestras, presenta un color caramelo y esto se vio reflejado en el contenido de hierro que es bastante bajo. Los elementos mayores en la esfalerita son el azufre y el zinc, cuando este zinc muestra valores de 4% por debajo del valor normal que es 64%, es reemplazado por elementos menores como el cadmio, cobre y arsénico y esto se marca muy claramente en la Muestra 955765, las variaciones en el azufre también se reflejan en la disminución del contenido de elementos menores.

**ESFALERITA (64.06 %Zn, 2.88 %Fe, 33.06 %S)**

SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Porcentaje en peso								Contenido atómico							
						Cu	Fe	S	Ag	As	Cd	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Cd	Zn	CatTot
1129000	153	991071	317	28,2	1	0,2	0,4	32	0	0,1	1,8	64	98	0	0,01	1	0	0	0,02	0,97	2
1129000	153	991071	317	28,2	2	0,4	1,1	32	0	0,2	0,9	64	98	0,01	0,03	1,49	0	0	0,01	1,45	3
1129350	100	955765	242.1	25,74	5	2	0,2	33	0	0,2	3,3	60	99	0,03	0	1,02	0	0	0,03	0,92	2
1129750	48	566185	202.40	37,79	3	0,1	0,3	33	0	0	0,7	64	98	0	0,01	1,02	0	0	0,01	0,97	2
1129750	48	566185	202.40	37,79	4	0,1	0,3	34	0	0	0,5	65	100	0	0	1,03	0	0	0	0,96	2
<b>Leyenda de colores</b>		Valores anómalos de Cobre																			
		Valores anómalos de Hierro																			
		Valores anómalos de Azufre																			
		Valores anómalos de Arsénico																			
		Valores anómalos de Cadmio																			
		Valores anómalos de Zinc																			

**Tabla 7:** Composición química de la Esfalerita.

### CALCOSINA (79.85 %Cu, 20.15 %S)

La calcosina es uno de los sulfuros de cobre con mayor contenido de cobre, casi el 79% de este mineral es cobre y las variaciones en su contenido se ven reflejadas en incremento o disminución del otro elemento mayor que es el azufre o de elementos menores como el hierro, la plata o el bismuto, en las muestras 744054 y 519284, se puede observar como los valores anómalos bajos de cobre son sustituidos por un incremento en el contenido de azufre, hierro y bismuto, esto se repite en las muestras 955765 y 8122 aunque en menor cantidad. El caso contrario se da en la muestra 73215 donde se incrementa el contenido de cobre sustituyendo una disminución en el contenido de azufre. Otro elemento menor como la plata se presenta en diferentes cantidades que varían desde 0.06% hasta 0.7%, estos valores de plata no influyen en el contenido de elementos mayores.

La figura 16 muestra como los contenidos de plata aumentan hacia el Nor-este al igual que en la bornita, mientras que en la calcopirita se presenta lo contrario, esto se ve también en los contenidos de arsénico aunque en menor proporción.

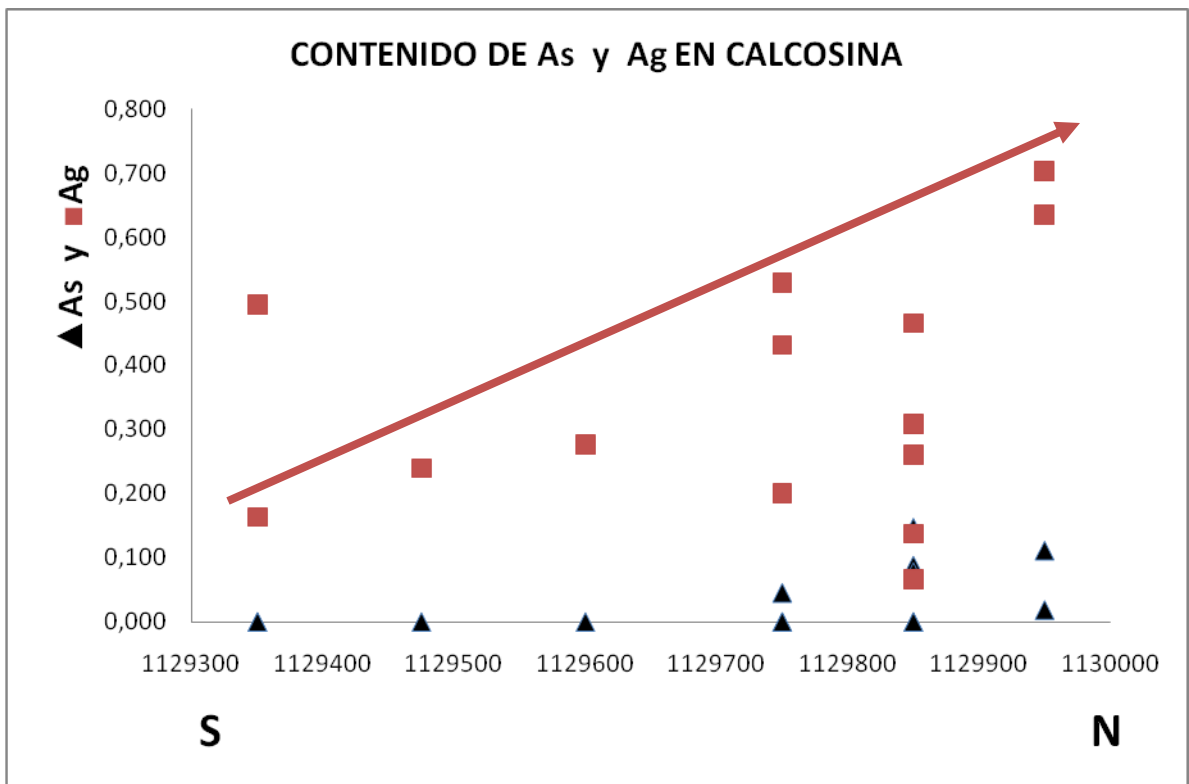


Figura 16: Contenidos de ▲ Arsénico y de ■ Plata en calcosina.

**CALCOSINA (79.85 %Cu, 20.15 %S)**

SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Porcentaje en peso								Contenido atomico								
						Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	CatTot	
1129350	100	955765	242.1	25,74	10	77	0,7	22	0,2	0	0	0	100	1,9	0	1,1	0	0	0	0	0	3
1129350	112	73215	257.60	18,59	11	81	0,2	20	0,5	0	0	0	101	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129475	142	8122	205.30	11,1	12	77	1,1	22	0,2	0	0	0	100	1,9	0	1,1	0	0	0	0	0	3
1129600	87	824197	182.10	15,17	9	79	0,5	21	0,3	0	0	0	100	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129750	45	565494	148.25	18,28	7	79	0	19	0,5	0	0	0	99,5	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129750	45	565494	148.25	18,28	8	79	0,4	20	0,4	0	0	0	99,9	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129750	48	744054	318.50	29,45	4	76	2	22	0,2	0	0	0,4	100	1,9	0,1	1,1	0	0	0	0	0	3
1129750	18	519275	79.40	19,65	1	80	0,1	20	0,5	0,1	0	0	100	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129750	18	519275	79.40	19,65	2	79	0,3	20	0,3	0,1	0	0	101	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129850	18	519284	88.20	6,44	5	76	1,7	22	0,1	0	0	0,3	100	1,9	0	1,1	0	0	0	0	0	3
1129850	18	519284	88.20	6,44	6	79	0,5	20	0,1	0	0	0,2	100	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129850	18	519290	94.10	20,29	3	79	0,3	20	0,3	0,1	0	0,2	100	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129950	111A	72340	217.15	6,01	13	79	0,8	20	0,7	0	0	0	101	2	0	1	0	0	0	0	0	3
1129950	111A	72340	217.15	6,01	14	79	0,7	19	0,6	0,1	0	0	99,7	2	0	1	0	0	0	0	0	3
<b>Leyenda de colores</b>		Valores anómalos de Cobre																				
		Valores anómalos de Hierro																				
		Valores anómalos de Azufre																				
		Valores anómalos de Plata																				
		Valores anómalos de Bismuto																				

**Tabla 8:** Composición química de la Calcosina.

### **TENNANTITA (Cu<sub>12</sub> As<sub>4</sub> S<sub>13</sub>) – TETRAEDRITA (Cu<sub>12</sub> Sb<sub>4</sub> S<sub>13</sub>)**

La tennantita hace parte de los llamados cobres grises, de los cuales también hace parte la tetraedrita que tiene la misma composición química que la tennantita solo que los 4 átomos de arsénico son reemplazados por antimonio.

Los resultados de los contenidos de los elementos mayores muestran los reemplazamientos normales que se dan en los cobres grises, los contenidos de cobre son generalmente bajos y disminuyen hasta un 6% del valor normal aunque estos faltantes de cobre se pueden encontrar en los contenidos de elementos menores como hierro, plata, bismuto y zinc, lo mismo ocurre con los contenidos de azufre que aunque se muestran más consistentes que los de cobre, presenta en la muestra 823991 una significativa reducción en su porcentaje que está representado por un contenido anómalo de telurio. Los resultados de la muestra 955765 presentan un valor anómalo bajo en el contenido de arsénico y un valor anómalo alto en el contenido de antimonio, estos contenidos estarían representando la composición de una tetraedrita.

**TENNANTITA (Cu<sub>12</sub> As<sub>4</sub> S<sub>13</sub>) – TETRAEDRITA (Cu<sub>12</sub> Sb<sub>4</sub> S<sub>13</sub>)**

						Porcentaje en peso										Contenido atomico									
SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
1129000	153	991071	317	28,2	5	42,8	1,02	27,19	0,142	19,13	1,123	0	0	7,24	98,65	10,578	0,277	12,830	0,020	3,863	0,139	0	0	1,676	29
1129000	153	991071	317	28,2	6	43,35	0,91	26,91	0,154	19,63	0,119	0	0	8,2	99,26	10,264	0,244	12,627	0,021	3,943	0,015	0	0	1,886	29
1129350	100	955765	242.1	25,74	7	39,87	0,12	24,33	0,296	6,24	18,56	0,167	0	7,48	97,06	10,443	0,034	12,633	0,046	1,387	2,537	0,013	0	1,905	29
1129350	100	955765	242.1	25,74	8	44,59	0,37	29,8	0,139	5,74	17,44	0	0	0,256	98,33	10,925	0,102	14,469	0,02	1,192	2,23	0	0	0,061	29
1129350	100	955765	242.1	25,74	9	48,51	0,39	31,21	0,084	16,59	2,433	0	0	0	99,21	11,149	0,1	14,212	0,011	3,234	0,292	0	0	0	29
1129550	85	823991	172	155,6	10	42,72	0,6	25,39	0,193	7,56	4,6	7,33	7,38	3,77	99,54	12,38	0,174	7,363	0,056	2,192	1,334	2,126	2,14	1,093	29
1129650	47	677811	268,15	57,89	3	47,42	1,27	31,32	0,068	16,97	1,513	0	0	0	98,71	10,896	0,332	14,261	0,009	3,307	0,181	0	0	0	29
1129650	47	677833	287,50	7,48	4	48,78	0,17	31,51	0	18,58	0,065	0	0	0	99,15	11,118	0,044	14,233	0	3,593	0,007	0	0	0	29
1129750	48	744054	318,50	29,45	1	46,48	0,61	30,38	0,247	14,28	5,68	0,22	0	0	97,89	10,989	0,163	14,233	0,032	2,862	0,7	0,015	0	0	29
1129900	7	468430	96,30	12,99	2	47,84	0,94	31,34	0	16,75	1,377	0	0	0	98,25	11,02	0,251	14,306	0	3,267	0,164	0	0	0	29
<b>Leyenda de colores</b>	Valores anómalos de Cobre																								
	Valores anómalos de Azufre																								
	Valores anómalos de Arsénico																								
	Valores anómalos de Antimonio																								
	Valores anómalos de Bismuto																								
	Valores anómalos de Teluro																								
Valores anómalos de Zinc																									

**Tabla 9:** Composición química de la Tennantita-Tetraedrita.

**COVELINA (66.46%Cu, 33.54%S)**

						Porcentaje en peso					Contenido atomico				
SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot
1129350	100	955753	231.8	3,97	2	66,9	0,6	32,6	0	100,1	1,01	0,01	0,98	0	2
1129550	85	823991	172	155,6	3	70,1	1	27,7	0,46	99,29	7,76	0,12	6,08	0	14
1129650	47	677833	287.50	7,48	1	65,4	0,9	32,4	0	98,71	1	0,02	0,98	0	2
Leyenda de colores		Valores anómalos de Cobre													
		Valores anómalos de Azufre													
		Valores anómalos de Plata													

**TABLA 10:** Composición química de la Covelina.

La covelina presente en estas muestras es producto de reemplazamiento de la calcopirita y a pesar de ello muestra valores normales de una covelina, aunque la muestra 823991 muestra un enriquecimiento en el contenido de cobre y de plata que se refleja en la disminución de el contenido de azufre, esta covelina muestra un color azul más claro que las otras, los contenidos de hierro son bajos pero consistentes entre sí.

## 9. MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS

La microtermometria de inclusiones fluidas se realizo en la sede de Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander UIS, por el geólogo Jairo Conde, para este estudio se escogieron dos muestras con paragénesis similares y a diferente profundidad, estas muestras fueron analizadas microscópicamente con la finalidad de identificar las familias de inclusiones fluidas, para ello se realizo un estudio petrográfico de estas muestras, este estudio revelo que existen dos fases de asociaciones de inclusiones fluidas.

### 9.1 PETROGRAFIA

La muestra 519275 que pertenece al pozo 18 en la sección 9850, presenta dos fases de asociaciones de inclusiones fluidas unas primarias y otra de secundarias, las inclusiones primarias son de tres tipos.

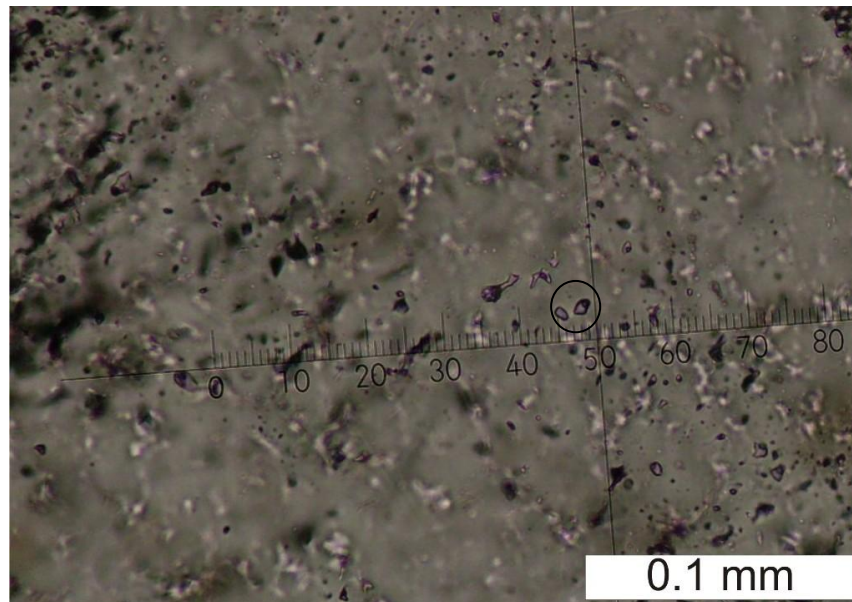
1a: estas inclusiones son bifásicas compuestas por una fase líquido y otra fase vapor, además de polifásicas compuesta por una fase de agua, una fase de CO<sub>2</sub> líquido y CO<sub>2</sub> gaseoso, estas inclusiones son irregulares y los grados de relleno son diferentes para los dos tipos, en las polifásicas la burbuja de vapor de CO<sub>2</sub> ocupa el 5-10% del volumen el CO<sub>2</sub> líquido y el agua ocupan el 5-10% y el 80-90% del volumen de la inclusión respectivamente, mientras que las inclusiones bifásicas tienen un 20% de fase líquida y el 80% restante en fase vapor, estas inclusiones tipo 1a miden entre 1 y 30 µm de largo.

1b: estas inclusiones son bifásicas con una fase líquido y otra vapor, poseen una forma irregular-tabular; presentan grado de relleno F comprendido entre 0,8 y 0.9 en donde la burbuja de vapor ocupa entre el 10-20% del volumen de la inclusión fluida y la fase líquida ocupa el 80-90% del volumen. El tamaño de estas inclusiones oscila entre 1- 30 µm de largo y su forma es irregular.

1c: Formada por inclusiones fluidas de tipo primario, posiblemente bifásicas y polifásicas con una fase líquido, vapor y de sólidos heredados de la pared de la roca encajante, las formas son predominantemente irregulares a ovaladas; el tamaño de estas inclusiones oscila entre 1-3 µm. Estas inclusiones fluidas aparecen asociadas en nubes paralelas a los bordes de zonación del cristal o bordes de crecimiento.

2a: compuesta por inclusiones fluidas de tipo secundario, posiblemente de tipo L, formadas por dos fases: líquido y vapor; poseen formas irregulares a ovaladas. Su

tamaño oscila entre 0,5-25  $\mu\text{m}$ ; estas inclusiones fluidas se presentan asociados en trails transgranulares y en trails localizados entre los límites de grano



**FIGURA 17.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran nubes de inclusiones fluidas pertenecientes a la asociación de inclusiones fluidas 1a. tomado del anexo 4

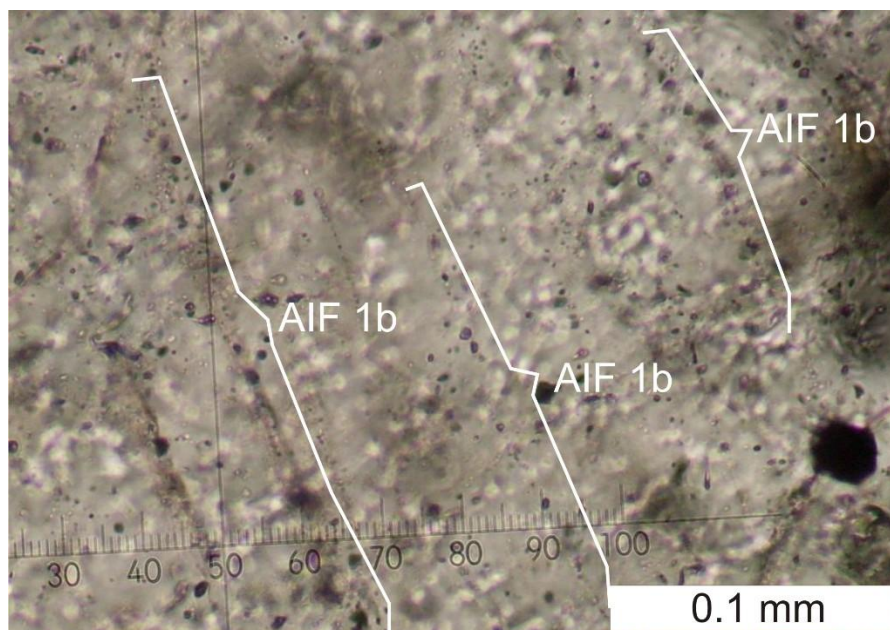
La muestra 823991 que pertenece al pozo 85 de la sección 9550, presenta 3 tipos de asociaciones de inclusiones fluidas, 2 de primer orden y una de segundo orden.

1a: está compuesta por inclusiones fluida primarias de tipo L y G (Nash, 1976), las cuales son monofásicas compuestas por gas y bifásicas formadas por una fase líquida y una fase de vapor. Las formas de estas inclusiones fluidas son predominantemente ovaladas a irregulares; el grado de relleno F varía entre 0,4 y 0,9 en los cuales la burbuja está ocupando entre el 10-60% del volumen de la inclusión y la fase líquida ocupa entre el 40-90% del volumen de la inclusión. Los tamaños de las inclusiones oscilan entre 1 y 30  $\mu\text{m}$ ; se presentan asociadas en nubes irregulares al interior de los cristales.

1b: está compuesta por inclusiones fluidas de tipo pseudosecundario, de tipo L (Nash, 1976), bifásicas compuestas por una fase vapor y una fase líquido, de formas irregulares, con grado de relleno F comprendido entre 0,7 y 0,8 en los cuales la burbuja ocupa el 20-30% del volumen de la inclusión y la fase líquida

ocupa el 80-70% del volumen. El tamaño de estas inclusiones oscila entre 1-12  $\mu\text{m}$ . Se presentan formando trails al interior de los cristales.

2a: Esta compuesta por inclusiones fluidas secundarias de tipo G (Nash, 1976), bifásicas compuestas de líquido y vapor, de formas predominantemente ovaladas. Poseen un grado de relleno  $F = 0,4$  (la burbuja ocupa el 60% del volumen de la inclusión y la fase líquida posee el 40%); el tamaño de esta inclusiones oscila entre 1-11  $\mu\text{m}$  de largo, se presentan asociadas en trails transgranulares.



**FIGURA 18.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran trails de inclusiones fluidas pseudosecundarias pertenecientes a la asociación de inclusiones fluidas (AIF) 1b. Ver anexo 4.

## 9.2 MICROTERMOMETRIA

Para medir inclusiones fluidas se empleó una platina calentadora/enfriadora LINKAM THMS 600 acoplada a unas consolas de control de velocidades y temperaturas LINKAM LNP y TP 94 respectivamente. La tabla 10 muestra los resultados obtenidos en este proceso en el cual se calienta la muestra hasta lograr la temperatura de homogenización, la cual me muestra la temperatura mínima de atrapamiento de las inclusiones, luego se enfría la muestra hasta cerca de  $-180^{\circ}$  centígrados para empezar a descongelar poco a poco la inclusión determinar las temperaturas eutécticas y las temperaturas de fusión final del hielo con lo cual se

obtiene el sistema químico al que pertenece la inclusión y la composición de la misma. Ver anexo 4.

MUESTRA	MINERAL HOSPEDANTE	AIF A LA QUE PERTENECE	TIPO (Nash, 1976)	CLASIFICACIÓN GENÉTICA	FASES	Te (°C)	Tffh (°C)	Th (°C)	HOMOGENIZACIÓN
519275	CUARZO	1a	I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-3,5	245,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-3,5	250,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,9	-3,7	266,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-1,6	257,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-1,6	250,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-47,8	-2,6	227,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-2,6	237,3	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-47,8	-2,6	258,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-2,6	227,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-1,7	252,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,9	-2,6	249,3	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-54,6	-4,1	221,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,7	-2,2	240,2	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,4	-2,6	201,8	L + V → L
823991	CUARZO	1a	I	PRIMARIA	L + V	-52,0		206,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,0		236,8	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-1,8	223,8	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-1,8	303,0	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-4,5	210,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-3,1	223,6	L + V → L
			II	PRIMARIA	L + V	-51,7	-4,2	-	decrepitación a 425,4 °C
			I	PRIMARIA	L + V	-52,8	-4,0	298,9	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,0	-4,3	255,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,3	-1,7	201,4	L + V → L
I	PRIMARIA	L + V	-50,4	-1,7	305,8	L + V → L			

**Tabla 11:** resultados del análisis de microtermometría de las asociaciones de inclusiones fluidas primarias contenidas en las brechas (Te=temperatura eutéctica, Tffh=temperatura final de fusión del hielo, Th=temperatura de homogenización) . En Rojo: Valores más altos de Th. En amarillo: Valores de Th más bajos..

El estudio petrográfico y posterior estudio de microtermometría, permite concluir que las asociaciones de inclusiones fluidas primarias y secundarias contenidas en cristales de cuarzo pertenecientes a agregados inequigranulares indican por lo menos dos eventos de alteración hidrotermal, el primer evento es responsable de la nucleación y crecimiento de los agregados inequigranulares de cuarzo, mientras que el segundo evento fue posterior a la formación de los agregados inequigranulares y utilizó como vías de escape fracturas intercrystalinas presentes en las brechas.

Los paleofluidos responsables de la nucleación y crecimiento de los agregados inequigranulares de cuarzo pertenecían al sistema químico  $H_2O-NaCl-CaCl_2-$

MgCl<sub>2</sub>-KCl-CO<sub>2</sub>, tenían una salinidad comprendida entre 2,90 y 7,17 %wt NaCl Eq; y se encontraban a temperaturas de entre 200-300 °C.

Las inclusiones fluidas primarias se formaron a partir de un fluido heterogéneo compuesto por una fase líquida y una fase vapor.

Estos resultados marcan una diferencia con el depósito de Angosturas en el que se determinaron temperaturas de atrapamiento mínimas de 345°C. Esto tiene implicaciones económicas bastante fuertes si se logra determinar la posición del conducto de los fluidos en el momento del emplazamiento de la mineralización. Claro está que para esto es necesario tener mucha más información sobre las condiciones de los paleofluidos.

Tanto la muestra 519275 como la muestra 823991 presentaron asociaciones de inclusiones fluidas de tipo primario y secundario pero las temperaturas de homogenización y las temperaturas eutécticas son variables lo que marca diferencias en el ambiente de formación y los componentes químicos de los paleofluidos. La muestra 519275 esta a una profundidad de 79 m y espacialmente se encuentra en la zona Nor-Este, esta muestra presento temperaturas de homogenización entre 201,8 – 266,5°C mientras que la muestra 823991 Presento temperaturas entre 201,4 – 305,8°C, esto marca una diferencia en cuanto a los ambientes de formación ya que esta muestra se encuentra a 179 m de profundidad y espacialmente se encuentra ubicada en el límite de la zona suroeste y la zona centro, si observamos la tabla de abundancia relativa de los minerales, podemos ver que en las zonas donde se tiene una mayor presencia de wolframita, se obtuvieron temperaturas más altas que en la zona donde su presencia es menor. Las temperaturas eutéctica y de fusión final del hielo no presentan mayores diferencias entre las dos muestras lo que indica que el paleofluido fue químicamente estable dentro del depósito.

## 10.DISCUSIÓN

Utilizando los porcentajes de abundancia relativa de los minerales, se pudo dividir el depósito en 3 zonas, tomando como parámetro fundamental la aparición de wolframita y esfalerita aunque en la wolframita se evidencia de manera más clara esta división, una primera zona esta hacia el sur-oeste, pasando por la zona central y terminando en la zona nor-este.

La presencia de la Wolframita se evidencia desde El Cuatro (1129000) hasta la zona Centro, con una disminución hacia La zona este (ocurrencia hasta 1129850, no hay ocurrencia desde la sección 1129900 hasta 1129975). Se observa una mayor presencia de Wolframita en la zona Sur-Oeste en la sección 1129350. La ocurrencia de calcosina, calcopirita y tennantita no presenta un patrón de distribución claro dentro del sector de La Mascota, aunque los contenidos son mucho menores en la muestra del sector El Cuatro. La Covelina, Calcosina azulosa y Bornita, son en la mayor parte de los casos, producto de alteración de la Calcopirita.

Los resultados obtenidos en la metalografía muestra que los cristales de oro tipo electrum, están asociados a la Calcosina, Tennantita, Calcopirita, Wolframita, Rutilo y a la Pirita. Este análisis muestra también una tendencia en presencia de minerales. Uno de ellos es la wolframita que se presenta de forma más frecuente entre la zona centro y Sur-Oeste, mientras que en la zona Nor-Este es casi nula su aparición. Otro mineral que también marca una tendencia es la Esfalerita que aparece principalmente en la zona Sur-Oeste, con un porcentaje de hasta de 10,5% (Ver Tabla 3), lo cual muestra un cambio en las condiciones de formación de los minerales. Se observa claramente una disminución de temperatura de sur-oeste a nor-este, pero esto debe ser estudiado a mayor detalle, determinando paragénesis minerales en El Cuatro, para ver si hace parte del mismo evento o si es un evento diferente. Si se toma el rango de temperatura de formación de la wolframita que está en un entre 250 y 400 grados centígrados, (Buhl, JC. &

Willgallis, A.) 1985, se puede decir que el depósito está en una transición de epitermal a mesotermal ya que no se puede encasillar en un solo tipo debido a que las temperaturas se encuentran en el límite de las dos clasificaciones.

Los minerales presentes en las brechas se encuentran asociados básicamente en tres tipos de paragénesis generales, que son:

- Pirita ± Calcopirita ± Wolframita ± Tennantita ± Esfalerita ± Calcosina ± Oro.
- Pirita ± Wolframita ± Tennantita ± Calcosina ± Calcopirita ± Oro.
- Pirita ± Tennantita ± Calcopirita.

Utilizando los contenidos minerales y las características de los cuerpos brechiformes, podemos usar la tabla 12, en la cual se relacionan estas características que permiten determinar un rango de profundidades y sobretodo un sistema geoquímico de formación del depósito. Esta tabla muestra como el depósito del sector de La mascota se puede encasillar en un depósito epitermal ácido de sulfuración intermedia entre 500 y 1000 m de profundidad. (Camprubí y Albinson, 2006).

El análisis de microtermometría de inclusiones fluidas muestra un rango de temperatura entre 200 y 300 grados centígrados que concuerda con las temperaturas mínimas de formación de los minerales mena que se presentan en las paragénesis. Igualmente, la presencia de wolframita puede confirmar la consistencia de los datos ya que ha sido sintetizada en un rango que oscila entre 200 y 400 grados centígrados (Buhl y Willgallis, 1985).

En el depósito de Angostura que pertenece a la compañía GREYSTAR, se realizó un estudio de inclusiones fluidas a más de 300 m de profundidad y dio como resultado temperaturas mínimas de atrapamiento de 345°C lo que habla de condiciones diferentes en los fluidos para los dos depósitos. (Greystar Resources Ltda. 2006).

	Epitermales alcalinos (BS y SI)		Epitermales ácidos (AS)		
<i>Rocas volcánicas relacionadas</i>	Andesitas-riodacitas (AR), riolitas-basaltos bimodales (RB), alcalinas (A)		Andesitas-riodacitas, dominadas por magmas calcoalcalinos		
	Somero	Profundo	Somero	Intermedio	Profundo
<i>Profundidad de formación</i>	0-300 m	300-800 m (muy raro >1000 m)	<500 m	500-1000 m	>1000 m
<i>Contexto; roca de caja típica</i>	Domos; rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, diatremas (AR, A); rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, surgencia central; rocas piroclásticas y sedimentarias	Domos, diatremas; rocas volcánicas	Domo-diatrema; pórfidos, rocas volcánicas y sedimentarias clásticas
<i>Morfología del depósito</i>	Vetas, enjambres de vetas, stockwork, diseminaciones	Vetas, cuerpos brechificados, diseminaciones	Diseminaciones, brechas y vetillas	Vetas de sulfuros masivos, brechas	Diseminaciones, vetillas, brechas
<i>Texturas de las menas</i>	Bandas delgadas, crustiformes, en peine, brechas	Bandas gruesas	Cuarzo oqueroso de reemplazamiento	Sulfuros masivos, vetas o brechas tardías	Reemplazamiento
<i>Alteración</i>	Capa de alunita-kaolinita, halo de arcillas	Arcillas, sericita, carbonatos; roscoelita, fluorita (A)	Silícica (oquerosa), cuarzo-alunita	Silícica (oquerosa), cuarzo-alunita, pirofilita-dickita-sericita	Pirofilita-sericita, cuarzo-sericita
<i>Minerales de ganga</i>	Calcedonia-adularia-illita-calcita	Cuarzo-carbonatos-sericita-adularia ± barita ± anhidrita ± hematites ± clorita (AR)	Alunita, barita, kaolinita	Anhidrita, kaolinita, dickita	Sericita, pirofilita
<i>Sulfuros</i>	Cinabrio, estibina; pirita/marcasita-arsenopirita, seleniuros Au-Ag, sulfosales Se, pirrotita, esfalerita-Fe (RB)	Pirita-sulfuros/ sulfosales Au-Ag, ±esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita/ tennantita (AR)	Enargita/luzonita, covellita, pirita	Enargita/luzonita, calcopirita, tetraedrita/ tennantita, esfalerita, covellita tardía, pirita	Bornita, digenita, calcocita, covellita
<i>Metales</i>	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl (RB), relación Ag/Au baja; metales básicos <0.1-1%	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), relación Ag/Au alta; metales básicos <2-10 (20+) %	Au-Ag, Cu lixiviado (Hg superpuesto)	Cu-Au-Ag-Bi-Te-Sn	Cu-Au
<i>Características notables</i>	Sínter, capa de calcedonia (zona freática)	Algunas vetas de sulfuración intermedia, adyacentes a depósitos de AS	Capa de alteración debida a aguas calentadas por vapor	Cuarzo oqueroso ( <i>vuggy</i> )	Superpuesto a depósitos metalíferos en pórfidos
<i>Fluidos</i>	Incremento de salinidad y temperatura		Incremento de salinidad y temperatura		Variable
<i>Denominación de tipo o subtipo</i>	Baja sulfuración (término extremo)	Sulfuración intermedia			Depósitos metalíferos en pórfidos

**Tabla 12:** Características de los depósitos epitermales ácidos (alta sulfuración) y alcalinos (baja e intermedia sulfuración), en función de la profundidad de formación. Tomado de Camprubi y Albinson. 2006.

## 11.CONCLUSIONES

- Las brechas de la Mascota presentan minerales primarios: (Pirita, Wolframita, Esfalerita, Tennantita-Tetraedrita, Calcopirita, Calcosina), óxidos como el Rutilo y minerales secundarios o de reemplazamiento como Bornita, Covelina.
- El oro libre se presenta de 3 tipos, uno es electrum, el otro está incluido en pirita y calcosina y de forma intersticial en agregados de pirita, la mayor cantidad de oro libre está asociado a pirita, calcosina, tennantita y wolframita.
- Las asociaciones minerales se resumen en tres paragénesis minerales a nivel general que son:  
  
Pirita ± Calcopirita ± Wolframita ± Tennantita ± Esfalerita ± Calcosina ± Oro.  
Pirita ± Wolframita ± Tennantita ± Calcosina ± Calcopirita ± Oro.  
Pirita ± Tennantita ± Calcopirita.
- Se determinaron dos eventos mineralizantes, los cuales también se observaron en microtermometría de inclusiones fluidas, el sistema químico de los paleo-fluidos es  $H_2O-NaCl-CaCl_2-MgCl_2-KCl-CO_2$ , tenían una salinidad comprendida entre 2,90 y 7,17 %wt NaCl Eq; y se encontraban a temperaturas de entre 200-300 °C.
- El depósito del sector de La Mascota es un depósito epitermal ácido de sulfuración intermedia formado en una profundidad entre 500 y 1000m.

## **12.SUGERENCIAS**

- Desarrollar análisis paragenéticos en el sector Sur-Oeste (El Cuatro) y en el sector Nor-Este (La Bodega) con el fin de correlacionar las paragénesis y así establecer las diferencias o similitudes en la mineralización.
- Realizar un completo análisis de microtermometría de inclusiones fluidas con el fin de establecer las temperaturas y sistemas químicos de los paleofluidos mineralizantes
- Es fundamental realizar un trabajo completo de dataciones en la roca caja, las zonas de alteración y en la mineralización no solo del sector de la Mascota, sino en los otros sectores con mineralización diferente con el fin de establecer una relación cronológica en los eventos mineralizantes.
- Realizar un estudio de isotopos estables con el fin de establecer las condiciones de formación de los fluidos mineralizantes de los depósitos del municipio de California en Santander.

### 13. BIBLIOGRAFIA

Aceros, C y Castellanos, A. (1993). Estudio geológico y metalogenético de la mina Barbacoa, Municipio de California Santander. Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

Camprubí et al. (2003) Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVI, Num 1, pp. 10-18.

Camprubí, A. y Albinson, T. (2006) Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la sociedad geológica Mexicana. Tomo LVIII, Núm. 1. pp. 27-81.

Díaz L. y Guerrero M. (2006). Asociaciones Mineralógicas de las Menas Auroargentíferas y su Distribución Espacial en el Yacimiento de Angostura (California Santander) Tesis de grado (Geólogo) Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

Mantilla, L. et al. (2009), geocronología U-Pb de los cuerpos porfíricos del distrito aurífero de Vetas-california (dpto de Santander, Colombia). Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología. Vol. 31 No 1. pp. 31-43.

Mathur et al. (2002). Re–Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. Journal of south American Earth Science, No. 15. Pp 3-52

Mendoza, H. et al. (1979) Geología y geoquímica del área de California, Santander. Boletín Geológico Ingeominas. Vol. 22, pp. 3-52.

Polania, J. (1982) Mineralizaciones de uranio y otros metales en California, (Santander del Sur). Geología Norandina. No. 6. pp. 57-65.

Shaw, R. (2000). Gold mineralization in the Northern Andes: Magmatic Vs Metallogeny. XI International Mining Congress, Bogota, Colombia.

Ward, D. et al. (1973). Geología de los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamentos de Norte de Santander Y Santander. U.S Geological survey, Ingeominas. Boletín geológico, vol. 21 No. 1-3.

Willgallis, A. and Buhl, J. (1984). On the hydrothermal synthesis of wolframite. Institut für Mineralogie, Freie Universität Berlin. Chemical Geology. Vol. 48, pp. 93-102.

[www.ventanagoldcorp.com](http://www.ventanagoldcorp.com). Consultada Mayo 11 de 2010.

[www.smenet.org/opaque-ore](http://www.smenet.org/opaque-ore). Consultada Diciembre a Abril de 2010.

[www.greystarresources.com](http://www.greystarresources.com) consultada Mayo 11 de 2010.

## **14. ANEXOS**

Anexo 1. Descripción macroscópica de las muestras seleccionadas.

Anexo 2. Metalografía de las secciones pulidas.

Anexo 3. Resultados de análisis de Microsonda electrónica EMPA.

Anexo 4. Trabajo de microtermometría de inclusiones fluidas.

Anexo 5. CD Rom con presentación e informe.

**ANEXO 1**

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

## RESUMEN

Cumpliendo con la metodología de trabajo propuesta en el plan de proyecto se desarrollo la fase campo y parte de la primera etapa de la fase de laboratorio siguiendo las instrucciones de los tutores. En la fase de campo se escogieron las muestras que se van a utilizar en los análisis de petrografía y Microsonda electrónica, estas muestras se escogieron según las características definidas en reunión previa con el director del proyecto, las muestras fueron descritas macroscópicamente y se enviaron para el laboratorio que realiza las secciones delgadas pulidas. Este informe muestra fotografías de las muestras y una descripción de ellas, a su vez describe la metodología de recolección de muestras utilizada por la compañía.

## **FASE DE CAMPO**

### **RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE TRABAJO.**

El día 9 de octubre se realizó la primera visita a campo junto con el director (Carlos García) en la cual se llevó a cabo una reunión con los consultores de la compañía en esta reunión quedaron establecidos los parámetros bajo los cuales se trabajó, parámetros que se siguieron para la escogencia de las muestras, estos parámetros son:

1. Trabajar solamente dentro de las brechas mineralizadas.
2. Escoger muestras con mayor contenido de sulfuros de cobre en asociación con sulfuros de hierro.
3. Que las muestras tengan un buen tenor de oro.
4. Que se tomen de zonas que no estén afectadas por fallas.

A su vez en esta reunión se escogieron las secciones de las cuales se tomaron las muestras, estas secciones son:

ZONA	SECCION	POZO
ZONA SUR-OESTE	1129000	153
	1129350	100-112
ZONA CENTRO	1129450	94
	1129475	142
	1129550	85
	DP 36	113
	1129650	47
	1129750	45-48
ZONA NOR-ESTE	1129850	18
	1129900	7
	1129950	111A
	DP 45	87

Después de delimitar las zonas de interés mediante la revisión de los tenores de oro se escogieron las siguientes muestras de los pozos seleccionados, estas muestras son:

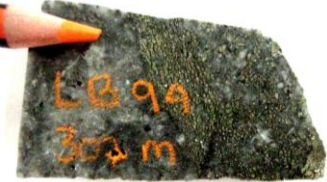
SECCION	POZO	MUESTRA	PROF (m)	Au g/Tn
1129000	153	991071	317	28,2
1129350	100	955753	231.8	3,97
1129350	100	955765	242.1	25,74
1129350	100	955758	235.9	2,73
1129350	112	73215	257.60	18,59
1129450	94	939608	306.70	18,68
1129475	142	8122	205.30	11,1
1129550	85	823991	172	155,6
DP 45	87	824185	171.60	20,61
DP 45	87	824197	182.10	15,17
1129650	47	677811	268,15	57,89
1129650	47	677833	287.50	7,48
1129750	45	565494	148.25	18,28
1129750	48	566185	202.40	37,79
1129750	48	744054	318.50	29,45
1129750	48	744064	327.60	7,99
1129850	18	519275	79.40	19,65
1129850	18	519284	88.20	6,44
1129850	18	519290	94.10	20,29
1129900	7	468430	96.30	12,99
1129950	111A	72340	217.15	6,01
DP 36	113	72601	143.70	1,9


## DESCRIPCION DE MUESTRAS


Después de seleccionar las muestras, se realizó una descripción macroscópica general en la cual se pudo determinar presencia de minerales en cada muestra para la toma de los análisis, en esta parte se corrobora si cada muestra cumplía o no con los parámetros de selección establecidos.



SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129350	100	955753 PROF: 231.8m		8.6	Las muestras de estos pozos presentan mayor contenido de sulfuros de cobre y la pirita se presenta en forma masiva. El contenido de pirita supera en gran parte el de sulfuros de cobre, en la parte más somera del pozo 100 se observa una mancha roja que obedece a contenido de hematita que pudiera presentarse como oxidación de la pirita o como hematita hipogénica, la muestra del pozo 112 presenta dos eventos de sílice con contenido de pirita diferentes y una de estas fases de pirita contiene cristales de sulfuros de cobre posiblemente covelita.
	100	955765 PROF: 247.30m		8.6	
	100	955758 PROF: 233.30m		8.6	
	112	73215 PROF: 257.60m		12.26	

SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129000	153				Esta muestra fue seleccionada de la sección más al sur de la brecha y muestra una clara diferencia en el contenido de sulfuros con las muestras más centrales pues mientras hacia el centro se observan sulfuros de cobre y de hierro, en esta parte de la brecha se pueden ver sulfuros de zinc (esfalerita), esto marca una diferencia en cuanto a las fases de mineralización y transporte de los metales, la pirita se observa bordeando los cristales de esfalerita y formando aparentes halos de mineralización.

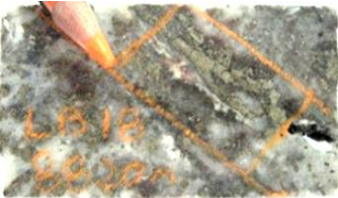
SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129450	94	939608 PROF: 307m		10.97	La muestra del pozo 94 presenta agregados masivos de pirita que esta diseminada en la matriz silicea, aunque esta pirita no se presenta como un cristal definido, si está marcando un límite entre dos fases de sílice (como lo muestra la figura), esta segunda fase de sílice no presenta mayor contenido de pirita aunque muestra unas manchas negras que pudieran pertenecer a sulfuros de cobre pero no se pueden determinar en muestra de mano.


SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129475	142				La muestra del pozo 142 presenta una gran diferencia en cuanto a la muestra del pozo 94 pues si bien en esta se presenta pirita diseminada, la pirita está siguiendo trazos diferentes y delgados que se intercalan con trazos igualmente gruesos de sílice. Los cristales de sulfuros de cobre son más pequeños y pudieran estar en paragénesis con la pirita diseminada. Se observan oquedades de diferente tamaño que están rellenas de material más oscuro.


SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129550	85	823991 PROF: 171m		81.08	En esta muestra se observa gran cantidad de pirita que esta envolviendo cristales de cuarzo de tonalidad oscura, esta pirita también se encuentra relleno de cavidades, no se observan sulfuros de cobre pero si unas vetillas de color gris oscuro que pudiera ser agregados masivos de granos muy finos. Se observan también venas de cuarzo de tonalidad más clara de eventos posteriores.


SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129650	47	677833 PROF: 287.5m		16.12	En este pozo se pueden observar dos mineralizaciones de diferente textura pero de igual contenido, la parte más somera muestra un contacto entre la pirita diseminada y restos de la roca encajante (neis) así como cristales de sulfuros de cobre, mientras que en la parte más profunda se puede observar una mezcla de pirita diseminada y sílice de diferentes tonalidades.
	47	677811 PROF: 268m		21.98	


SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129750	48	744064 PROF: 327.60m		16.81	En las muestras del pozo 48 se pueden observar diferentes contenidos de pirita que en la parte más somera del pozo se presenta como vena mientras que en la parte más profunda se presenta en forma masiva, tanto en la parte somera como en la profunda se presentan sulfuros de cobre en mayor cantidad que en las muestras anteriores, la sílice presente en estas muestras esta en forma irregular y englobada por la pirita u por los otros sulfuros presentes, la muestra del pozo 45 presenta las mismas asociación mineral que las muestras de la parte más profunda del pozo 48.
	48	744054 PROF: 318.50m		92.86	
	48	566185 PROF: 202.40m		37.79	
	45	565449 PROF: 148.25m		11.22	
SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129850	18	519274 PROF: 81m		14.56	En las muestras del pozo 18 se observa un gran contenido de sulfuros de cobre y hierro embebidos en una matriz de sílice, en la parte más profunda del pozo se observa a la pirita en agregados masivos y en cristales mas definidos que en la parte somera donde la pirita está mezclada con la sílice y otros sulfuros de cobre, en las tres muestras se observan cavidades
	18	519289 PROF: 94m		11.48	

	18	519284 PROF: 88.20m		7.16	de diferentes tamaños.
--	----	---------------------------	--	------	------------------------

SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129900	7	468429 PROF:96m		10.65	Esta muestra presenta sulfuros de hierro y cobre que se encuentran embebidas en una matriz sílicea propia de la brecha, esta muestra al igual que las anteriores presenta un vetilleo de tonalidad oscura que tiene apariencia de sulfuros de cobre diseminados en sílice.

SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
1129950	111A	72340 PROF: 217.15m		18.94	La muestra de este pozo presenta menor contenido de sulfuros que las anteriores, aunque la pirita que se encuentra esta diseminada en toda la muestra, la sílice presente esta en diferentes tonalidades y en forma de vetillas que cortan la sílice propia de la brecha, esta muestra al igual que la mayoría presenta cavidades rellenas de pirita o sílice.

SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
DP36	113	72601 PROF: 143.70m		17.96	Esta muestra es muy similar a las muestras de los pozos anteriores en cuanto a que la pirita presente esta diseminada en toda la muestra en tamaños de grano muy fino dispersados en la sílice que presenta diferentes tonalidades, la diferencia de esta muestra con las anteriores es que tiene unas venas de hasta 2 mm de espesor de pirita muy fina y otros cristales más oscuros que pueden ser sulfuros de cobre.

SECCION	POZO	MUESTRA	FOTO	TENOR g/Tn	DESCRIPCION
DP45	87	824197 PROF: 182.10m		23.21	Estas muestras a diferencia de las anteriores presentan menor contenido de sulfuros de cobre que en la parte más central de la brecha se observan con más frecuencia, la muestra más somera presenta residuos de la roca encajante que también tiene pirita diseminada, al igual que las anteriores se observan diferentes tonalidades de sílice.
	87	824134 PROF: 121.60m		5.35	

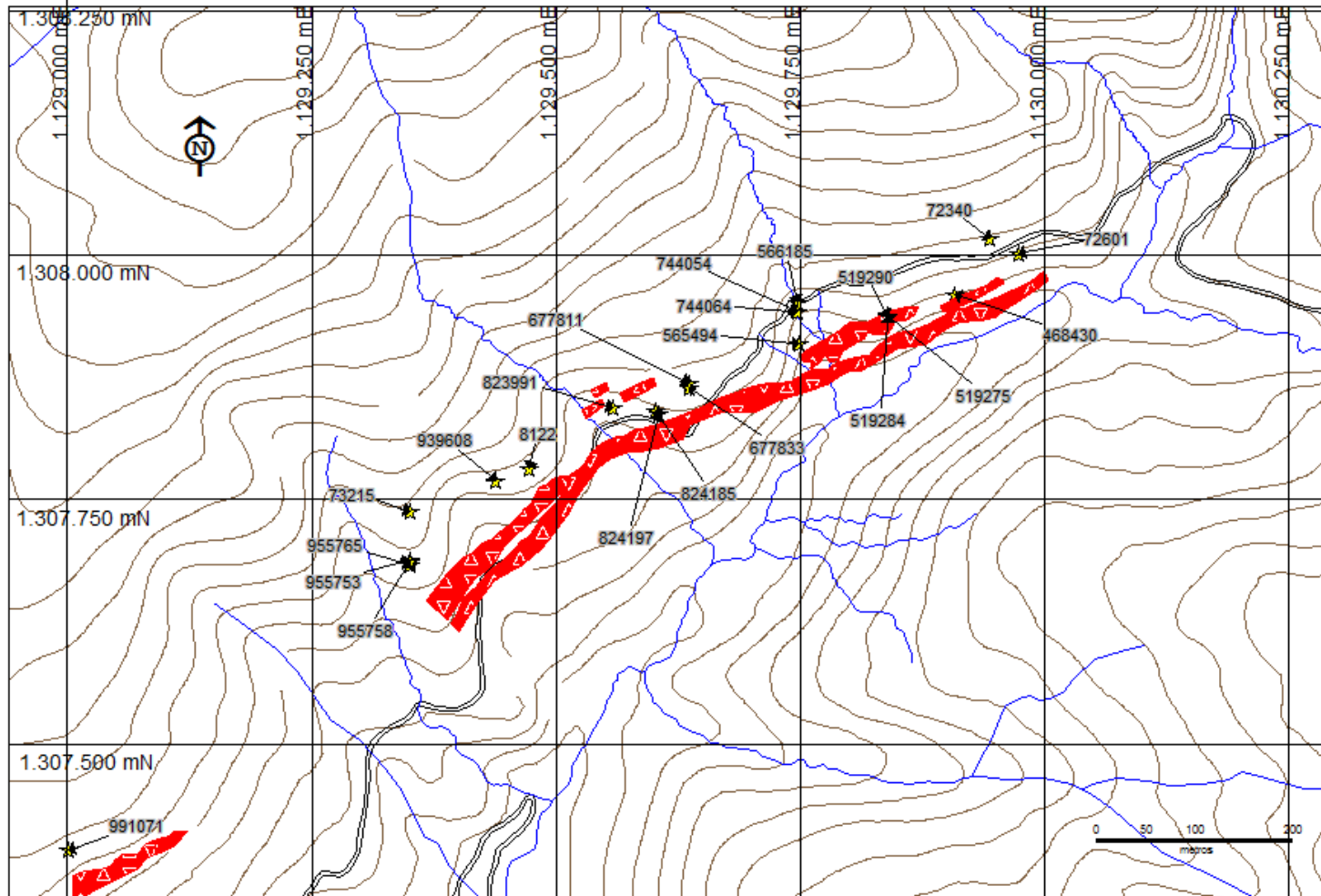
## CONCLUSIONES

- Las muestras seleccionadas cumplen con los parámetros definidos con el director y los codirectores.
- Los contenidos de sulfuros de cobre se hacen más abundantes en la parte central de la brecha y los sulfuros de otros metales como el zinc, se presentan más hacia el sur.
- No se observó oro tipo electrum o libre.
- El sulfuro más abundante en las muestras seleccionadas es la pirita que se encuentra diseminada, en agregados masivos o en forma cristalina.
- La sílice presente muestra diferentes tonalidades que van de colores más claros a grises muy oscuros, lo que puede obedecer a diferentes fases de formación de sílice.

# **ANEXO 2**

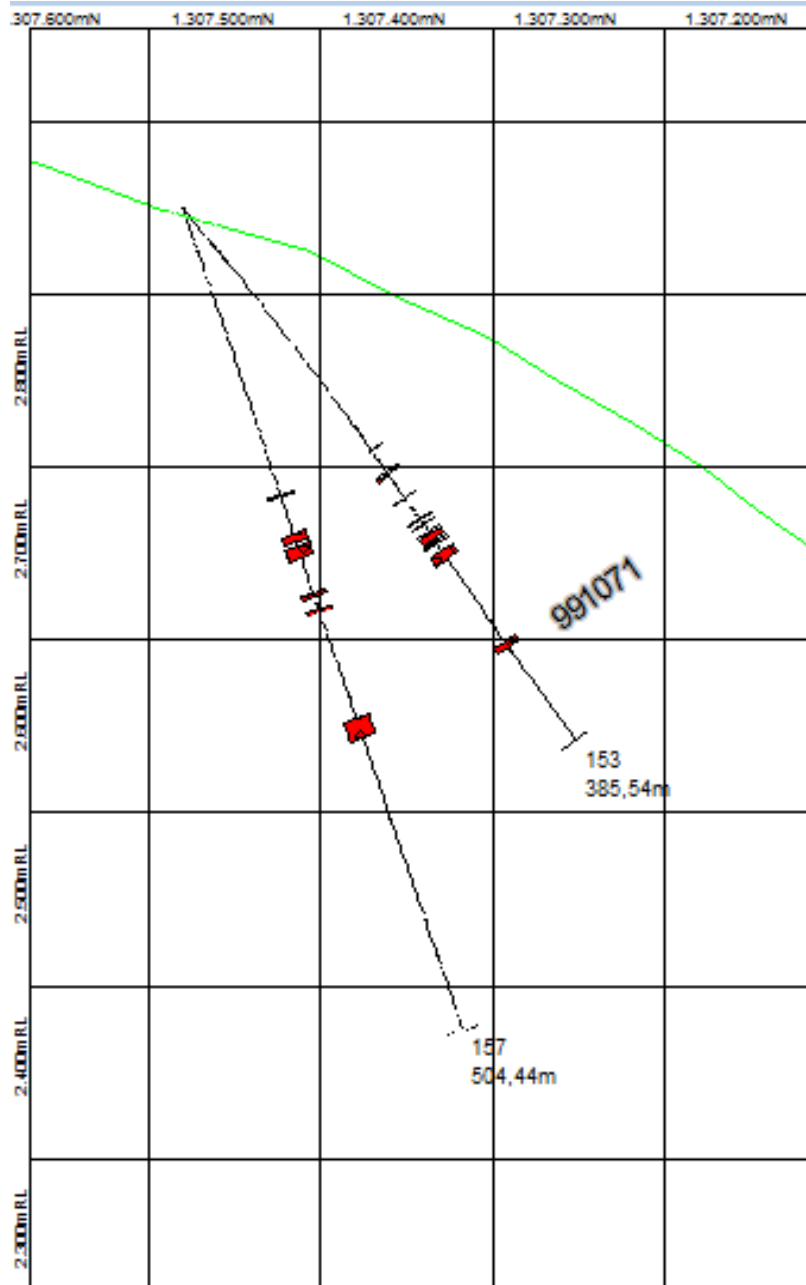
# **METALOGRAFIA**

## DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS MUESTRAS



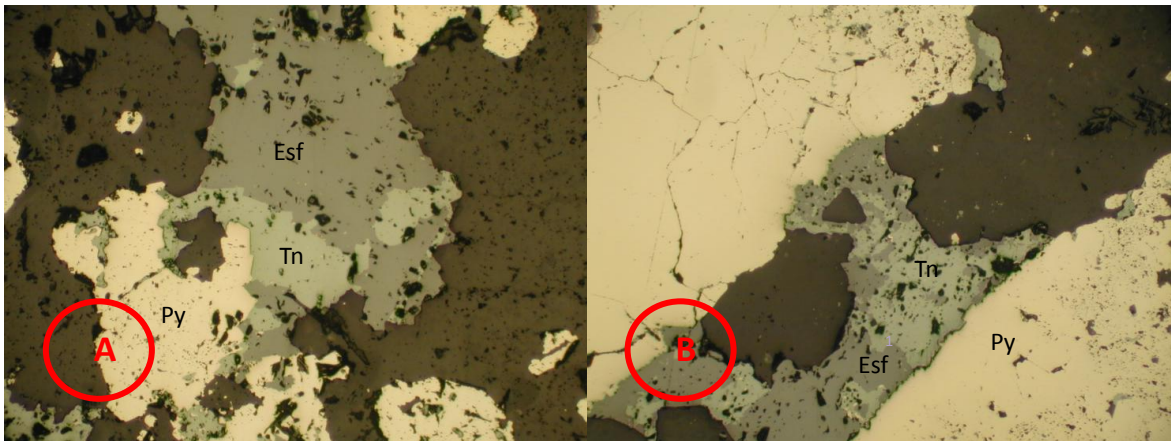
Distribución espacial de muestras tomadas en la Brecha de la Zona de La Mascota. En rojo se muestra la distribución general de la brecha proyectada en superficie con base en las correlaciones a la fecha de inicio del estudio. Las estrellas amarillas corresponden a las muestras tomadas a diferentes profundidades dentro de los pozos en las intersecciones con la brecha

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD MUESTRA 991071



1129000. Muestra 991071 en pozo LB153. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 01. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceea. Muestra 991071. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 10X.**



Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Tn: Tennantita

**Minerales traslucidos (70%):** Agregados cristalinos de cuarzo y sericita producto de la alteración de pequeños cristales de plagioclasa, el cuarzo ocurre como cristales idiomorfos de tamaño fino con caras definidas y rectas que se encuentran embebiendo a los minerales mena formando una matriz constituyendo el 70% del total de la muestra.

### **Minerales opacos (30%)**

**Pirita (18%):** Se presenta como cristales individuales en forma de piritohedros y en ocasiones en forma hexagonal de tamaño de grano 76  $\mu\text{m}$  por 190  $\mu\text{m}$  de color amarillo claro intenso con bordes definidos y rectos que se redondean en los vértices de las caras, estos están embebidos en la matriz de sílice y rara vez están en contacto con otros sulfuros y como agregados amorfos en masas grandes de hasta 1.5 mm de espesor, de color amarillo claro intenso, con bordes redondeados, estos agregados se presentan también en forma de venas de 3mm de espesor que están en contacto con otros sulfuros, también es posible encontrarla en franjas muy finas sin una orientación predominante. La pirita aunque muestra dos formas diferentes, es de una misma generación.

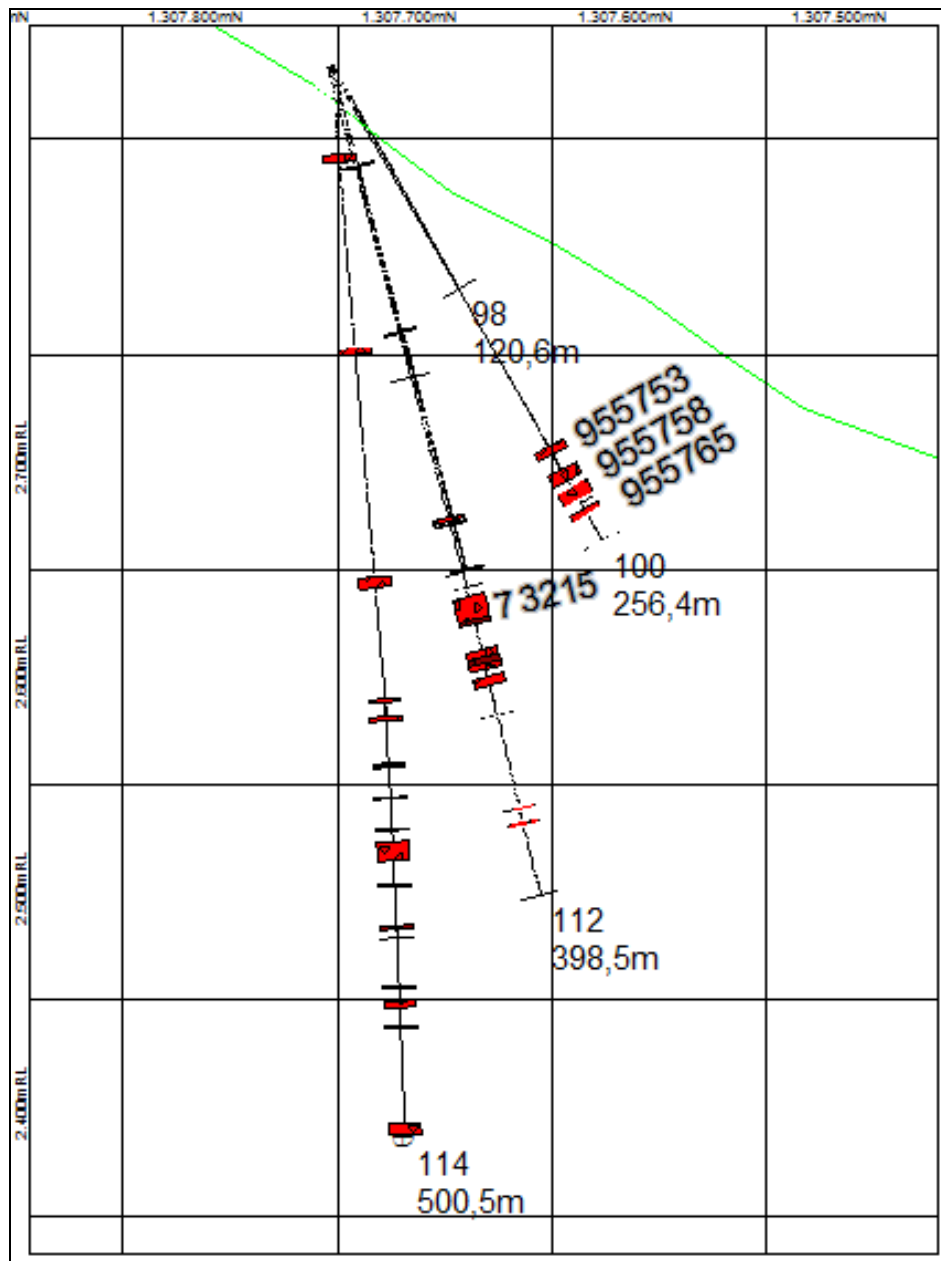
**Esfalerita (10,5%):** Agregados amorfos que varían de tamaño desde 95  $\mu\text{m}$ , hasta más de 2 mm, de color violeta, con bordes irregulares y cavidades que están siendo rellenas por cuarzo y pirita, la esfalerita se encuentra intercrecida con la tennantita mostrando contactos netos, los contactos con la pirita son netos también.

**Tennantita (1,2%):** Se presenta en cristales anhedrales de tamaño 190  $\mu\text{m}$  de ancho por 570  $\mu\text{m}$  de largo, de color gris claro de baja intensidad que se encuentran en intercrecimiento con los agregados de esfalerita, este sulfuro presenta bordes redondeados y los contactos con la pirita son netos.

**Wolframita (0,3%):** Individuos euhedrales de forma fibrosa de color gris claro y rojizo con nicoles cruzados, con un tamaño de 95  $\mu\text{m}$  de ancho por 380 de largo, estas fibras llegan a agruparse en agregados fibrosos pequeños que se encuentran en la matriz, aunque unos pocos cristales están en contacto neto con los otros sulfuros.

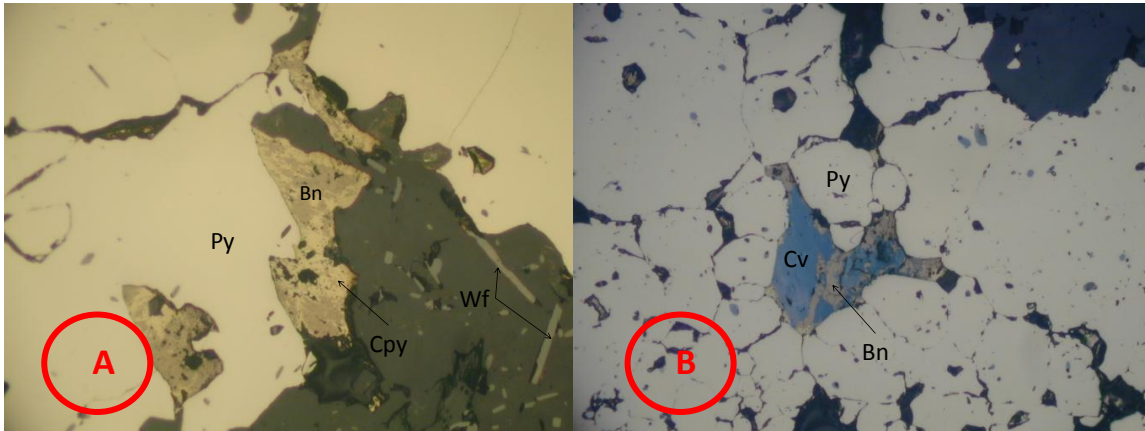
- **Paragénesis 1: Pirita + Esfalerita + Tennantita + Wolframita**
- **Paragénesis 2: Pirita + Esfalerita + Tennantita**

**UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS 955753, 955758, 955765, 73215.**



Sección 1129350. Muestras 955753, 955765, 955758 en pozo LB100; 73215 en pozo LB112. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 02. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 955753. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 20X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cv: Covelina, Wf: Wolframita, Cpy: Calcopirita.

**Minerales traslucidos (55%):** agregados cristalinos de cuarzo de cristales pequeños que pueden llegar a ser fibrosos, producto de alteración de un poco de plagioclasa presente se encuentra sericita en fibras de menor tamaño que el cuarzo. El cuarzo también se observa incluido en los cristales de pirita.

### **Minerales opacos (45%)**

**Pirita (35%):** se observan dos tipos morfológicos de pirita, la primera se presenta como cristales anhedrales a euhedrales con tamaños que varían desde 50  $\mu\text{m}$  hasta 693  $\mu\text{m}$  con bordes definidos y formas que varían entre los piritohedros, cúbicos y hexagonales, mientras que por otra parte se observan agregados cristalinos amorfos de gran tamaño que pueden llegar a medir 3 a 4 mm, las dos formas de pirita muestran un color amarillo claro homogéneo.

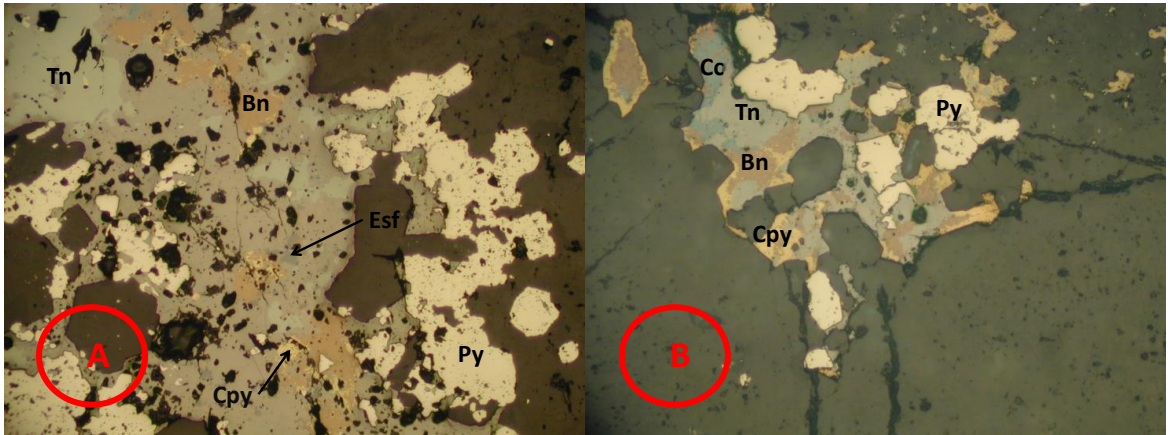
**Wolframita (9.5%):** Individuos alargados que de tamaño variable siendo la más grande 148  $\mu\text{m}$  de largo por 50  $\mu\text{m}$  de ancho, de color gris claro y rojizo en nícoles cruzados, forman también agregados fibrosos, los bordes son bien definidos, la

wolframita se encuentra principalmente en la matriz de sílice aunque en pocas ocasiones se presenta intercrecida con pirita. Ver fotografía 02 A.

**Calcopirita (0.5%):** se presenta en individuos subhedrales a anhedrales con bordes irregulares, el tamaño es de 99  $\mu\text{m}$  de ancho por 160  $\mu\text{m}$  de largo, el color amarillo quemado de baja intensidad, esta calcopirita se encuentra reemplazada de adentro hacia afuera por bornita de color rosado opaco y covelita de color azul claro y su contacto con la pirita es neto.

➤ **Paragénesis: pirita + wolframita + calcopirita**

**Fotografía 03. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 955765. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 20X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Cpy: Calcopirita, Tn: Tennantita, Esf: Esfalerita.

**Minerales traslucidos (75%):** Cuarzo producto de dos generaciones, el primero se presenta como agregados cristalinos euhedrales de buen tamaño con bordes definidos y rectos, mientras que el segundo es de un tamaño muy fino con bordes irregulares, sumado al cuarzo también se observan pequeños agregados de sericita de origen hidrotermal aunque pudieran ser producto de reemplazamiento total de algunos pequeños cristales de plagioclasa.

### **Minerales opacos (25%)**

**Pirita (12%):** se presentan en dos generaciones. Pirita 1: ocurren como agregados cristalinos relleno una vena de 3 mm de espesor, los bordes son redondeados, presenta inclusiones de cuarzo y está en contacto neto con tennantita, calcosina, calcopirita y bornita. Pirita 2: esta se encuentra como agregado cristalino relleno una vena de 148  $\mu\text{m}$  de espesor, los bordes son irregulares y está en contacto con cristales alargados de calcopirita reemplazada por bornita, esta pirita al igual que la pirita 1 es de color amarillo claro intenso. Una tercera se presenta como individuos anhedrales a subhedrales de tamaño que varían entre 100 y 400  $\mu\text{m}$ , con bordes irregulares a redondeados.

**Calcosina (6%):** se presenta como agregados cristalinos relleno de venillas junto con la pirita 1 de unos 300 a 400  $\mu\text{m}$ , de color gris claro a violeta grisáceo de baja intensidad con bordes irregulares, la calcosina también se observa como reemplazamiento de calcopirita.

**Tennantita (3%):** al igual que la calcosina se encuentra relleno de venillas con la pirita 1, estos agregados amorfo miden unos 300  $\mu\text{m}$  de espesor, de color gris claro y bordes irregulares, esta tennantita se presenta en intercrecimiento con la calcosina, su contacto con la pirita es neto.

**Wolframita (1.5%):** se presenta como cristales fibrosos dispersados en la matriz de sílice de color gris claro y con un tamaño de (1.5cm en el visor a 10x) de largo por 50  $\mu\text{m}$  de ancho, estos cristales llegan a formar agregados fibrosos que están en contacto con los individuos cristalinos de pirita.

**Calcopirita (1%):** se encuentra de dos formas, la primera como agregados cristalinos que se encuentran relleno de venillas junto con las dos generaciones de pirita, con bordes irregulares y un tamaño que varía entre 200 y 300  $\mu\text{m}$ , el color es amarillo quemado de baja intensidad. Otra forma es en individuos anhedrales con bordes redondeados de unos 50  $\mu\text{m}$ , de color amarillo quemado. dispersos en la matriz de sílice,

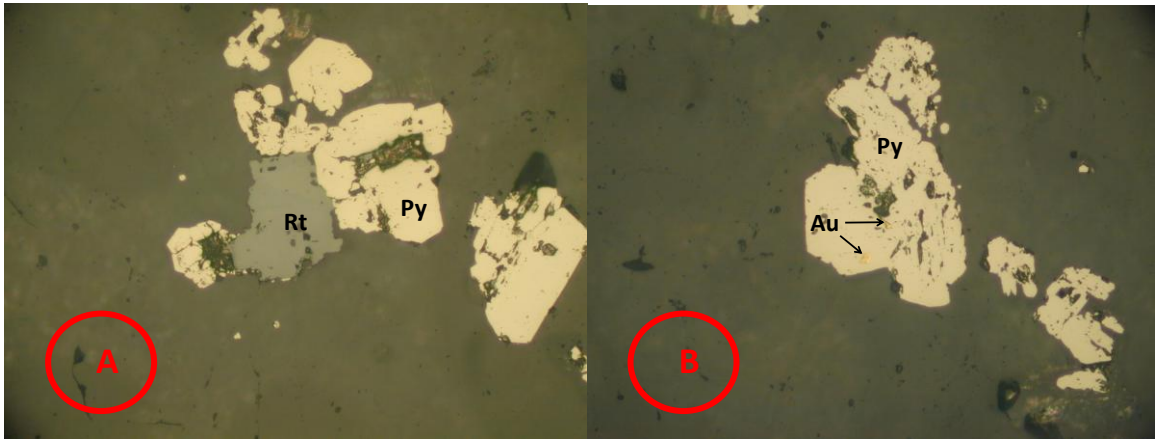
**Esfalerita (0.3%):** se encuentra en agregados amorfo que están en intercrecimiento con tennantita y calcosina, su tamaño alcanza unos (0.5 cm en el visor de 10x), los bordes son irregulares y su color es violeta oscuro.

**Bornita (0.8%):** Su color es rosado oscuro. Se presenta reemplazando la calcopirita, este reemplazamiento se da del centro hacia el borde de la calcopirita mostrando en los bordes residuos de calcopirita.

**Covelita (0.4%):** se presenta al igual que la bornita como producto del reemplazamiento de la calcopirita, reemplazando de adentro hacia afuera con un color azul rey que aun deja ver en los bordes el amarillo de la calcopirita.

- **Paragénesis 1: pirita1 + calcopirita + calcosina + tennantita + esfalerita.**
- **Paragénesis 2: pirita2 + calcopirita + tennantita + calcosina**
- **Paragénesis 3: pirita1 + wolframita**

**Fotografía 04. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 955758. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 20X.**



Py: Pirita, Rt: Rutilo, Au: Oro

**Minerales traslucidos (75%):** se observa dos generaciones: Cuarzo1: es de grano muy fino con bordes definidos y contactos netos, este cuarzo está asociado a agregado fibrosos de sericita. Cuarzo 2: mide entre 100 Y 150  $\mu\text{m}$  de ancho, este se encuentra formando una vena, bordeando esta vena podemos observar agregados de pirita..

#### **Minerales opacos (25%)**

**Pirita (24%):** se presentan dos generaciones. Pirita1: agregados amorfos de color amarillo claro homogéneo e individuos hexagonales, cúbicos y en piritohedros de hasta 300  $\mu\text{m}$ , con bordes definidos y rectos de color amarillo claro. Pirita2: esta pirita esta en agregados cristalinos que se encuentran bordeando una potente vena de cuarzo de 3 mm de espesor y otras venas paralelas, esta pirita muestra bordes irregulares con contactos netos con el rutilo el color es amarillo claro intenso.

**Rutilo (0.7%):** individuos euhedrales y anhedrales de (1cm en el visor de 10x) de color gris en nícoles paralelos y marrón oscuro en nícoles cruzados con bordes

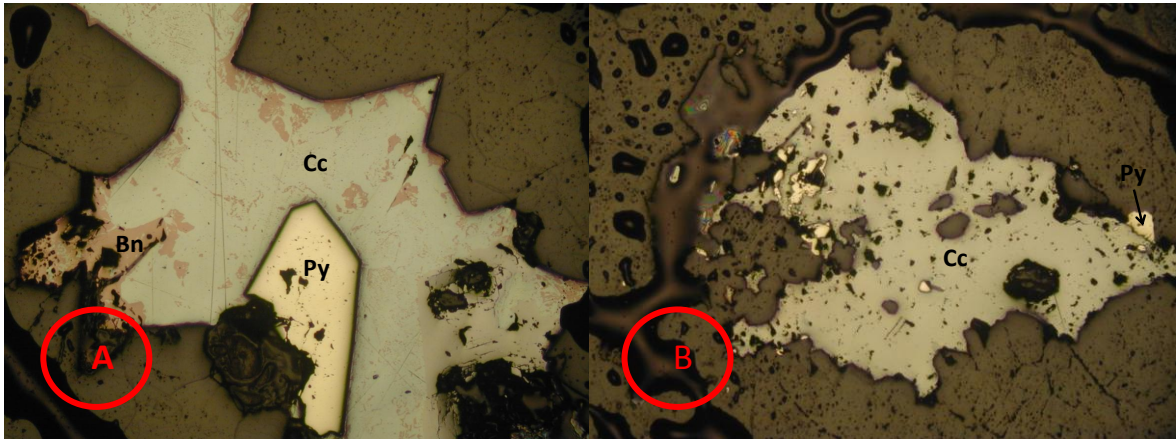
definidos y rectos, los individuos euhedrales están en contacto neto con la pirita y con el oro1.

**Wolframita (0.2):** individuos euhedrales fibrosos de 300  $\mu\text{m}$  de largo por 50  $\mu\text{m}$  de ancho, de color gris en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, este mineral está en contacto neto con la pirita 2.

**Oro (0.1%):** se presenta en dos formas, Oro1. es granular de 30  $\mu\text{m}$  por 50  $\mu\text{m}$  de color amarillo dorado con bordes redondeados en contacto neto con la pirita2. Oro2: es de color amarillo intenso y se presenta incluido en la pirita1, como cristales anhedrales muy finos.

- **Paragénesis 1: pirita2 + rutilo + oro1 + wolframita.**
- **Paragénesis 2: pirita1 + rutilo**

**Fotografía 05. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 73215. Nícales paralelos. Aumento: A) 5X. B) 5X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina.

**Minerales traslucidos (80%):** Agregados de cuarzo de dos generaciones. Cuarzo1: este se presenta en agregados cristalinos de (2cm en el visor de 5x) de grande, con bordes definidos y rectos relleno venillas que contienen pirita. Cuarzo2: se presenta relleno venas posteriores que cortan perpendicularmente a las venas del cuarzo1 con tamaño muy fino, estas venas no presentan pirita en la misma cantidad que las venas de cuarzo1, pero presenta mayor cantidad de calcosina.

### **Minerales opacos (20%)**

**Pirita (15%):** hay dos generaciones de pirita. Pirita1: esta se presenta en agregados cristalinos con bordes irregulares relleno venillas de diferentes tamaños, el color es amarillo claro intenso y sus contactos con la calcosina son netos. Pirita2: individuos subhedrales y agregados cristalinos con bordes definidos que se encuentran relleno venillas que cortan las venillas de pirita1.

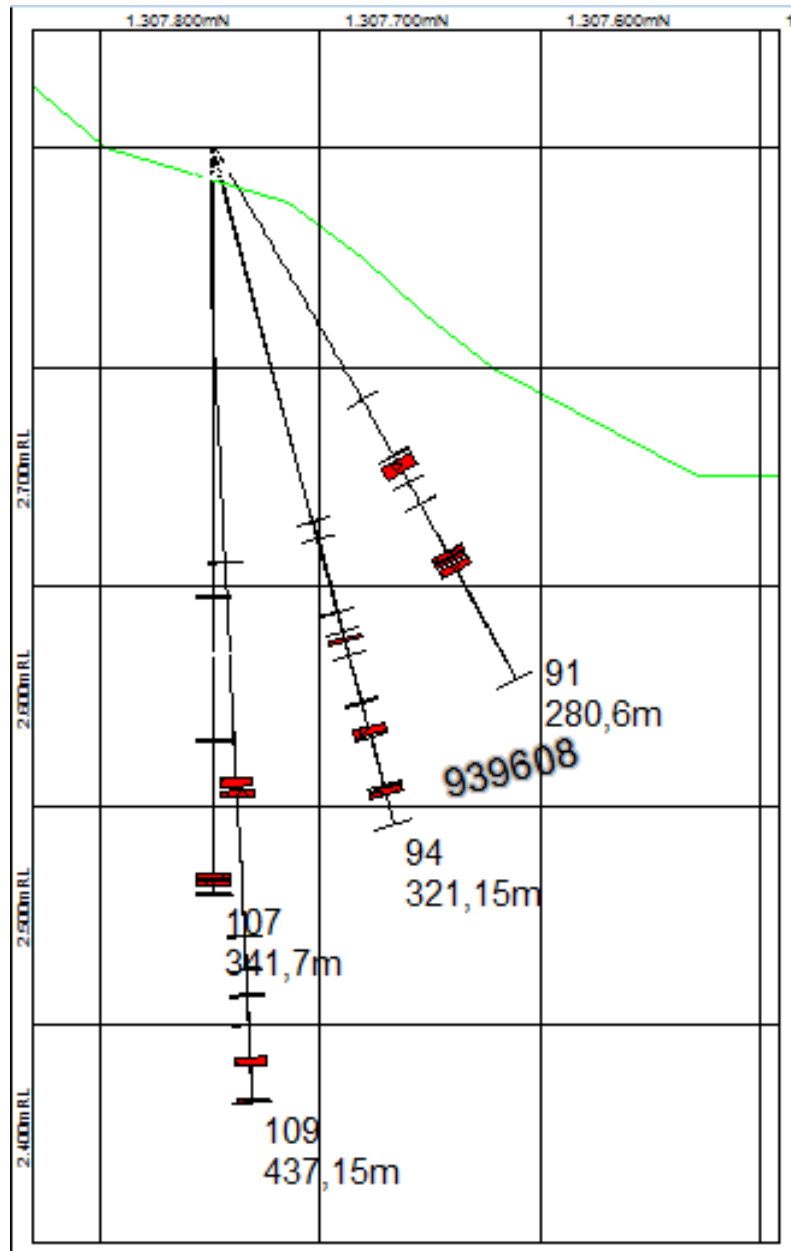
**Calcosina (4%):** se presenta en agregados cristalinos de gran tamaño que llegan a medir 1 mm por 0.6 mm que están relleno los dos tipos de venillas, de color gris claro, esta calcosina está siendo reemplazada por bornita en menor cantidad.

**Bornita (0.8%):** se presenta como producto del reemplazamiento de la calcosina de hasta 400  $\mu\text{m}$  de espesor, el color es rosado opaco, en algunos puntos logra un reemplazamiento total.

**Oro (0.2%):** individuo anhedral que se encuentra en la vena de la pirita2 en contacto con esta y con la calcosina, mide 95  $\mu\text{m}$  por 50  $\mu\text{m}$ , el color es amarillo dorado y sus contactos son netos.

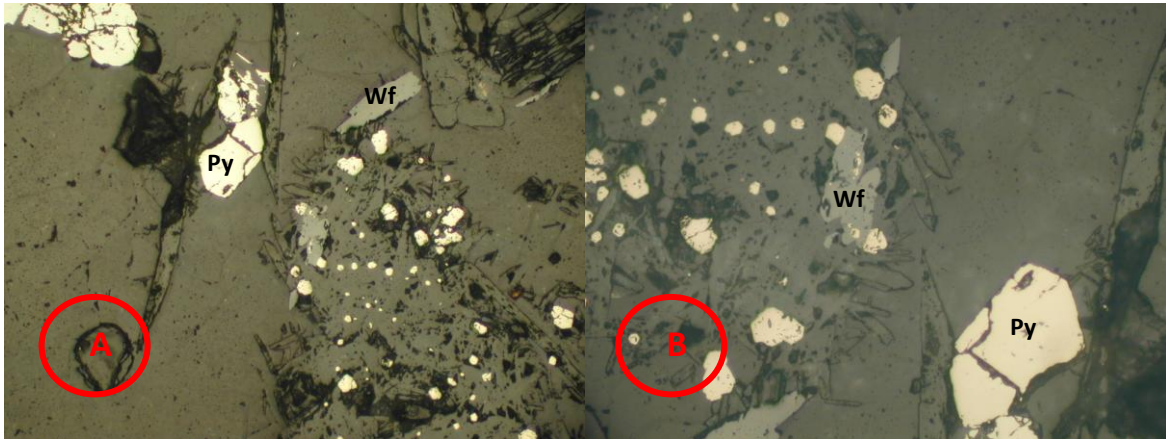
- **Paragénesis 1: pirita1 + calcosina**
- **Paragénesis 2: pirita2 + calcosina + oro**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 939608.



Sección 1129450. Muestras 939608 en pozo LB094. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 06. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 939608. Nícales paralelos. Aumento: A) 10X. B) 20X.**



Py: Pirita, Wf: Wolframita.

**Minerales traslucidos (65%):** Se observan individuos y agregados de cuarzo en 2 generaciones y esto se puede evidenciar en su textura, tamaño y dirección de venillas; Cuarzo1: este cuarzo es de grano muy fino y se encuentra disperso en la matriz junto a la sericita. Cuarzo2: individuos de tamaño más grande que miden 76  $\mu\text{m}$  por 100  $\mu\text{m}$ , este cuarzo está acompañando la mayor parte de la pirita que se encuentran rellenando una vena de unos 2 cm de espesor.

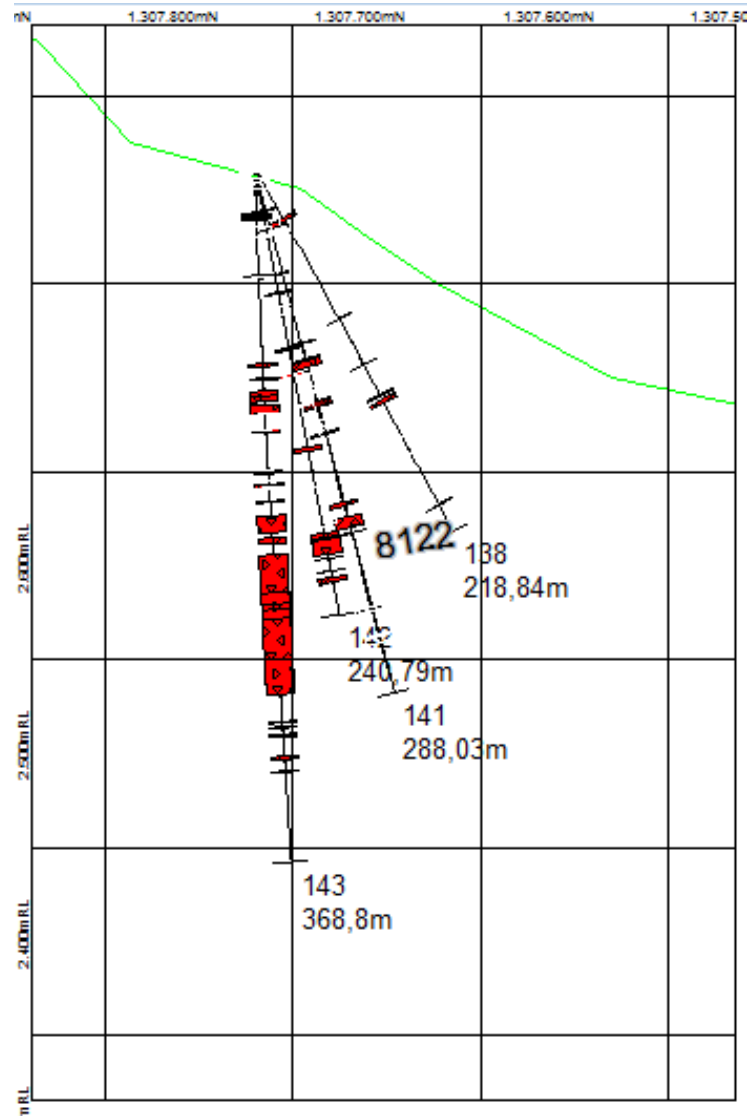
### **Minerales opacos (35%)**

**Pirita (32%):** la pirita se presenta en 2 generaciones. Pirita1: agregados cristalinos e individuos de hasta 1 mm de espesor, esta pirita es de color en nícales paralelos es amarillo claro con alta intensidad a la luz, los bordes son levemente redondeados en las aristas, los individuos cristalinos se presentan en piritohedros y en cubos con bordes rectos y llegan a medir 150  $\mu\text{m}$  por 90  $\mu\text{m}$ . Pirita2: individuos hexagonales de hasta 380  $\mu\text{m}$  y agregados cristalinos alargados en el sentido de la dirección de una vena que se encuentran rellenando, el color en nícales paralelos es amarillo claro homogéneo y los bordes son redondeados.

**Wolframita (3%):** individuos fibrosos alargados de hasta 57  $\mu\text{m}$  de ancho y 475  $\mu\text{m}$  de largo, de color gris en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, los bordes son definidos y su contacto con la pirita es neto, no presenta alteración, también se puede observar como agregados fibrosos de 1 mm de ancho por 0.5 mm de largo.

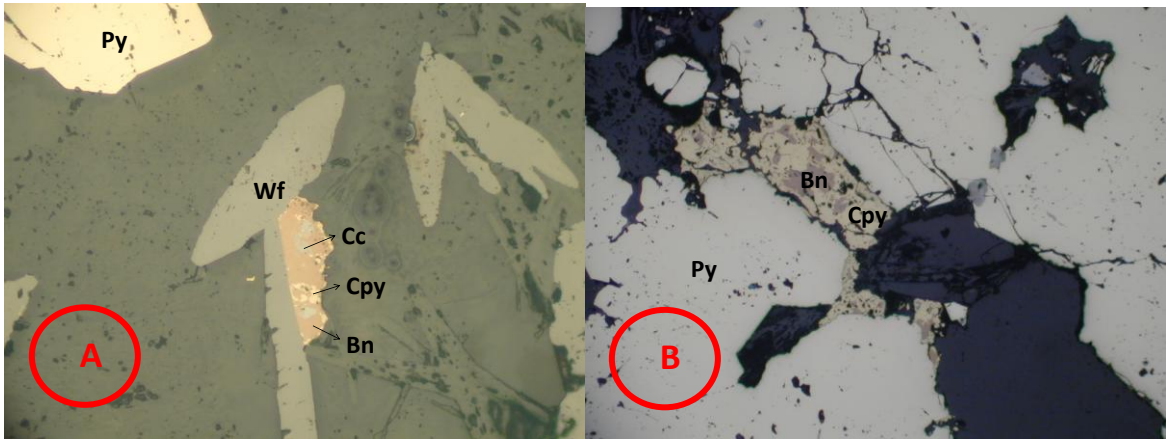
- **Paragénesis 1: pirita1 + wolframita**
- **Paragénesis 2: pirita2 + wolframita**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 8122



Sección 1129475. Muestra 8122 en pozo LB142. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 07. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 8122. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Cpy: Calcopirita Wf: Wolframita.

**Minerales traslucidos (75%):** se compone de cuarzo y sericita en poca cantidad, el cuarzo muestra dos formas diferentes, una de muy fina con bordes definidos y otra de tamaño más grande que llega a 95  $\mu\text{m}$ , con borde definidos y rectos, el cuarzo no se encuentra orientado aunque si alineado en los bordes de la pirita, la sericita es de origen hidrotermal y está en contacto neto con el cuarzo.

### **Minerales opacos (25%)**

**Pirita (22%):** se presentan dos generaciones de pirita. Pirita1: individuos subhedrales y anhedrales con bordes redondeados de color amarillo claro en nícoles paralelos, llegan a medir hasta 760  $\mu\text{m}$  por 450  $\mu\text{m}$ , esta primera generación muestra también agregados cristalinos amorfos de tamaño más grande. Pirita2: agregados masivos de color amarillo claro en nícoles paralelos, que se encuentra relleno de venas que llegan a medir 1cm de ancho y 4cm de largo, los bordes son definidos y los contactos con los otros sulfuros son netos, presenta inclusiones de cuarzo de tamaño muy fino.

**Wolframita (1%):** Individuos alargados en forma de fibras de color gris en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  de ancho y 380  $\mu\text{m}$  de largo, los bordes son definidos y no presentan alteración.

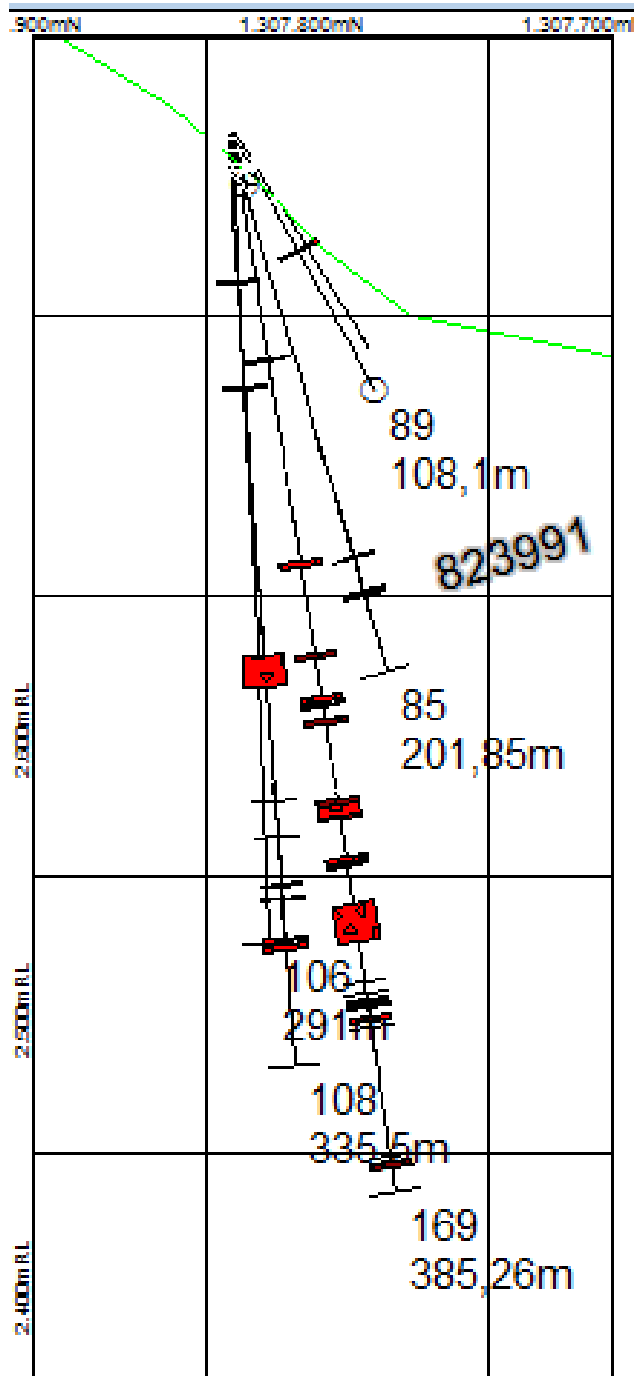
**Calcopirita (0.8%):** se presenta en agregados amorfos que se encuentran rellenando venas junto a la pirita<sup>2</sup>, los bordes son irregulares, el color es amarillo mostaza en nicoles paralelos y llegan a medir 0.3 mm por 1 mm, la calcopirita se encuentra reemplazada por calcosina y bornita aunque aún se conserva en los bordes.

**Bornita (0.7%):** se presenta como reemplazamiento de la calcopirita que en algunos casos la ha llegado a reemplazar completamente, es de color rosado oscuro en nicoles paralelos con borde irregulares.

**Calcosina (0.5%):** se presenta como reemplazamiento de la calcopirita al igual que la bornita pero en menor cantidad, su color es gris azulado en nicoles paralelos y sus bordes son irregulares.

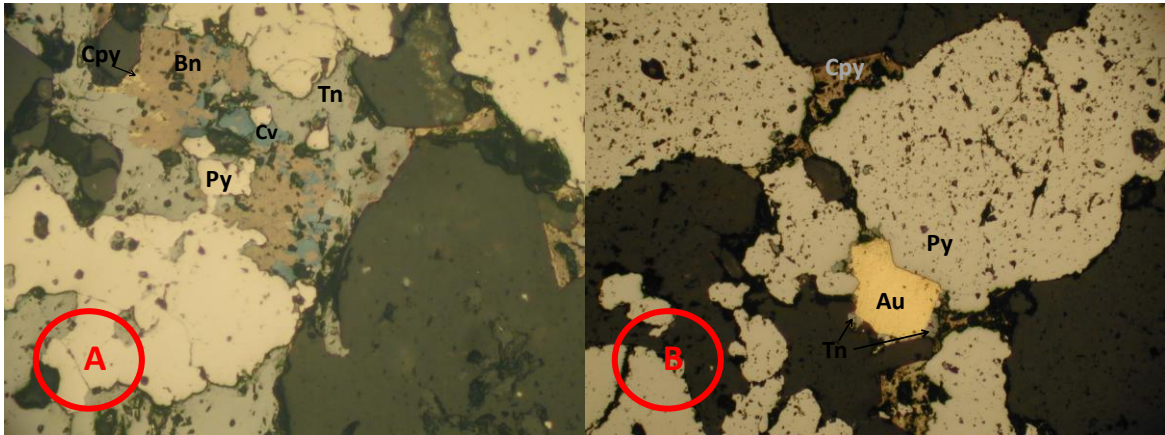
- **Paragénesis 1: pirita<sup>1</sup> + wolframita**
- **Paragénesis 2: pirita<sup>2</sup> + calcopirita**
- **Paragénesis 3: wolframita + calcopirita**

## UBICACIÓN DE LA MUESTRA 823991



Sección 1129550. Muestra 823991 en pozo LB085. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 08. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 823991. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cv: Covelina, Cpy: Calcopirita, Tn: Tennantita, Au: Oro.

**Minerales traslucidos (15%):** se observa cuarzo relleno las cavidades entre los cristales y agregados de pirita, muestra un tamaño medio con bordes definidos, la superficie es bastante limpia y no presenta una orientación particular.

### **Minerales opacos (85%)**

**Pirita (78%)** Agregados masivos de gran tamaño sin orientación alguna, amorfos con bordes redondeados que llegan a medir hasta 2 cm de espesor, el color es amarillo claro en nícoles paralelos, esta pirita muestra un contacto neto con cristales de oro, la pirita no presenta ninguna alteración.

**Tennantita (3%)** Se presenta como agregados masivos de color gris claro con bordes irregulares y contactos netos con pirita, calcopirita y oro, llegan a medir 1 mm de espesor, no presenta alteración.

**Calcopirita (1%)** Agregados masivos amorfos de color amarillos mostaza en nícoles paralelos que está siendo reemplazado por calcosina, bornita y covelina.

Llegan a medir hasta 380  $\mu\text{m}$  de espesor, aunque se puede encontrar completamente reemplazada.

**Calcosina (1%)** Agregados masivos amorfos de color gris azulado en nicoles paralelos, se presenta como reemplazamiento de la calcopirita de adentro hacia afuera y sus bordes son irregulares.

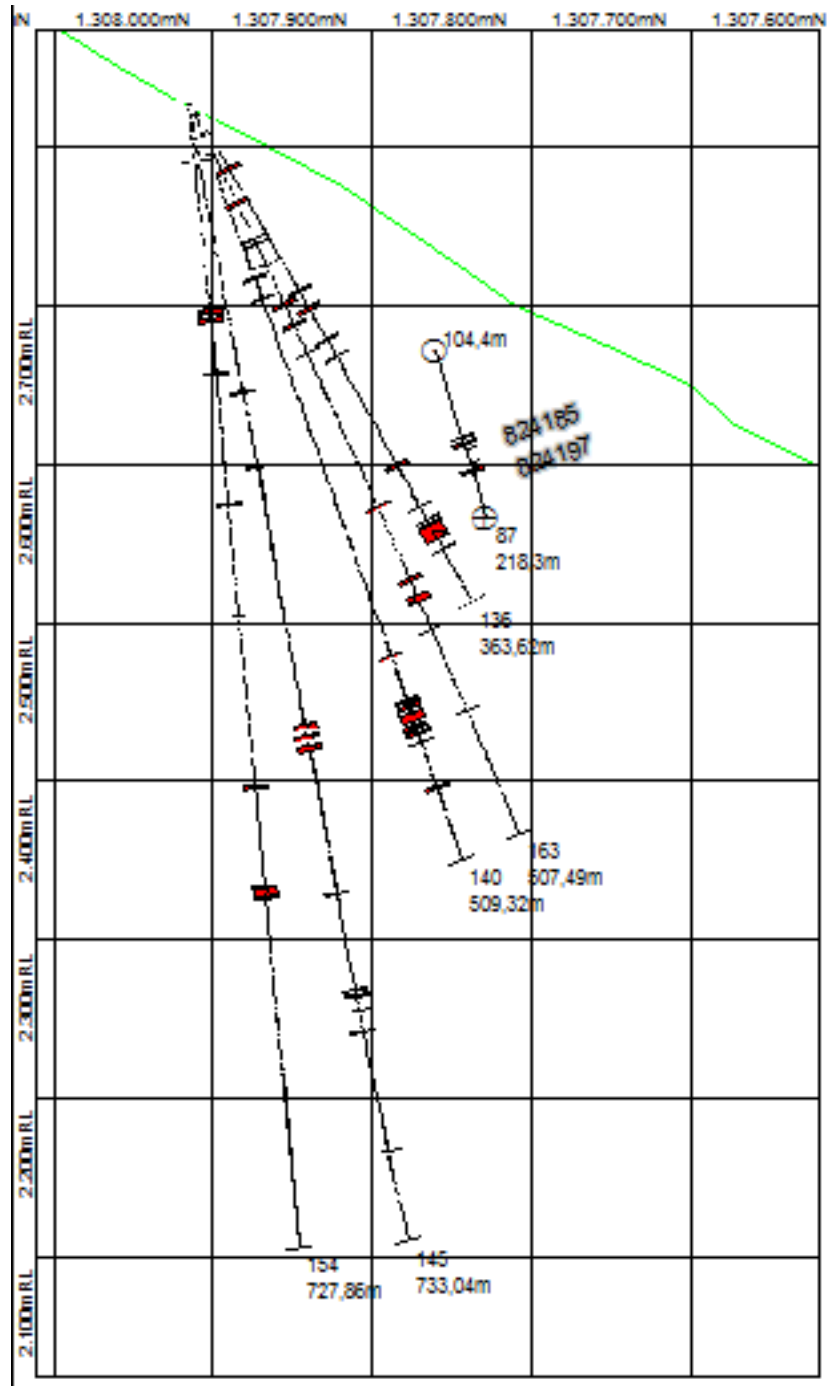
**Bornita (1%)** Se presenta como reemplazamiento de la calcopirita junto con la calcosina y la covelina, no posee una forma definida y sus bordes son irregulares, el color es rosado oscuro en nicoles paralelos.

**Covelina (0.3%)** producto del reemplazamiento de la calcopirita sin forma definida y bordes irregulares, el color es azul rey en nicoles paralelos degradado en la medida que se aleja del centro de la calcopirita.

**Oro (0.7)** se presenta en forma cristalina euhedral, subhedral y anhedral, de color amarillo dorado en nicoles paralelos, con bordes definidos e irregulares y contactos netos, llegan a medir hasta 200  $\mu\text{m}$  de espesor, se encuentra asociado a la tennantita y la pirita.

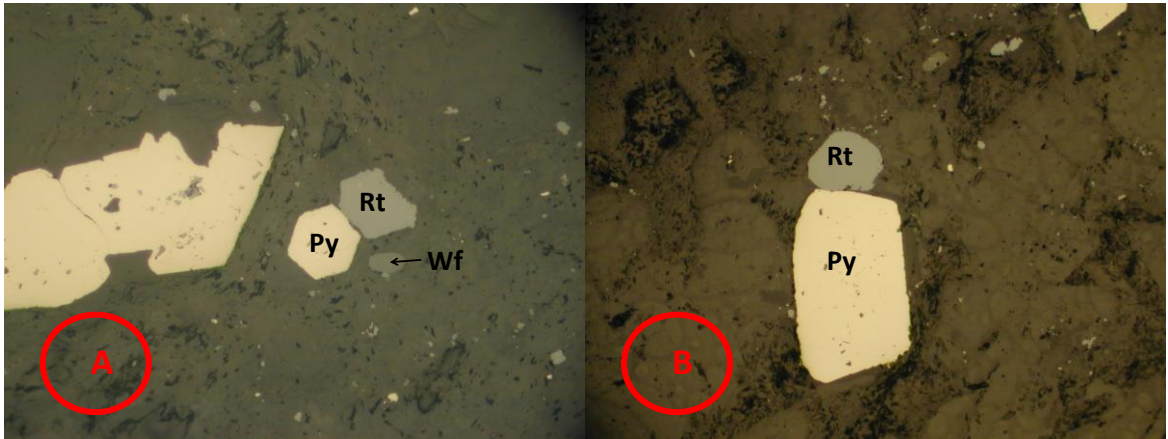
➤ **Paragénesis 1: pirita + tennantita + calcopirita + oro**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS 824185 Y 824197.



Sección 1129600. Muestras 824185, 824197 en pozo LB087. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 09. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 824185. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 10X.**



Py: Pirita, Rt: Rutilo. Wf: Wolframita.

**Minerales traslucidos (90%):** se compone de sericita y cuarzo, este último en dos formas, uno que mide 45  $\mu\text{m}$  de espesor y que está en contacto con la sericita de origen hidrotermal de color amarillo y bordes irregulares, esta asociación se presenta como una matriz, mientras que otro tipo de cuarzo muestra un tamaño mayor de 200  $\mu\text{m}$  por 300  $\mu\text{m}$ , con bordes rectos y caras limpias, este cuarzo parece ser de un evento posterior debido a que está rompiendo la masa de sericita y cuarzo pequeño.

### **Minerales opacos (10%)**

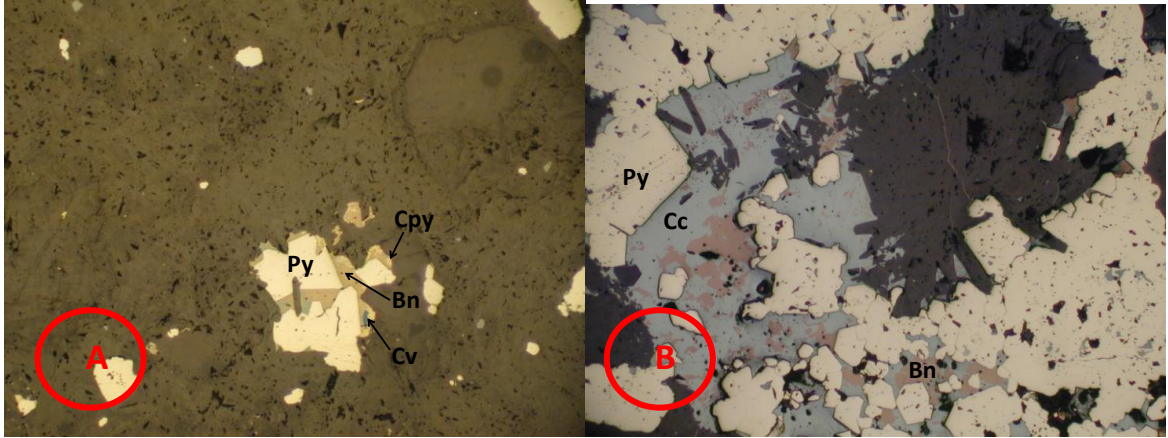
**Pirita (9%):** individuos euhedrales y subhedrales en forma de piritohedros, hexágonos y cubos que alcanzan un tamaño de hasta 0.8 mm por 0.9 mm, el color es amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos y los bordes son rectos, los contactos son netos. Hay otra pirita que se presenta como agregados cristalinos que llegan a medir 1.5 mm por 1 mm de color amarillo que varía su tonalidad tornándose más opaco los bordes son redondeados.

**Rutilo (0.7%):** individuos euhedrales a subhedrales de diferentes tamaños que llegan a medir 160  $\mu\text{m}$  por 95  $\mu\text{m}$  de color gris oscuro en nicoles paralelos y marrón claro en nicoles cruzados con bordes rectos y redondeados, su contacto con la pirita es neto y no presenta alteración.

**Wolframita (0.3%):** individuos alargados que llegan a medir 190  $\mu\text{m}$  de largo por 38  $\mu\text{m}$  de ancho, el color es gris claro en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, los bordes son rectos y los contactos con pirita son netos.

- **Paragénesis 1: pirita + rutilo**
- **Paragénesis 2: pirita + wolframita**

**Fotografía 10. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 824197. Nicoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Cpy: Calcopirita, Cv: Covelina.

**Minerales traslucidos (90%):** se componen principalmente de sericita hidrotermal de color amarillo que está en contacto con cuarzo muy pequeño, también se observa otro cuarzo euhedral más grande que llega a medir 0.8 mm por 1.2 mm, los bordes son rectos y sus caras son limpias y homogéneas, se podría decir que este cuarzo pertenece a una segunda generación pues se ve relleno de venillas que cortan la masa de sericita y cuarzo fino.

### **Minerales opacos (10%)**

**Pirita (7%):** se presentan dos generaciones de pirita. Pirita1: individuos euhedrales en forma de piritohedros y hexágonos muy finos que llegan a medir 170  $\mu\text{m}$  por 190  $\mu\text{m}$ , los bordes son rectos y su color es amarillo claro homogéneo en nicoles paralelos. Pirita2: individuos euhedrales hexagonales con bordes rectos que llegan a medir 300  $\mu\text{m}$  por 200  $\mu\text{m}$ , también se presentan agregados masivos amorfos con bordes redondeados e irregulares que llegan a medir más de 2 mm de espesor, el color es amarillo claro que varia su tonalidad a amarillo más opaco.

**Calcosina (1%):** agregados masivos amorfos que llegan a medir 500  $\mu\text{m}$  por 300  $\mu\text{m}$ , el color es gris azulado en nicoles paralelos y se encuentra reemplazado por bornita. Esta calcosina está en contacto neto con la pirita2.

**Calcopirita (0.8%):** Se presenta en individuos anhedrales que llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  por 95  $\mu\text{m}$ , el color es amarillo mostaza en nicoles paralelos con bordes irregulares y altamente reemplazado por bornita y covelina que en algunos casos llega a reemplazamiento total.

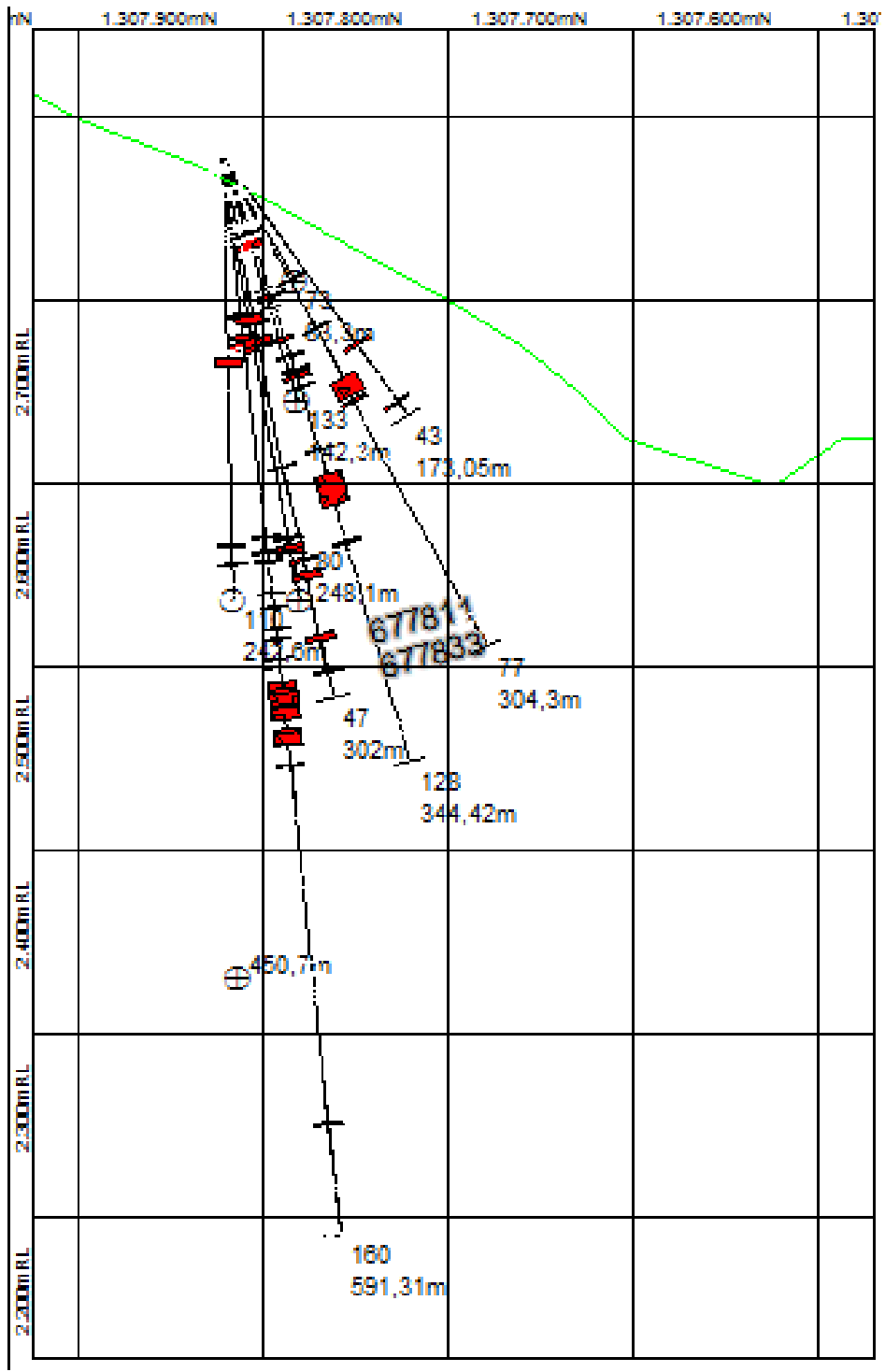
**Bornita (0.5%):** se presenta como producto del reemplazamiento de calcopirita y calcosina, no tiene una forma específica y su color es rosado opaco en nicoles paralelos, su tamaño depende del grado de reemplazamiento.

**Covelina (0.6%):** se encuentra reemplazando a la calcopirita desde el centro hacia los bordes de los cristales y en algunos casos logra un reemplazamiento total, su forma depende de la calcopirita y del grado de reemplazamiento, el color es azul en nicoles paralelos.

**Oro (0.1%):** inclusión amorfa en calcosina, mide 3.8  $\mu\text{m}$  por 1.9  $\mu\text{m}$  y su color es amarillo dorado en nicoles paralelos y mostaza oscuro en nicoles cruzados, este oro es producto de un evento posterior a la formación de la pirita y la calcosina.

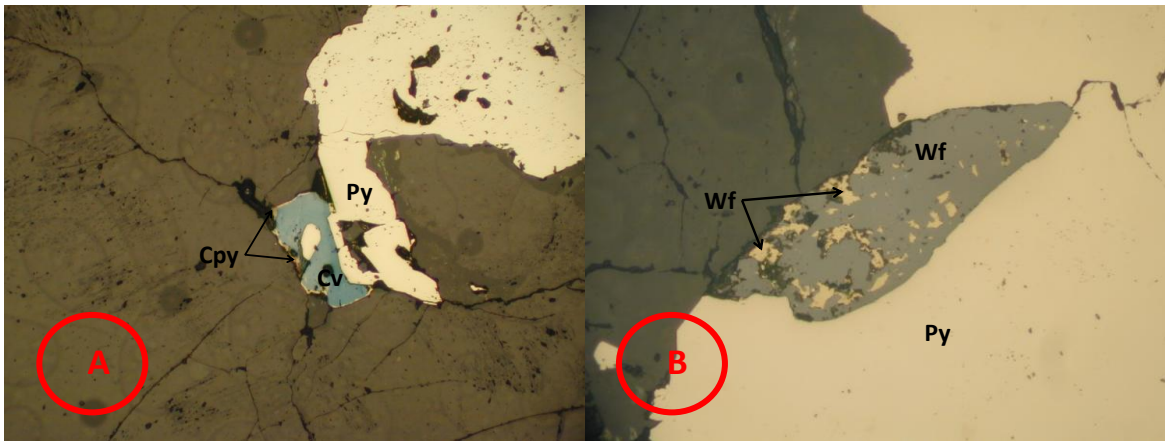
- **Paragénesis 1: pirita1 + calcopirita**
- **Paragénesis 2: pirita2 + calcopirita + calcosina**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS 677811 Y 677833



Sección 1129650. Muestras 677811, 677833 en pozo LB047. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 11. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 677811. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 20X.**



Py: Pirita, Cpy: Calcopirita, Cv: Covelina, Wf: Wolframita.

**Minerales traslucidos (80%):** se compone de cuarzo y sericita. Un primer cuarzo es de tamaño muy fino y está en contacto con sericita, esta asociación no presenta una orientación en particular y se presenta más como una matriz. Otro cuarzo es de mayor tamaño, con bordes definidos y rectos, se encuentra bordeando cristales de pirita. Este cuarzo también hace parte de venas en asociación con pirita.

### **Minerales opacos (20%)**

**Pirita (16%):** Se presenta en do generaciones. Pirita1: agregados masivos anhedrales de gran tamaño, de color amarillo claro en nı́coles paralelos, los bordes son redondeados y se encuentra rellenando una vena de 1.5 cm de espesor. Pirita2: pequeños individuos anhedrales orientados en venillas de menor tamaño en direcci3n diferente a la de la pirita1, los bordes son redondeados, el color es amarillo claro en nı́coles paralelos y el contacto con calcopirita, wolframita y tennantita es neto.

**Calcopirita (1.5%):** se presenta junto a la pirita<sup>1</sup> bordeando los límites en agregados masivos amorfos de color amarillo mostaza en nicoles paralelos, estos agregados llegan a medir 1 mm de espesor, los bordes son redondeados y los contactos netos, esta calcopirita se encuentra reemplazada por bornita y covelina.

**Bornita (0.5%):** esta bornita se encuentra reemplazando a la calcopirita desde el centro hacia los bordes de los agregados, no muestra una forma definida y los bordes son irregulares, el color es rosado opaco en nicoles paralelos y el tamaño depende de los agregados de calcopirita que se encuentre reemplazando.

**Covelina (0.2%)** producto de reemplazamiento de calcopirita, no posee una forma definida y su tamaño depende de la calcopirita, el color es azul en nicoles paralelos y sus bordes irregulares.

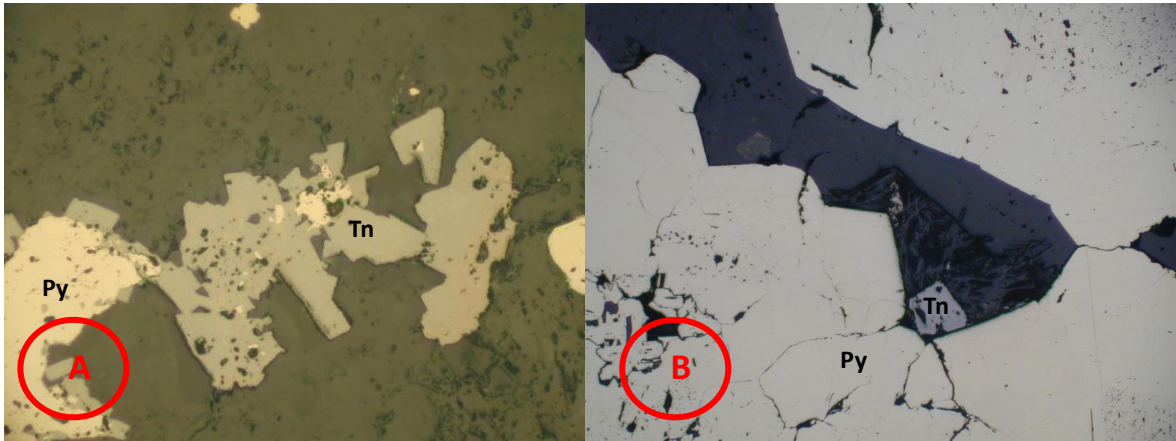
**Tennantita (0.8%):** se presenta en agregados masivos amorfos con bordes redondeados en contacto neto con la calcopirita, llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  de espesor, el color es gris claro en nicoles paralelos y no presenta alteración.

**Wolframita (1%):** individuos alargados en forma de fibras sin una orientación en particular, llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  de ancho y 570  $\mu\text{m}$  de largo, el color es gris claro en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados.

**Oro (0.1%):** individuo cristalino subhedral de color amarillo dorado en nicoles paralelos con bordes redondeados y llega a medir 51  $\mu\text{m}$  de largo, este cristal de oro está en contacto neto con pirita y calcopirita,

- **Paragénesis 1: pirita<sup>1</sup> + calcopirita + tennantita + oro**
- **Paragénesis 2: pirita<sup>2</sup> + tennantita + wolframita**
- **Paragénesis 3: pirita<sup>1</sup> + calcopirita + wolframita**

**Fotografía 12. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 677833. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 10X.**



Py: Pirita, Tn: Tennantita.

**Minerales traslucidos (75%):** presenta cuarzo en dos formas pero en orientaciones similares, un cuarzo es de tamaño muy fino y se asocia con sericita muy fina de color amarillo, mientras que el otro de de mayor tamaño y llega a medir 0.6 mm de espesor, los bordes son definidos y rectos, este cuarzo se encuentra bordeando la pirita en forma de corona.

#### **Minerales opacos: (25%)**

**Pirita (23%):** se presenta en individuos cristalinos y agregados, los individuos son hexagonales y en piritohedros, con bordes rectos y bien definidos de color amarillo claro en nícoles paralelos, llegan a medir 0.6 mm 0.3 mm, los agregados son amorfos aunque muestran bordes bien definidos, estos agregados se encuentran relleno de venillas de hasta 2.5 mm de espesor, el color es amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos.

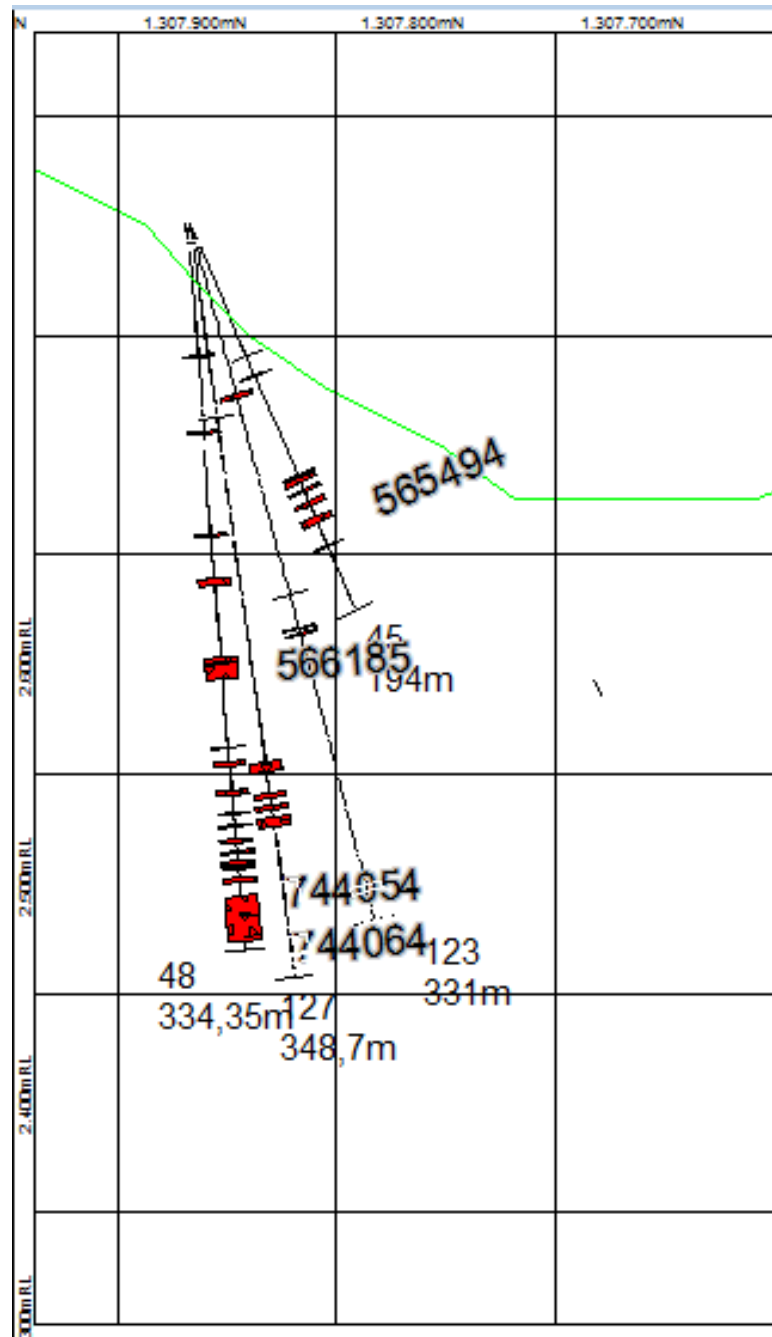
**Tennantita (1.5%):** se presenta como individuos subhedrales y anhedrales de color gris claro en nícoles paralelos que alcanzan a medir 380  $\mu\text{m}$  por 300  $\mu\text{m}$ , los

bordes son irregulares y los contactos son netos, se encuentra en contacto con la pirita.

**Wolframita (0.5%):** se presenta en individuos alargados en forma de fibras que llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  de ancho y 0.8 mm de largo, el color es gris claro en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, los bordes son definidos y no presenta alteración.

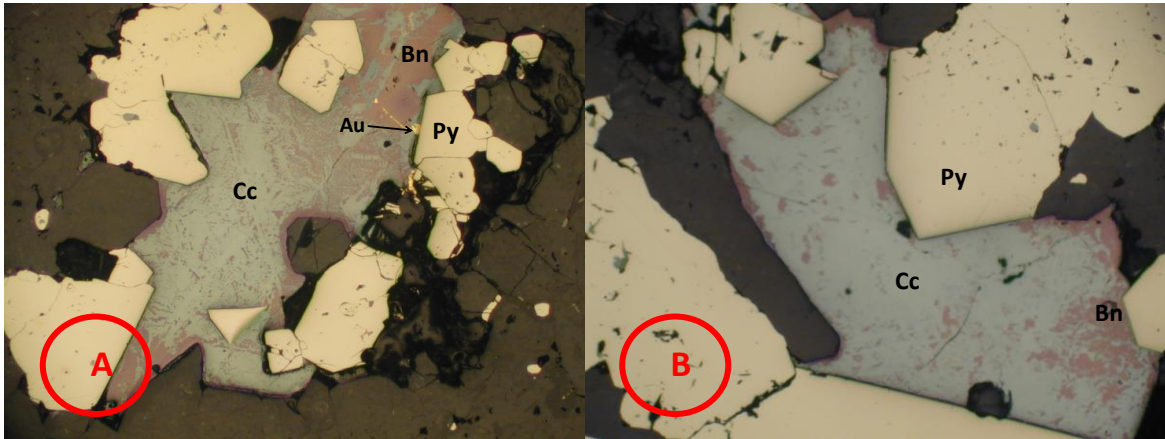
- **Paragénesis 1: pirita + tennantita**
- **Paragénesis 2: pirita + wolframita**

**UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS 565494, 566185, 744054 Y 744064**



Sección 1129750. Muestras 566185, 744064, 744054 en pozo LB048, Muestra 565494. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 13. Ocurrencia de sulfuros y oro en una matriz silíceosa. Muestra 565494. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Au: Oro.

**Minerales traslucidos (20%):** presenta cuarzo y sericita en los espacios entre los agregados de pirita, se observa dos formas una de tamaño muy fino y otra de mayor tamaño que llega a medir 0.3 mm de espesor, este último se encuentra bordeando los sulfuros en forma de corona.

### **Minerales opacos (80%)**

**Pirita (75%):** agregados masivos con bordes rectos y redondeados, alcanzan un tamaño de hasta 3 cm de espesor, son de color amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos, se presenta si una orientación especial y a su vez está en contacto con calcosina, cuando se presenta esta asociación los bordes son rectos y definidos mostrando un contacto neto.

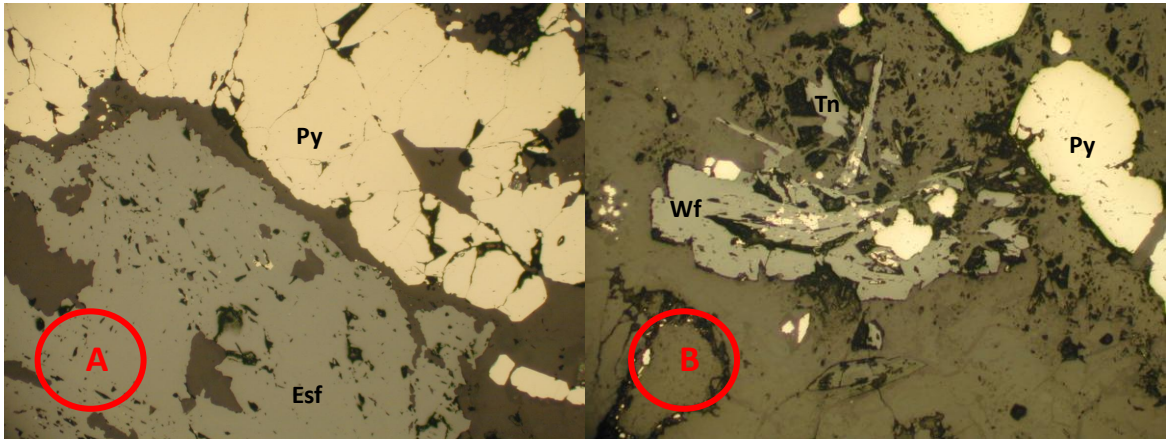
**Calcosina (3%):** se presenta en cristales anhedrales a subhedrales, con bordes rectos y redondeados, llegan a medir 1 mm por 0.6 mm, su color es gris azulado en nícoles paralelos y presenta reemplazamiento por bornita, esta calcosina presenta inclusiones de oro de menor tamaño.

**Bornita (1.8%):** se presenta como reemplazamiento de la calcosina aunque en algunos lugares se observa más consistente, su color es rosado opaco y no tiene una forma definida, puede medir hasta 380  $\mu\text{m}$  de espesor y muestra inclusiones de oro.

**Oro (0.2%):** se presenta como inclusiones en calcosina reemplazada a bornita, su color es amarillo dorado en nicoles paralelos y mide 1  $\mu\text{m}$  de ancho y unos 3.8  $\mu\text{m}$  de largo.

➤ **Paragénesis 1: pirita + calcosina**

**Fotografía 14. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 566185. Nicoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Wf: Wolframita, Tn: Tennantita, Esf: Esfalerita.

**Minerales traslucidos (80%):** Este 80% se divide en 50% de cuarzo y 30% de sericita: la sericita se genera en un primer evento formando cristales fibrosos muy pequeños que están mezclados con cuarzo del mismo tamaño, una segunda generación de cuarzo muestra variedades de tamaño llegando a medir 0.6 mm de espesor, este tamaño varía en la medida que se acerca a los cristales de pirita haciéndose más pequeño. Se evidencia que son dos generaciones diferentes gracias a que el cuarzo que acompaña a la pirita está cortando los agregados de sericita y cuarzo fino.

### **Minerales opacos (20%)**

**Pirita (18%):** se presenta en dos formas diferentes, en individuos hexagonales euhedrales y subhedrales con bordes definidos rectos y redondeados, de color amarillo claro en nicoles paralelos que llegan a medir 0.3 mm por 0.5 mm, otra forma como se presenta es en agregados cristalinos y masivos de diferente tamaño, el más grande está relleno de una vena potente de 7 mm de espesor y 4 cm de largo que está en contacto con esfalerita, los bordes son redondeados y los contactos con la esfalerita, wolframita y tennantita son netos.

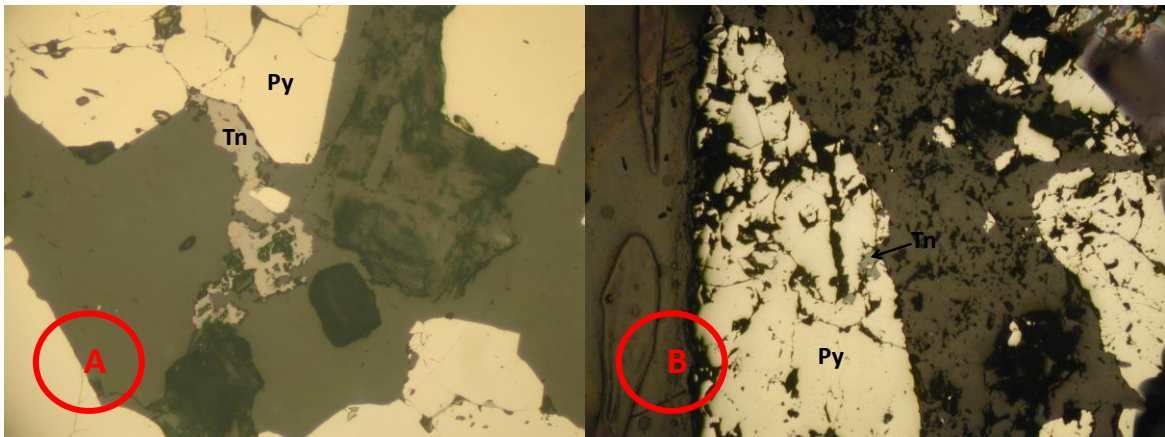
**Esfalerita (1.5%):** se presenta como agregados masivos amorfos de color purpura opaco en nicoles paralelos que llegan a medir 1 mm por 1 mm con bordes irregulares e inclusiones de cuarzo, esta esfalerita está en contacto con la pirita y con los pequeños cristales de tennantita y wolframita.

**Wolframita (0.3%):** se presenta como cristales alargados en forma de fibras de color gris claro en nicoles paralelos y color rojizo en nicoles cruzados, los bordes son definidos y sus contactos con los otros minerales son netos.

**Tennantita (0.2%):** se presenta en cristales alargados y en agregados fibrosos que llegan a medir 0.6 mm de largo y 0.2 mm de ancho, el color es gris opaco en nicoles paralelos y los bordes son rectos, estos cristales están en contacto con la pirita, la wolframita y la esfalerita.

➤ **Paragénesis 1: pirita + esfalerita + tennantita + wolframita**

**Fotografía 15. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 744054. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 10X.**



Py: Pirita, Tn: Tennantita.

**Minerales traslucidos (60%):** se observa sericita y cuarzo, la sericita está en pequeñas fibras de color amarillo, mientras que el cuarzo está presente en dos formas, una es de tamaño muy pequeño que preferencialmente está asociado a la sericita, mientras que el cuarzo más grande se encuentra asociado a los sulfuros, esto podría marcar dos generaciones diferentes de cuarzo.

#### **Minerales opacos (40%)**

**Pirita (39%):** se presenta como individuos cristalinos hexagonales con bordes rectos y definidos que llegan a medir 0.6 mm por 0.5 mm, estos individuos se encuentran dispersos en la matriz de sílice sin una orientación preferencial, otra forma es en agregados masivos de gran tamaño, que tienen un color amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos y los bordes son redondeados. Esta pirita presenta inclusiones de calcosina.

**Tennantita (1%):** individuos euhedrales y subhedrales con bordes definidos y rectos, el color es gris claro en nícoles paralelos y alcanzan un tamaño de 12  $\mu\text{m}$

por 14.4  $\mu\text{m}$ , esta tennantita está en contacto neto con la pirita y no presenta alteración.

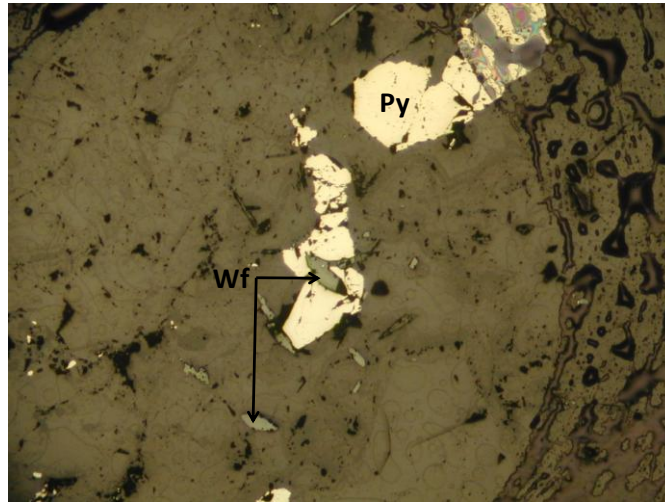
**Wolframita (0.2%):** individuos cristalinos alargados en forma de fibras de color gris en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, llega a medir 190  $\mu\text{m}$  de largo por 57  $\mu\text{m}$  de ancho, esta wolframita se encuentra dispersa en la matriz de sílice.

**Calcosina (0.4%):** se presenta como inclusiones en pirita, el color es gris azulado en nicoles paralelos, estas inclusiones llegan a medir 4.8  $\mu\text{m}$  de diámetro y no muestran una forma particular.

**Bornita (0.4%):** se presenta como producto del reemplazamiento de la calcosina que se encuentra incluida en los agregados de pirita, su color es rosado opaco en nicoles paralelos, este reemplazamiento se presenta sin un patrón fijo en las inclusiones.

➤ **Paragénesis: pirita + tennantita.**

**Fotografía 16. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 744064. Nícoles paralelos. Aumento: 5X.**



Py: Pirita, Wf: Wolframita.

**Minerales traslucidos (85%):** se compone de sericita y cuarzo, la sericita es de origen hidrotermal y se presenta como cristales fibrosos de poco tamaño de color amarillo asociado a cuarzo de tamaño muy pequeño, el otro tipo de cuarzo se presenta en cristales euhedrales de hasta 0.8 mm de ancho, los bordes son definidos y rectos.

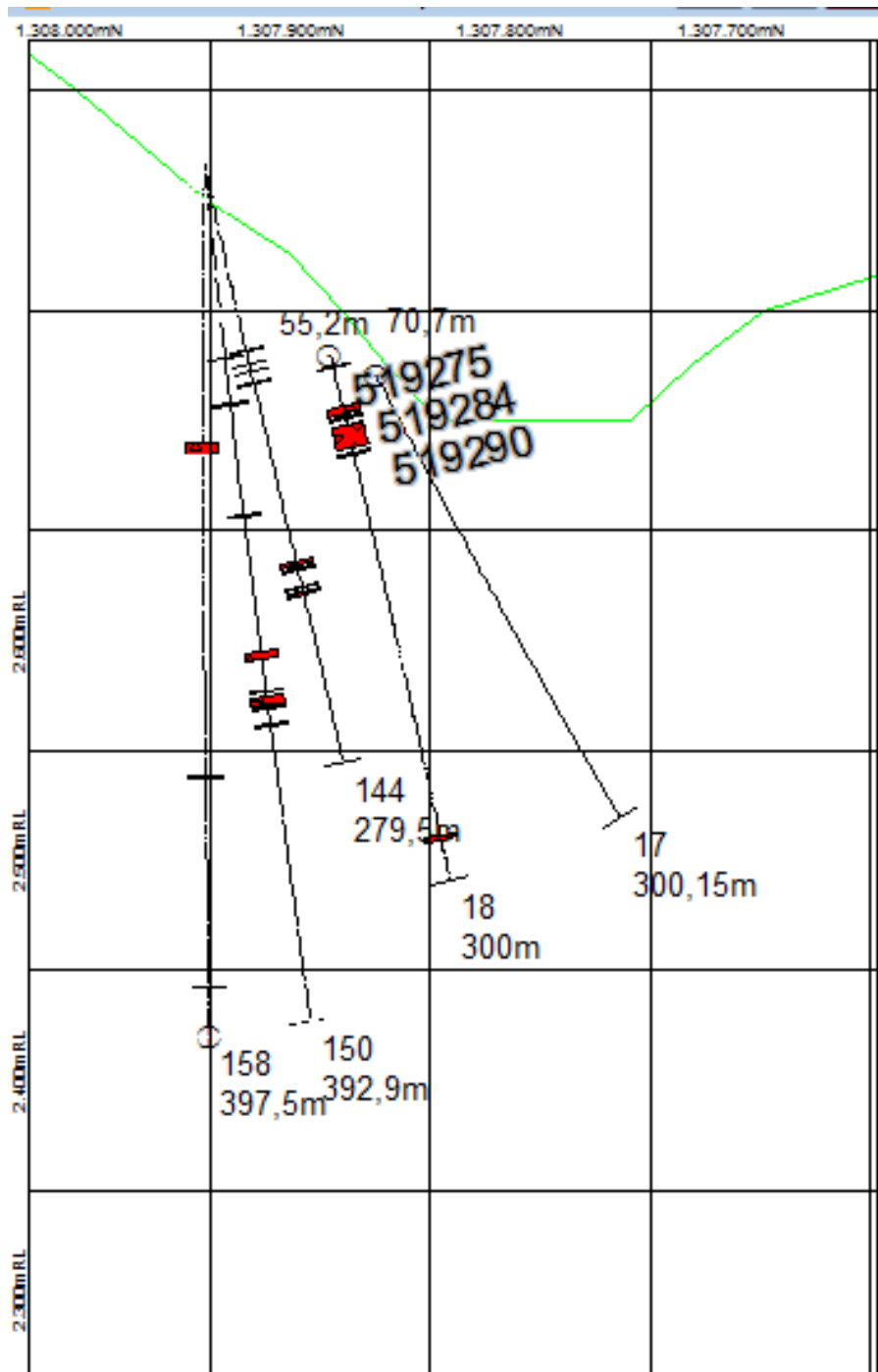
#### **Minerales opacos (15%)**

**Pirita (14%):** se presenta como individuos subhedrales y agregados cristalinos amorfos, los individuos miden cerca de 1 mm por 0.5 mm, el color es amarillo claro en nı́coles paralelos y sus bordes son redondeados, mientras que los agregados llegan a medir 5 mm por 6mm, el color es también amarillo claro en nı́coles paralelos y sus bordes son irregulares y redondeados, estos agregados no están orientados ni alterados.

**Wolframita (1%):** se presenta como cristales alargados de hasta 0.8 mm de largo por 0.2 mm de ancho, el color es gris claro en nı́coles paralelos y rojizo en nı́coles cruzados, los bordes son definidos y está en contacto neto con la pirita.

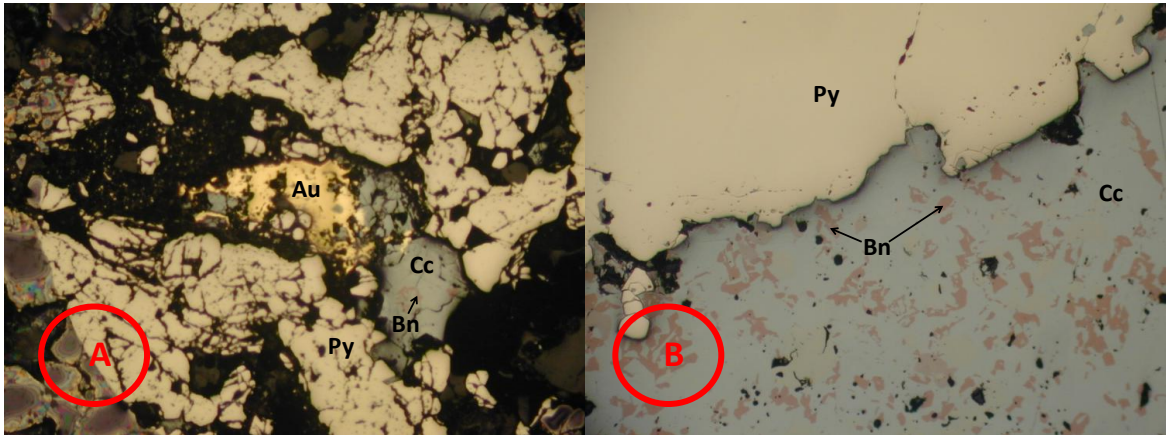
➤ **Paragénesis: pirita + wolframita**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LAS MUESTRAS 519275, 519284 Y 519290



Sección 1129850. Muestras 519275, 519284, 519290 en pozo LB018. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 17. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 519275. Nícoles paralelos. Aumento: A) 5X. B) 10X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Au: Oro.

**Minerales traslucidos (70%):** se compone de sericita de color amarillo y cuarzo predominando el cuarzo, el cuarzo se presenta en dos generaciones. Cuarzo1: agregados cristalinos que alcanzan a medir 0.8 mm de espesor, estos cuarzos son euhedrales con bordes rectos y definidos. Cuarzo2: este cuarzo es de tamaño más fino y se presenta en agregados que están cortando los agregados de cuarzo1.

### **Minerales opacos (30%)**

**Pirita (20%):** se presenta en dos generaciones. Pirita1: agregados masivos de gran tamaño amorfos con bordes redondeados, el color es amarillo claro en nícoles paralelos y llegan a medir 2 mm por 4mm aunque su forma no permite dar una medida más clara, se denomina pirita1 porque está siendo cortada por los agregados de cuarzo2 que contienen individuos de pirita2. Pirita2: individuos cristalinos euhedrales hexagonales de 0.3 mm por 0.4 mm de color amarillo claro en nícoles paralelos, esta pirita esta embebida en venas de sericita y cuarzo pequeño que se encuentra cortando los agregados de cuarzo2 que a su vez contienen los agregados de pirita1.

**Calcosina (7%):** se presenta como agregados cristalinos con bordes redondeados y rectos con contactos netos con pirita 1, tennantita y oro, alcanzan un tamaño de 1mm por 0.5mm, su color es gris azulado en nicoles paralelos y presenta reemplazamiento por bornita.

**Tennantita (1%):** agregados masivos de color gris claro en nicoles paralelos que llegan a medir 0.4 mm por 0.6 mm, los bordes son redondeados y los contactos con pirita1, calcosina y oro son netos, no presenta alteración ni reemplazamiento.

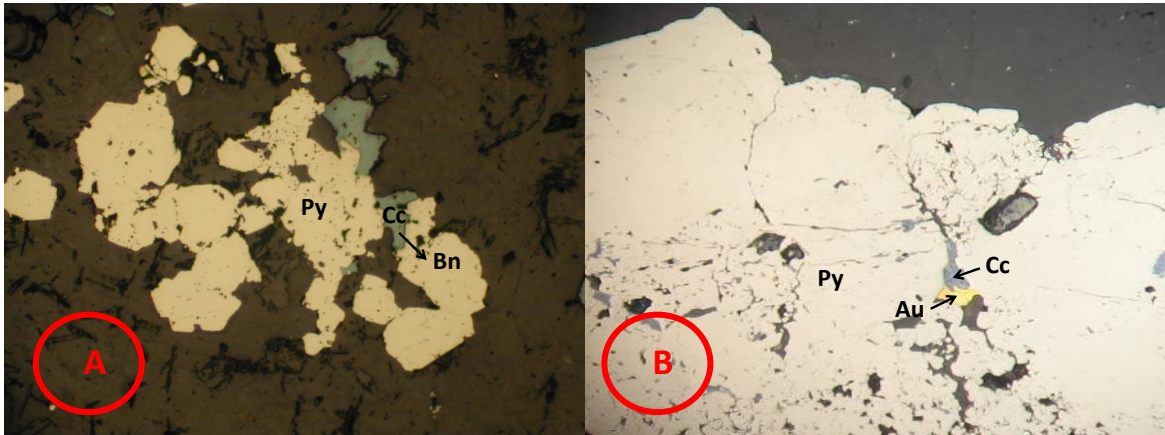
**Wolframita (0.8%):** individuos euhedrales alargados con bordes rectos y redondeados que llegan a medir 57  $\mu\text{m}$  de ancho por 0.8 mm de largo, su color es gris en nicoles paralelos y rojizo en nicoles cruzados, se encuentra disperso en la matriz de sílice.

**Bornita (1%):** se presenta como producto de reemplazamiento de calcosina, su color es rosado opaco y no presenta una forma particular, el reemplazamiento no es homogéneo pero se puede decir que va desde el centro hacia los bordes de los agregados.

**Oro (0.2%):** individuos cristalinos anhedrales con bordes redondeados que mide 0.6 mm de largo por 0.5 mm de ancho, su color es amarillo dorado en nicoles paralelos, está en contacto neto con pirita1, calcosina y tennantita.

- **Paragénesis 1: pirita1 + calcosina + tennantita + oro**
- **Paragénesis 2: pirita2 + wolframita**

**Fotografía 18. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 519284. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 20X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina, Au: Oro.

**Minerales traslucidos (80%):** se compone principalmente de cuarzo que se presenta en dos formas, una muy pequeña que se asocia con sericita hidrotermal y otra de cristales grandes de hasta 1.2 mm por 1 mm de tamaño, sus bordes son definidos y rectos, aunque hay una diferencia en la forma y presencia de estos minerales, no se evidencia diferencias en la orientación de los cristales, por lo que no se puede asegurar que existan dos generaciones de cuarzo.

#### **Minerales opacos (20%)**

**Pirita (17.5%):** se presenta en dos formas diferentes, una se presenta en individuos subhedrales disgregados sin orientación que llegan a medir hasta 1.5mm por 1.2 mm, los bordes son redondeados y rectos y presenta contactos netos con calcosina, otra forma es en agregados masivos que rellenan venas de hasta 4 mm de espesor, estos agregados son amorfos, su color es amarillo homogéneo en nícoles paralelos y sus bordes redondeados e irregulares, aunque hay dos formas diferentes no se puede hablar de dos generaciones diferentes de pirita.

**Calcosina (1%):** se presenta como individuos anhedrales de hasta 285  $\mu\text{m}$  por 95 $\mu\text{m}$ , sus bordes son rectos e irregulares, su color es gris azulado en nícoles paralelos y negro en nícoles cruzados, también se presenta como calcosina intersticial en la vena de pirita más grande, en ambos casos se está reemplazando a bornita.

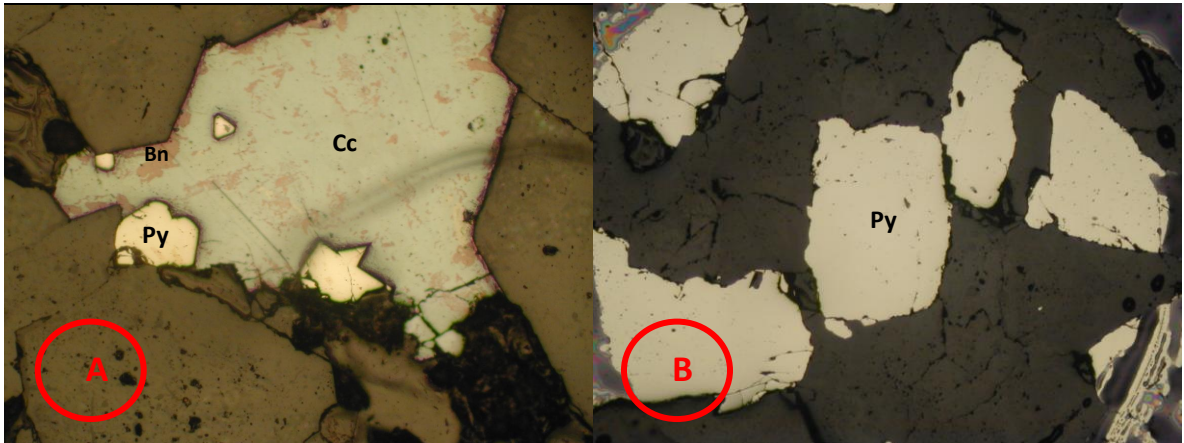
**Bornita (0.9%):** se presenta como producto del reemplazamiento de la calcosina tanto individual como intersticial, su color en nicoles paralelos es rosado opaco y no posee una forma definida pues depende del grado de reemplazamiento.

**Wolframita (0.5%):** individuos alargados con bordes rectos y definidos, llegan a medir 19  $\mu\text{m}$  de ancho por 95  $\mu\text{m}$  de largo, su color en nicoles paralelos es gris y rojizo en nicoles cruzados, esta wolframita se encuentra dispersa en la matriz de sílice y en contacto con la pirita.

**Oro (0.1%):** se presenta de forma intersticial en la vena de pirita, incluido en calcosina, esta inclusión es amorfa y tiene un tamaño de 5  $\mu\text{m}$  por 2.5  $\mu\text{m}$ , el color es amarillo dorado en nicoles paralelos y sus bordes son redondeados adoptando la forma del intersticio.

- **Paragénesis 1: pirita + wolframita**
- **Paragénesis 2: pirita + calcosina**

**Fotografía 19. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silícea. Muestra 519290. Nicoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 5X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina.

**Minerales traslucidos (30%):** se componen principalmente de cuarzo euhedral que llega a medir 0.5 mm por 0.3 mm, estos cuarzos no presentan una orientación particular, sus bordes son rectos y sus caras limpias, también se pueden observar cristales de sericita hidrotermal, esta sericita es de color amarillo y se llega unir en agregados fibrosos.

### **Minerales opacos (70%)**

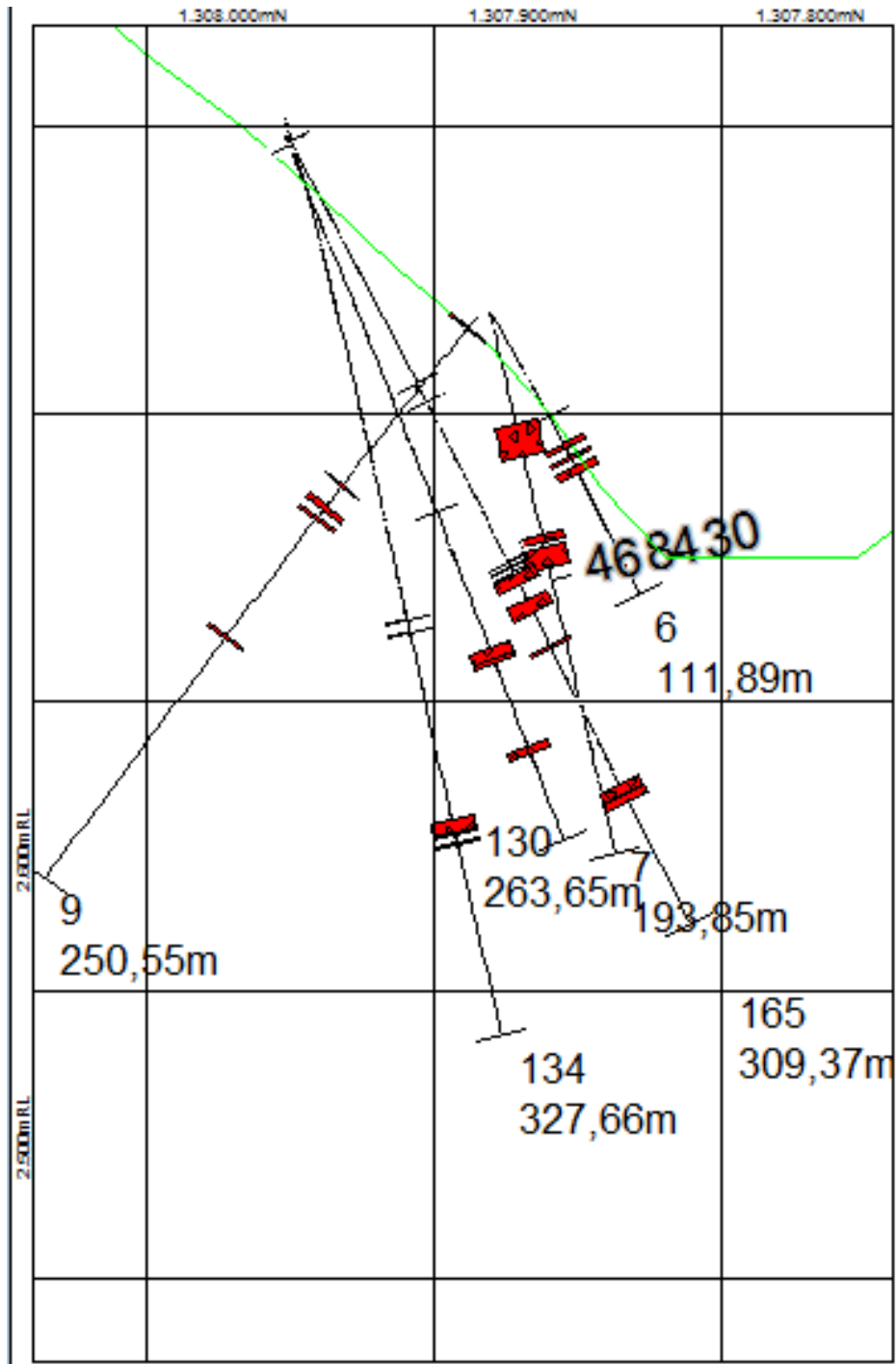
**Pirita (68%):** individuos subhedrales de buen tamaño que llegan a medir 1.5 mm por 1.2 mm, los bordes son redondeados, el color en nicoles paralelos es amarillo claro que varía en su tonalidad a amarillo más oscuro esto podría ser causa de un exceso de arsénico, otra forma es en agregados cristalinos y masivos amorfos con bordes redondeados, estos agregados están orientados hacia una misma dirección al igual que los individuos, aunque hay una diferencia textural, no se puede hablar de dos generaciones de pirita.

**Calcosina (1.5%):** se presenta como individuos anhedrales con bordes rectos y redondeados, alcanzan un tamaño de 0.6 mm por 0.4 mm, el color en nicoles paralelos es gris azuloso y se encuentran reemplazados parcialmente por bornita, presenta intercrecimiento con pirita, también se presenta como relleno de intersticios en los agregados de pirita.

**Bornita (0.5%):** se presenta como producto del reemplazamiento de la calcosina, sin un patrón claro, su tamaño se debe al grado de reemplazamiento y el color en nicoles paralelos es rosado opaco.

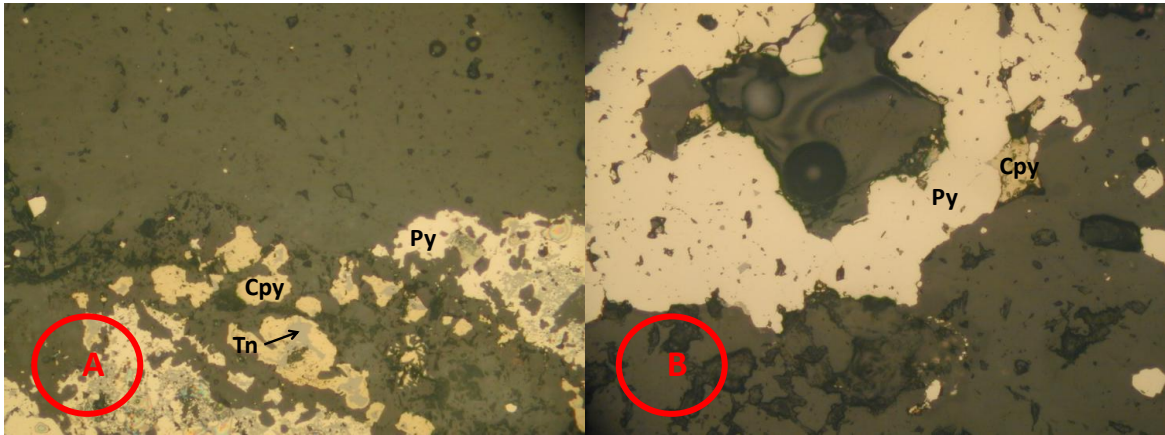
➤ **Paragénesis: pirita + calcosina**

## UBICACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 468430



Sección 1129900. Muestras 468430 en pozo LB007. Paragénesis. En rojo se muestran las intersecciones de los pozos con las principales brechas.

**Fotografía 20. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 468430. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 20X.**



Py: Pirita, Cpy: Calcopirita, Tn: Tennantita.

**Minerales traslucidos (90%):** se observan 3 tipos de matriz. 1: se compone de cuarzo muy fino que está asociado a sericita de origen hidrotermal, esta sericita se presenta como cristales fibrosos de color amarillo. 2: esta segunda se presenta en cristales euhedrales prismáticos de cuarzo grandes de hasta 0.6 mm por 0.4mm, los bordes son rectos y sus caras son homogéneas en cuanto a su color. 3: en esta se presenta cuarzo muy fino orientado en venillas con pirita, estas venillas cortan los tipos 1 y 2 y no poseen sericita.

#### **Minerales opacos (10%)**

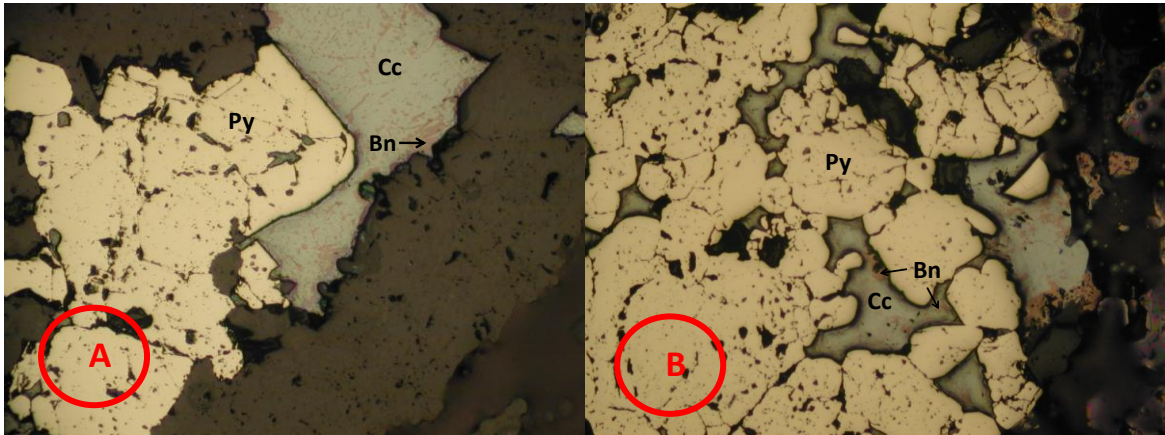
**Pirita (8%):** se presentan dos generaciones de pirita. Pirita1: individuos cúbicos y hexagonales subhedrales de hasta 0.6 mm por 1 mm, los bordes son rectos y redondeados y su color en nı́coles paralelos es amarillo claro, que varía su tonalidad por su contenido de arsénico. Pirita2: agregados cristalinos y masivos amorfos que se encuentran rellenando venillas de hasta 1.5 mm que cortan la pirita 1, esta pirita es de un color amarillo claro más homogéneo en nı́coles paralelos, sus bordes son irregulares, estas venillas se curvan pero siguen un mismo patrón de orientación.

**Tennantita (1.5%):** se encuentra ligado a la pirita 2 en agregados masivos amorfos de color gris claro en Nı́coles paralelos y negro en nı́coles cruzados, llegan a medir 3  $\mu\text{m}$  por 0.5  $\mu\text{m}$  y están en contacto neto con la pirita2 y calcopirita.

**Calcopirita (0.5%):** se presenta ligada a la pirita<sup>2</sup> y a la tennantita en agregados masivos que se encuentran relleno de venillas, estos agregados miden hasta 3  $\mu\text{m}$  por 0.5  $\mu\text{m}$  de color amarillo mostaza en nicols paralelos, los contactos son netos y sus bordes redondeados.

➤ **Paragénesis: pirita<sup>2</sup> + calcopirita + tennantita**

**Fotografía 21. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 73240. Nícoles paralelos. Aumento: A) 10X. B) 5X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cc: Calcosina.

**Minerales traslucidos (70%):** se componen de cuarzos de dos formas, uno muy pequeño que no se puede distinguir su forma por su poco tamaño y otro más grande que llega a medir 0.4 mm por 0.2 mm, este se presenta como individuos euhedrales con bordes rectos y caras limpias y homogéneas en su color, aunque hay dos formas diferentes de cuarzo, no se puede afirmar que sean generaciones diferentes pues no se observa orientación preferencial para ninguno de los dos.

### **Minerales opacos (30%)**

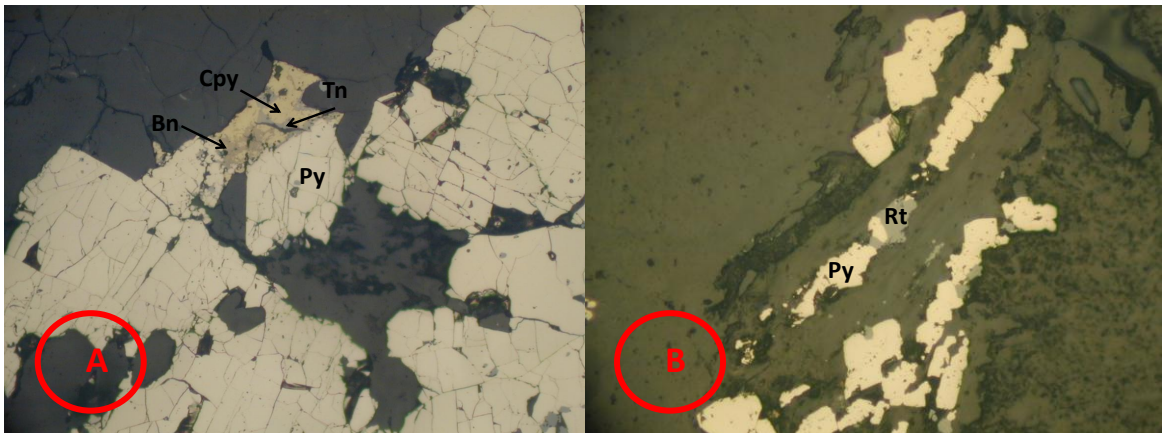
**Pirita (28%):** se presenta en individuos hexagonales y cúbicos subhedrales de 0.4mm por 0.2 mm con bordes redondeados de color amarillo claro en nícoles paralelos que varía en su tonalidad, otra expresión de la pirita es en agregados masivos amorfos que llegan a medir 8 mm por 1 cm, estos agregados muestran color amarillo claro en nícoles paralelos con variación en su tonalidad, estos agregados presentan inclusiones de calcosina.

**Calcosina (1.5%):** se presenta en dos generaciones. Calcosina1: individuos anhedrales a subhedrales con bordes rectos y redondeados que llegan a medir 0.6 mm por 0.8 mm, su color es gris azulado en nícoles paralelos, esta calcosina se está reemplazando por bornita y sus contactos con la pirita son netos. Calcosina2: esta se presenta como inclusión en los agregados de pirita y también se están reemplazando por pirita, estas inclusiones llegan a medir 0.4 mm por 0.2mm.

**Bornita (0.5%):** se presenta como producto de la calcosina1 como de la calcosina2, su color es rosado opaco en nicoles paralelos, su forma y tamaño dependen del grado de reemplazamiento que haya, en algunos casos ha logrado un reemplazamiento total.

➤ **Paragénesis: pirita + calcosina1**

**Fotografía 22. Ocurrencia de sulfuros en una matriz silíceosa. Muestra 72601. Nícoles paralelos. Aumento: A) 20X. B) 20X.**



Py: Pirita, Bn: Bornita, Cpy: Calcopirita, Tn: Tennantita, Rt: Rutilo.

**Minerales traslucidos (85%):** presenta dos generaciones de minerales. 1: esta primera presenta una sericita y un cuarzo muy fino formando una maza muy homogénea en cuanto a su asociación, no está orientada y conforma cerca del 50% del total de los minerales traslucidos. 2: esta segunda presenta la misma asociación pero con cristales mucho más grandes, la sericita llega a medir 0.4 mm por 0.2 mm y el cuarzo 1.5 mm por 1 mm, esta sericita es de tal tamaño que tiene aspecto de moscovita, los bordes son irregulares y su color violeta pasando por azul y amarillo, mientras que el cuarzo tiene bordes rectos y definidos y muestra caras homogéneas en cuanto a su color.

### **Minerales opacos (15%)**

**Pirita (13%):** se presenta en dos generaciones. Pirita1: individuos hexagonales y cúbicos euhedrales y subhedrales con bordes rectos y redondeados de color amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos, que llegan a medir 0.2 mm por 0.3mm, también se presenta como agregados masivos rellenando venas de hasta 2mm de espesor, estos agregados tienen bordes redondeados y al igual que los individuos presenta un color amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos. Pirita2: agregados masivos y cristalinos dispuestos en venillas de hasta 3 mm de espesor orientadas en forma diferente a la pirita1 formando un ángulo de unos 45 grados, esta pirita presenta un color amarillo claro homogéneo en nícoles paralelos, los bordes son redondeados y sus contactos con otros minerales son netos.

**Calcopirita (0.8%):** individuos anhedrales ligados a la pirita<sub>2</sub> con bordes irregulares, estos individuos llegan a medir 0.15 mm por 0.1 mm y su color es amarillo mostaza en nicoles paralelos, esta calcopirita se encuentra reemplazada a calcosina y a bornita que en algunos lugares la han reemplazado completamente.

**Tennantita (0.4%):** se presenta ligado a la pirita<sub>2</sub> en venillas, son individuos anhedrales con bordes redondeados de color gris claro en nicoles paralelos y negro en nicoles cruzados que miden 100  $\mu\text{m}$  por 50  $\mu\text{m}$ , esta tennantita no presenta ningún reemplazamiento.

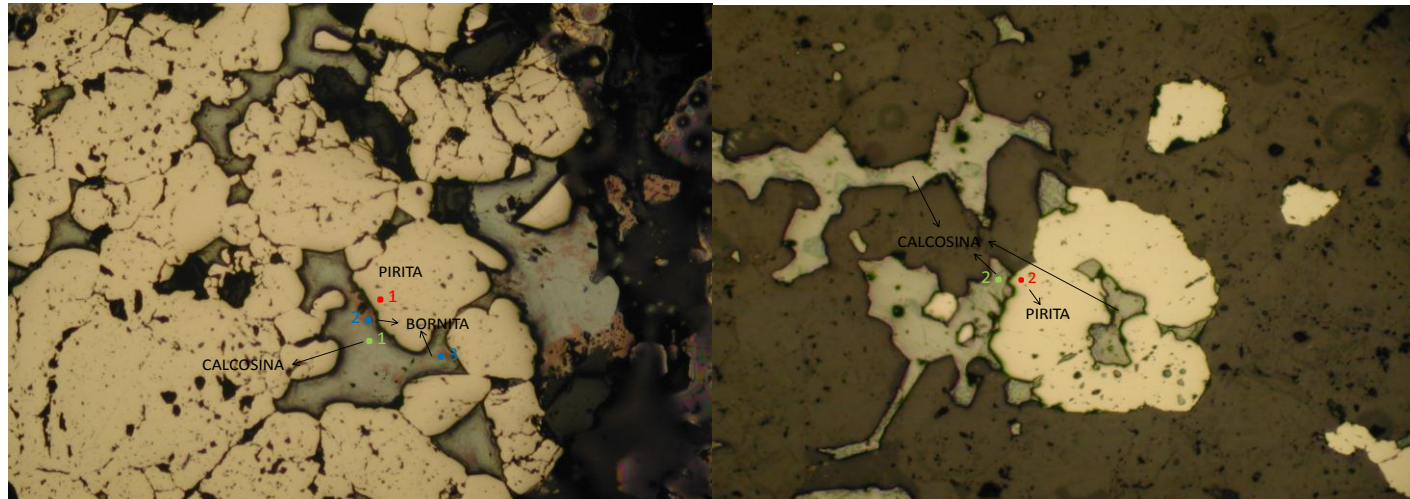
**Rutilo (0.5%):** individuos anhedrales ligados a la pirita<sub>1</sub>, que miden 120  $\mu\text{m}$  por 60 $\mu\text{m}$ , el color es gris oscuro en nicoles paralelos y sus bordes son redondeados, este rutilo no presenta zonación ni alteración y su contacto con la pirita es neto.

**Bornita (0.3%):** se presenta como producto de reemplazamiento de la calcopirita, su forma y tamaño depende del grado de reemplazamiento que en algunos lugares es completo, el color en nicoles paralelos es rosado opaco y generalmente el reemplazamiento se da de adentro hacia afuera.

- **Paragénesis 1: pirita<sub>1</sub> + rutilo**
- **Paragénesis 2: pirita<sub>2</sub> + calcopirita + tennantita**

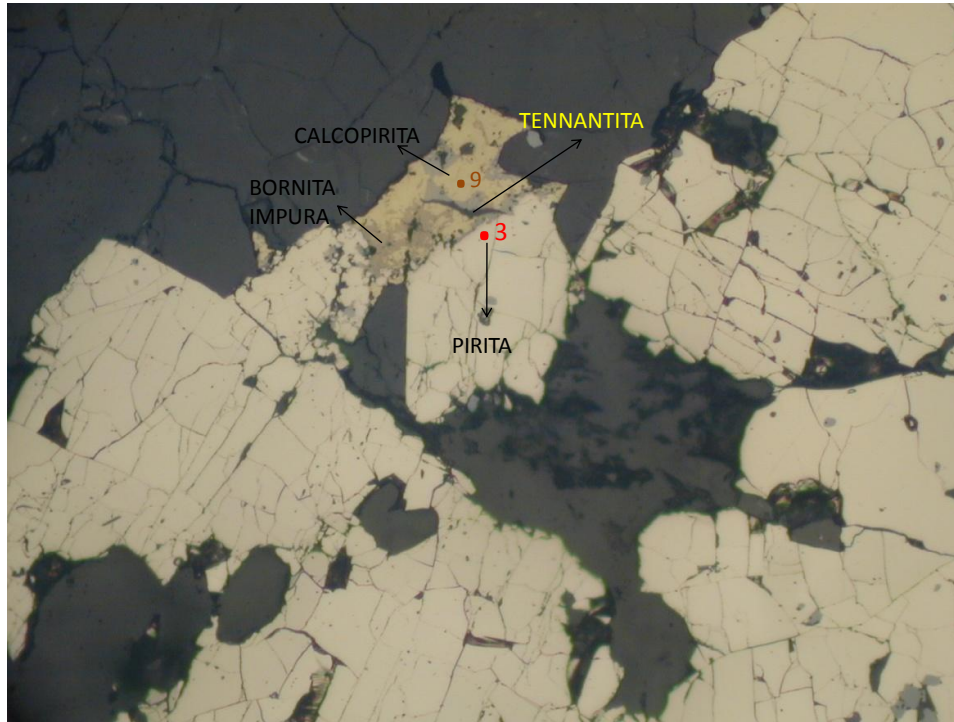
**ANEXO 3**  
**QUIMICA MINERAL**

M 72340



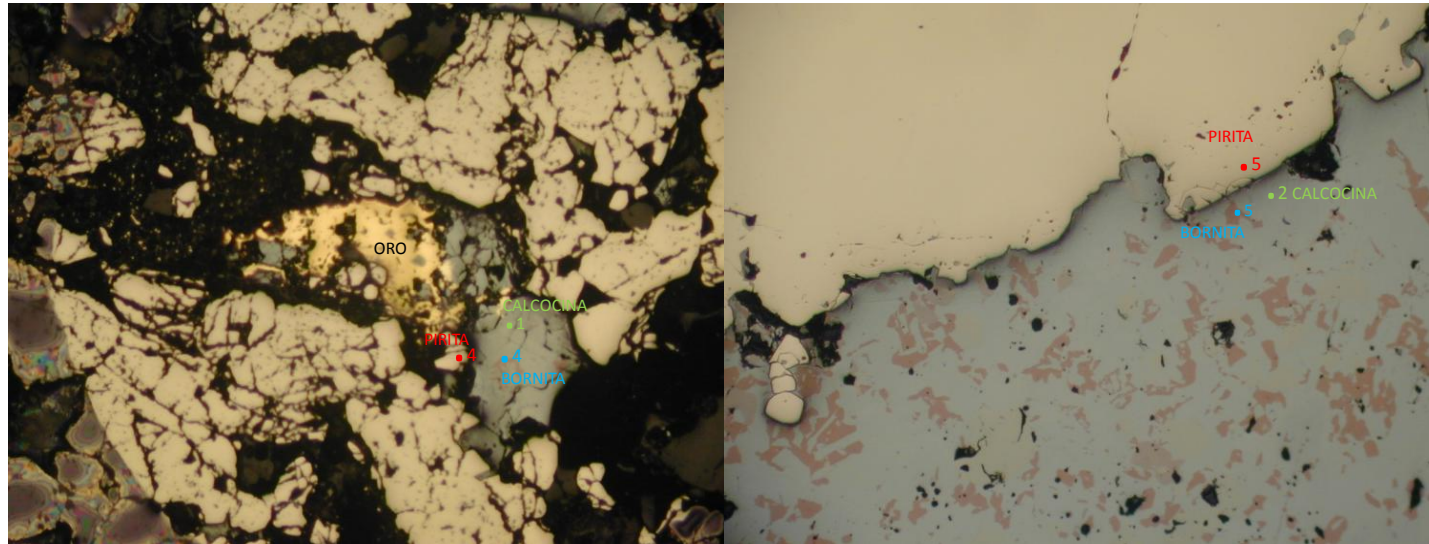
		Ele Wt%						Atomic					
72340	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Total	Cu	Fe	S	As	Co	CatTot
Pirita	1	0,39	46,22	54,28	0,000	0,047	100,96	0,007	0,982	2,009	0,000	0,001	3,000
Pirita	2	0,49	46,08	54,52	0,089	0,041	101,25	0,009	0,976	2,012	0,001	0,001	3,000
		Ele Wt%						Atomic					
72340	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
Calcosina	1	79,44	0,81	19,78	0,704	0,019	100,80	1,986	0,023	0,980	0,010	0,000	3,000
Calcosina	2	78,82	0,67	19,21	0,635	0,112	99,73	2,000	0,019	0,966	0,010	0,002	3,000
		Ele Wt%						Atomic					
72340	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
Bornita	3	61,54	11,11	25,64	0,984	0,042	99,32	4,900	1,007	4,045	0,046	0,003	10,000
Bornita	4	63,16	10,80	25,91	0,716	0,000	100,58	1,490	0,290	1,211	0,010	0,000	3,000

M 72601



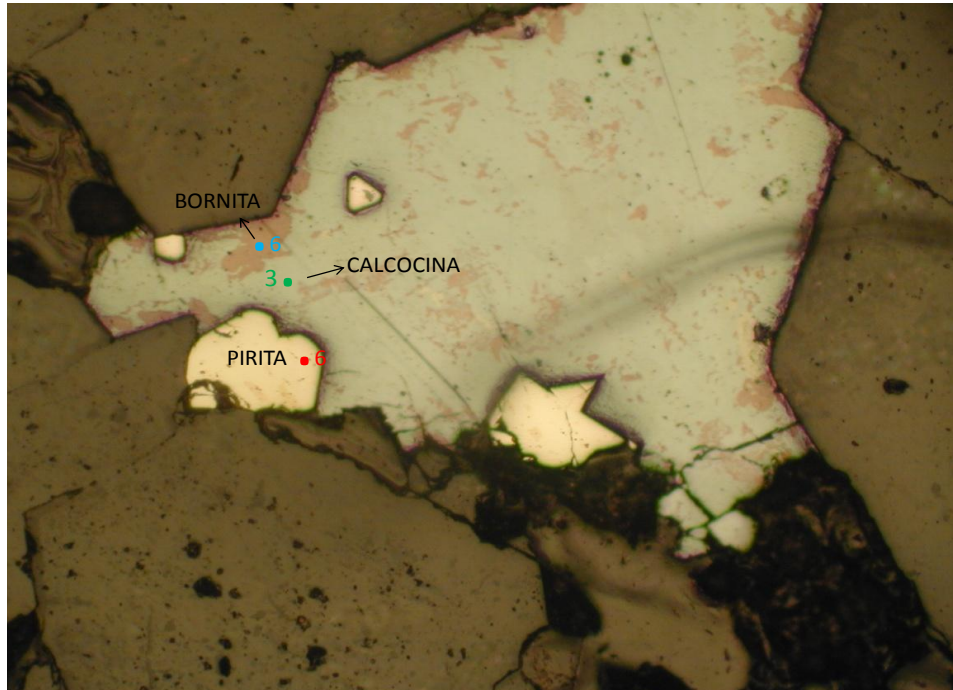
		Ele Wt%					Atomic						
72601	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot		
	3	0,15	46,20	53,66	0,044	100,12	0,003	0,991	2,004	0,001	3,000		
		Ele Wt%					Atomic						
72601	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
	9	34,33	28,44	33,89	0,044	0,161	96,87	1,025	0,966	2,005	0,001	0,004	4,000

M 519274



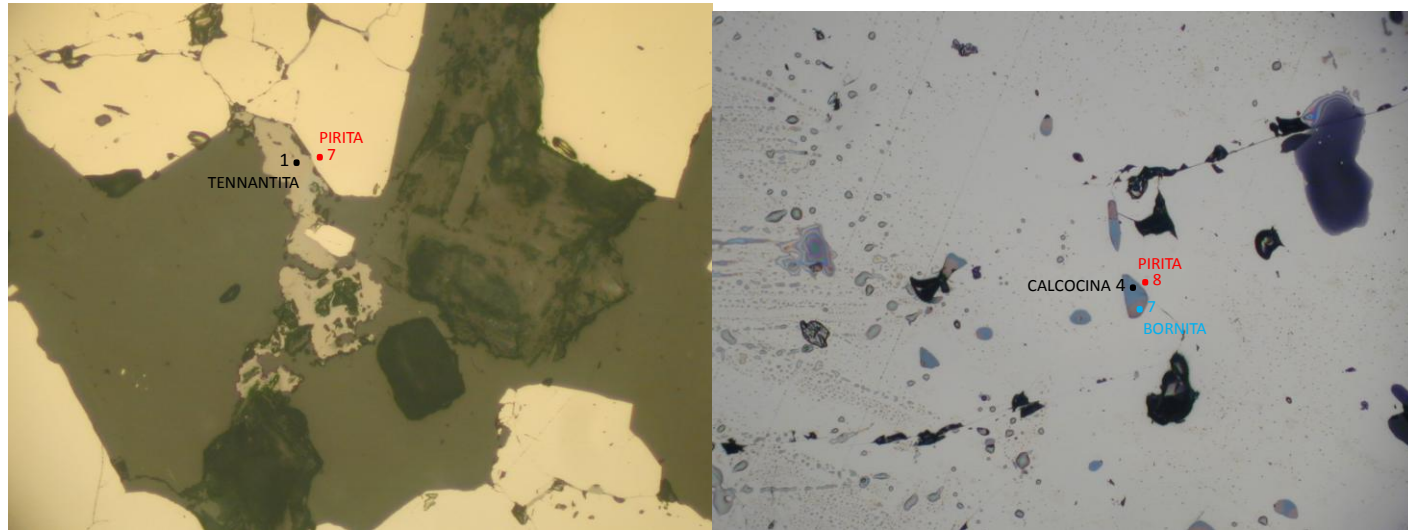
		Ele Wt%					Atomic						
519274	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot		
Pirita	4	0,80	45,90	54,91	0,039	101,68	0,015	0,968	2,016	0,001	3,000		
Pirita	5	0,47	45,95	54,49	0,040	100,99	0,009	0,975	2,014	0,001	3,000		
		Ele Wt%					Atomic						
519274	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot		
Bornita	4	63,74	10,50	25,91	0,452	100,61	5,007	0,939	4,033	0,021	10,000		
Bornita	5	63,35	10,75	26,31	0,334	100,75	4,953	0,956	4,076	0,015	10,000		
		Ele W%						Atomic					
519274	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
Calcosina	1	79,92	0,05	19,65	0,466	0,148	100,34	2,009	0,001	0,979	0,007	0,003	3,000
Calcosina	2	79,45	0,25	20,42	0,309	0,088	100,67	1,978	0,007	1,007	0,005	0,002	3,000

M 519290



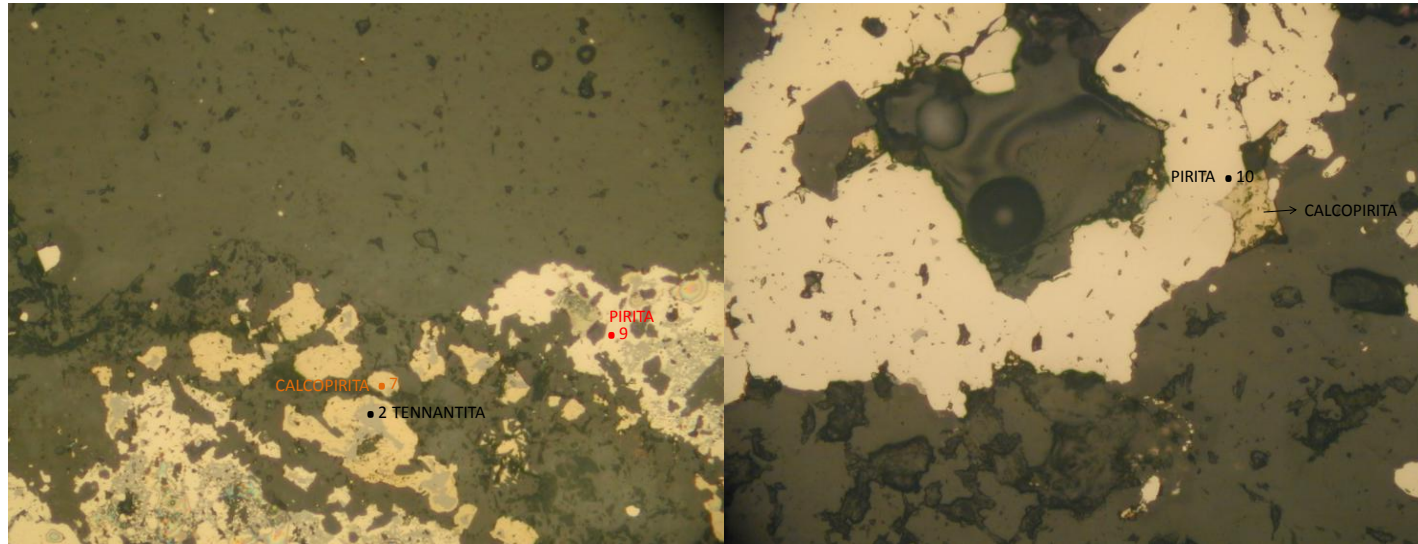
		Ele Wt%					Atomic										
519290	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot						
	6	1,14	46,33	52,95	0,049	100,49	0,022	0,996	1,982	0,001	3,000						
		Ele Wt%					Atomic										
519290	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot						
	6	63,74	10,54	25,57	0,189	100,05	5,038	0,948	4,005	0,009	10,000						
		Ele Wt%							Atomic								
519290	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Bi	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Bi	CatTot		
	3	78,88	0,28	20,26	0,260	0,078	0,190	100,00	1,978	0,008	1,007	0,004	0,002	0,001	3,000		

744054



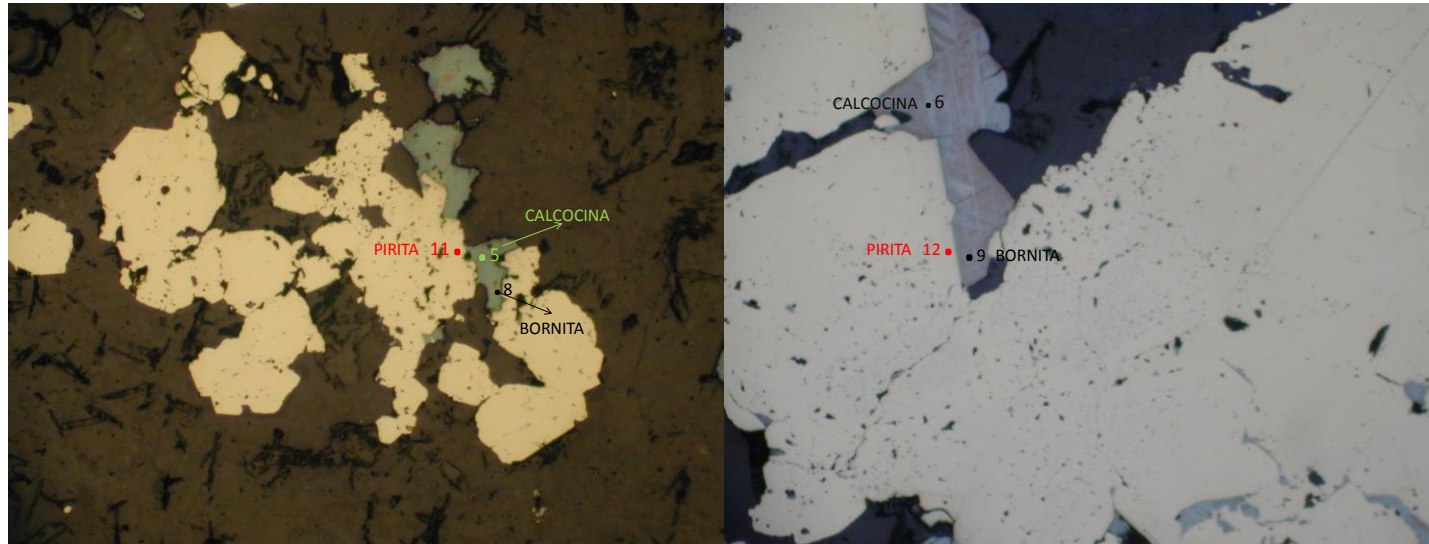
		Ele Wt%					Atomic														
744054	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot										
Bornita	7	62,20	11,99	26,31	0,198	100,70	4,856	1,065	4,070	0,009	10,000										
		Ele Wt%							Atomic												
744054	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Ni	Total	Cu	Fe	S	As	Co	Ni	CatTot						
Pirita	7	0,29	46,14	54,18	0,123	0,057	0,054	100,85	0,005	0,982	2,008	0,002	0,001	0,001	3,000						
Pirita	8	0,37	46,29	54,16	0,002	0,049	0,022	100,89	0,007	0,985	2,007	0,000	0,001	0,001	3,000						
		Ele Wt%							Atomic												
744054	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	CatTot				
Calcosina	4	75,60	2,04	22,09	0,200	0,046	0,011	0,379	100,37	1,859	0,057	1,077	0,003	0,001	0,000	0,003	3,000				
		Ele Wt%							Atomic												
744054	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
Tennantita	1	46,48	0,61	30,38	0,247	14,280	5,680	0,220	0,000	0,000	97,89	10,989	0,163	14,233	0,032	2,862	0,700	0,015	0,000	0,000	29,000

M 468430



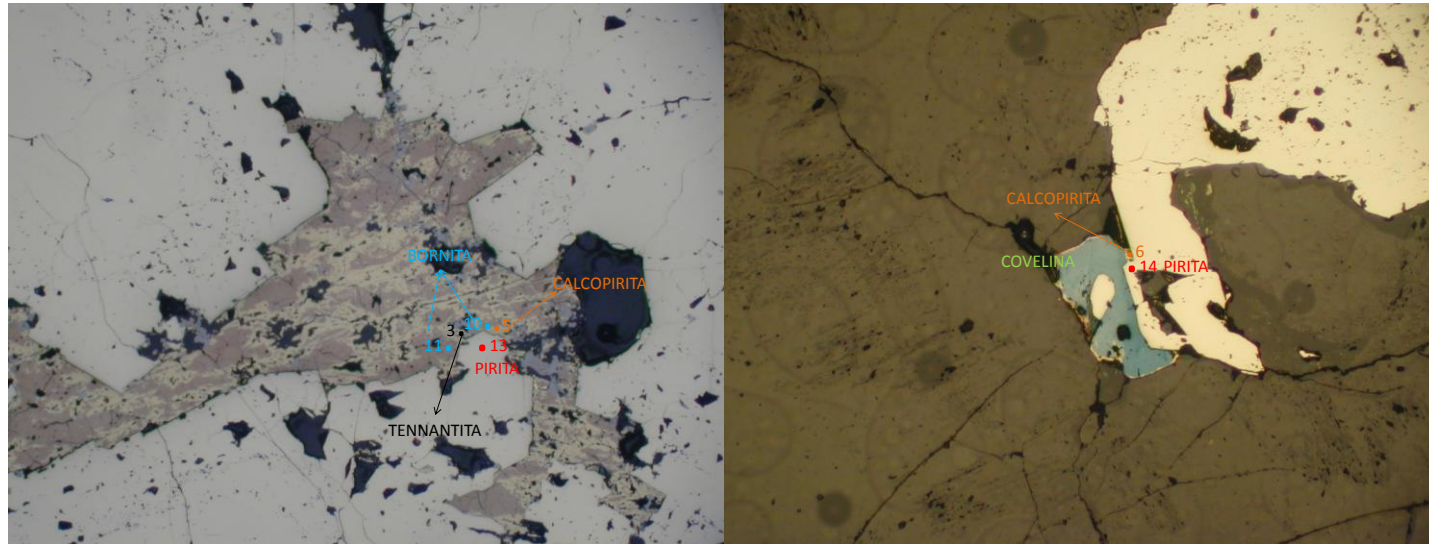
		Ele Wt%						Atomic													
468430	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot								
Calcopirita	7	34,66	28,95	34,64	0,117	0,174	98,54	1,016	0,965	2,012	0,002	0,004	4,000								
Calcopirita	8	34,09	30,35	34,52	0,008	0,063	99,03	0,995	1,008	1,996	0,000	0,002	4,000								
		Ele Wt%						Atomic													
468430	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Co	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Co	CatTot						
Pirita	9	0,58	46,06	53,52	0,022	0,565	0,048	100,79	0,011	0,985	1,994	0,000	0,009	0,001	3,000						
Pirita	10	0,13	46,73	53,83	0,000	0,037	0,057	100,80	0,003	0,996	1,999	0,000	0,001	0,001	3,000						
		Ele Wt%								Atomic											
468430	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
Tennantita	2	47,84	0,94	31,34	0,000	16,750	1,377	0,000	0,000	0,000	98,25	11,020	0,251	14,306	0,000	3,267	0,164	0,000	0,000	0,000	29,000

M 519284



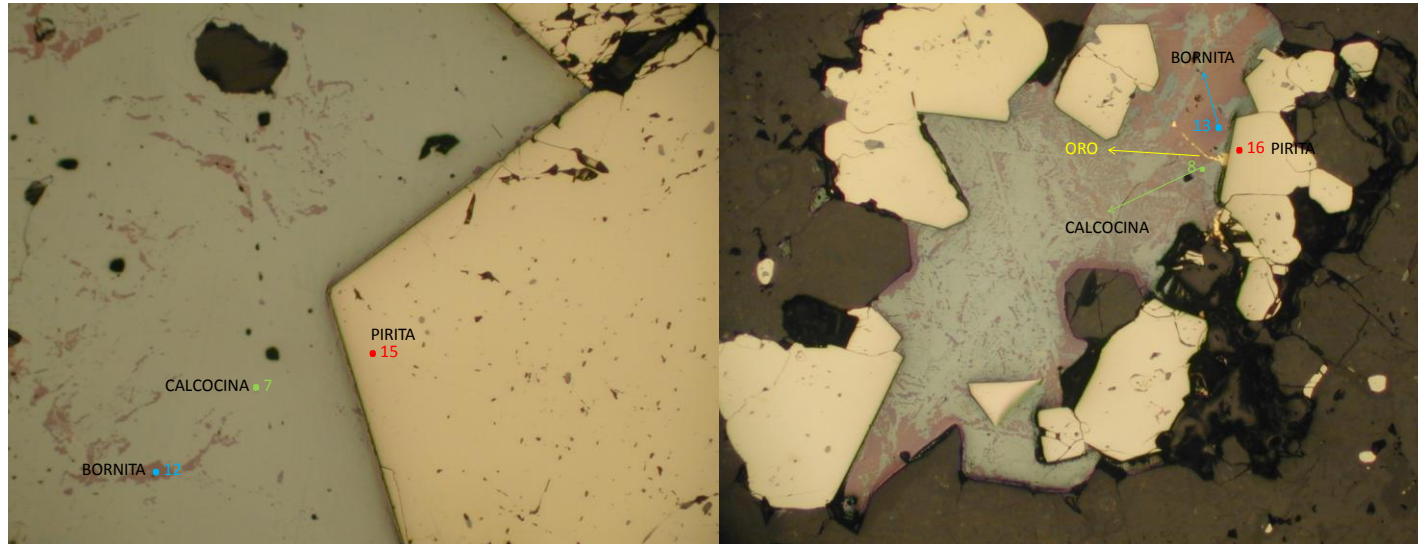
		Ele Wt%					Atomic						
519284	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot		
Bornita	8	63,77	10,00	25,75	0,048	99,56	5,053	0,901	4,043	0,002	10,000		
Bornita	9	63,71	10,46	25,94	0,110	100,24	5,013	0,937	4,044	0,005	10,000		
		Ele Wt%						Atomic					
519284	Punto	Cu	Fe	S	Co	Ni	Total	Cu	Fe	S	Co	Ni	CatTot
Pirita	11	0,31	46,47	54,10	0,049	0,128	101,07	0,006	0,988	2,003	0,001	0,003	3,000
Pirita	12	2,12	44,92	53,94	0,033	0,009	101,04	0,040	0,957	2,002	0,001	0,000	3,000
		Ele Wt%						Atomic					
519284	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Bi	Total	Cu	Fe	S	Ag	Bi	CatTot
Calcosina	5	75,96	1,67	22,09	0,066	0,326	100,21	1,870	0,047	1,078	0,001	0,002	3,000
Calcosina	6	79,18	0,50	20,27	0,137	0,228	100,41	1,978	0,014	1,003	0,002	0,002	3,000

M 677811



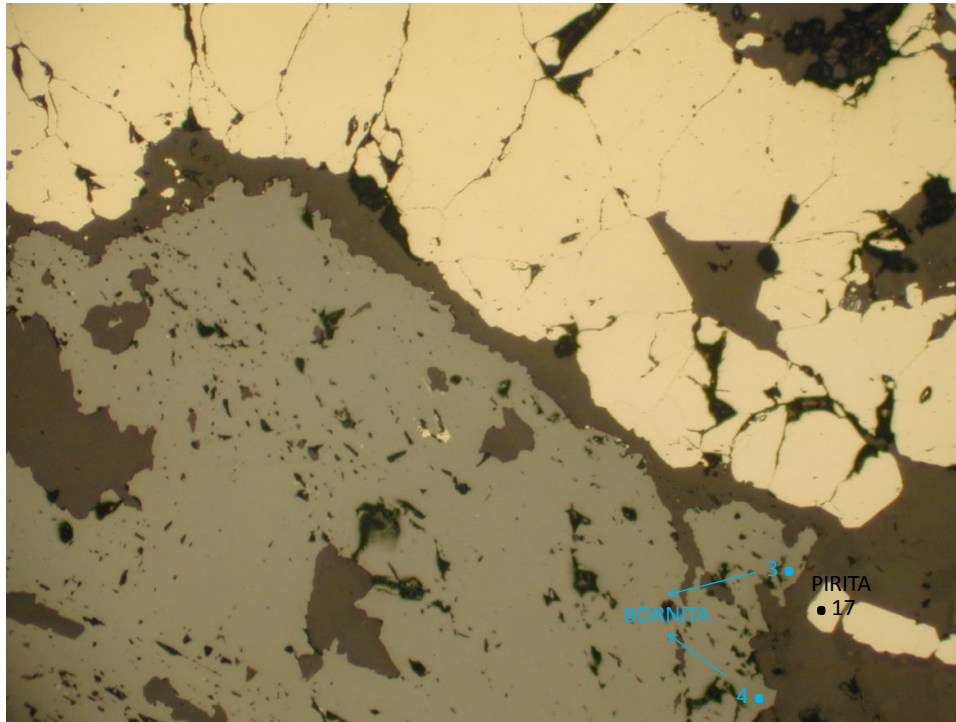
		Ele Wt%				Atomic															
677833	Punto	Cu	Fe	S	Total	Cu	Fe	S	CatTot												
Covelina	1	65,42	0,88	32,40	98,71	1,002	0,015	0,983	2,000												
		Ele Wt%				Atomic															
677811	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot										
Pirita	13	0,50	46,10	54,45	0,038	101,16	0,009	0,978	2,011	0,001	3,000										
Pirita	14	0,64	45,91	52,57	0,053	99,18	0,012	0,997	1,989	0,001	3,000										
		Ele Wt%				Atomic															
677811	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot								
Calcopirita	5	34,26	29,07	33,56	0,107	0,019	97,01	1,023	0,988	1,986	0,002	0,001	4,000								
Calcopirita	6	33,51	29,54	34,10	0,109	0,104	97,36	0,994	0,997	2,004	0,002	0,003	4,000								
		Ele Wt%				Atomic															
677811	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot								
Bornita	10	58,78	12,64	28,77	0,191	0,070	100,45	4,510	1,104	4,374	0,009	0,005	10,000								
Bornita	11	57,95	12,46	29,26	0,179	0,036	99,89	4,449	1,088	4,452	0,008	0,002	10,000								
		Ele Wt%				Atomic															
677811	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
Tennantita	3	47,42	1,27	31,32	0,068	16,970	1,513	0,000	0,000	0,000	98,71	10,896	0,332	14,261	0,009	3,307	0,181	0,000	0,000	0,000	29,000

M 565494



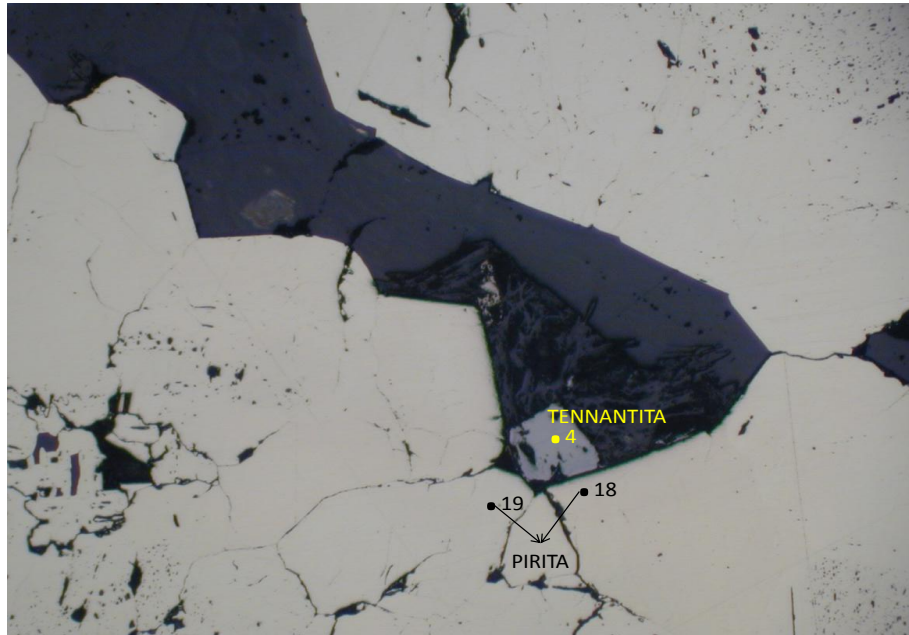
		Ele Wt%					Atomic					
565494	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot	
	Pirita	15	0,13	46,39	54,27	0,053	100,88	0,003	0,986	2,010	0,001	3,000
	Pirita	16	1,16	46,35	52,68	0,061	100,30	0,022	0,999	1,977	0,001	3,000
		Ele Wt%					Atomic					
565494	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot	
	Calcosina	7	79,48	0,01	19,40	0,529	99,54	2,015	0,000	0,975	0,008	3,000
	Calcosina	8	79,00	0,43	19,93	0,432	99,89	1,986	0,012	0,993	0,006	3,000
		Ele Wt%					Atomic					
565494	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot	
	Bornita	12	63,62	10,36	25,76	0,348	100,13	5,021	0,931	4,029	0,016	10,000
	Bornita	13	63,33	10,88	25,90	0,339	100,44	4,977	0,973	4,034	0,016	10,000

M 566185



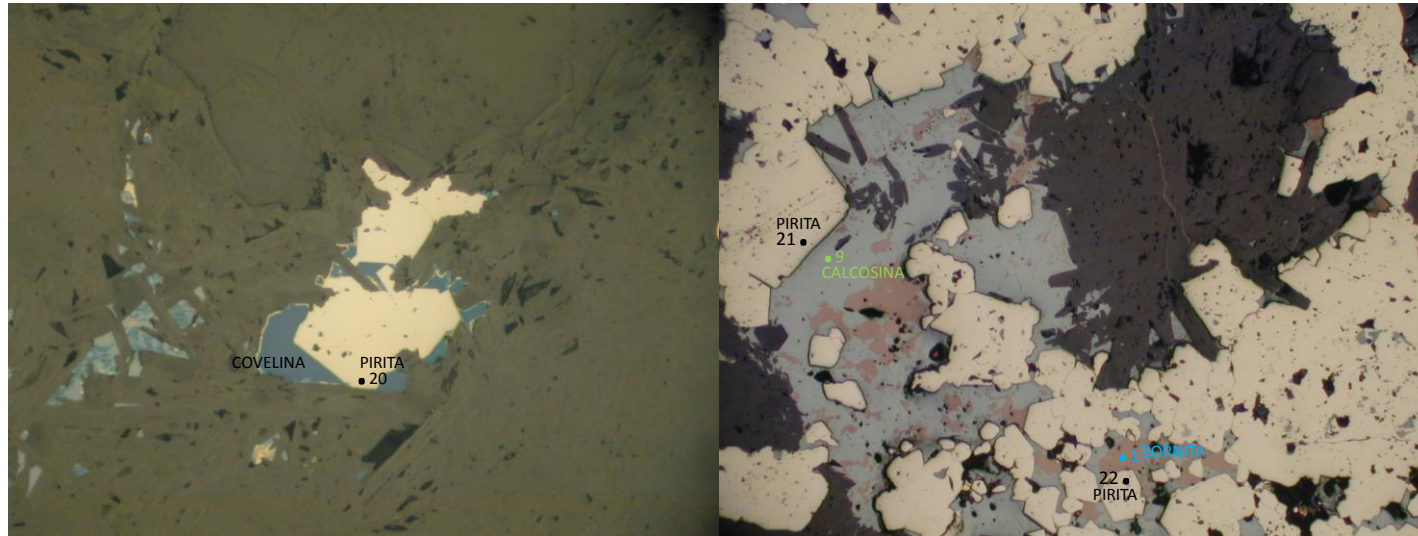
		Ele Wt%						Atomic					
566185	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Total	Cu	Fe	S	As	Co	CatTot
Pirita	17	0,01	45,84	54,23	1,056	0,057	101,22	0,000	0,974	2,007	0,017	0,001	3,000
		Ele Wt%						Atomic					
566185	Punto	Cu	Fe	S	Cd	Zn	Total	Cu	Fe	S	Cd	Zn	CatTot
Esfalerita	3	0,05	0,32	32,78	0,65	63,90	97,76	0,0008	0,0056	1,0158	0,0058	0,9713	2,0000
Esfalerita	4	0,06	0,28	34,00	0,52	64,68	99,60	0,0009	0,0049	1,0289	0,0045	0,9601	2,0000

M 677833



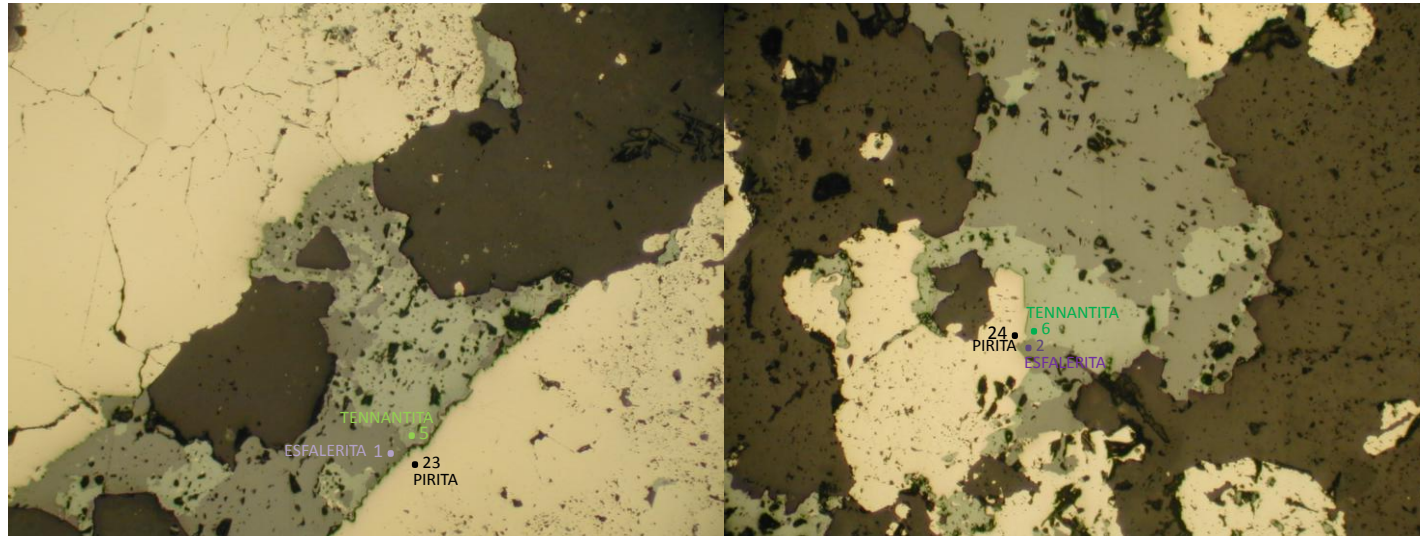
		Ele Wt%						Atomic													
677833	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Total	Cu	Fe	S	As	Co	CatTot								
Pirita	18	0,30	46,63	54,36	0,178	0,060	101,54	0,006	0,987	2,004	0,003	0,001	3,000								
Pirita	19	0,40	44,82	50,66	4,690	0,066	100,66	0,008	0,982	1,933	0,077	0,001	3,000								
		Ele Wt%						Atomic													
677833	Punto	Cu	Fe	S	As	Sb	Total	Cu	Fe	S	As	Sb	CatTot								
Covelina	1	65,42	0,88	32,4	0,002	0,003	98,71	1,002	0,015	0,983	0	0	2								
		Ele Wt%										Atomic									
677833	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
Tennantita	4	48,78	0,17	31,51	0,000	18,580	0,065	0,000	0,000	0,000	99,15	11,118	0,044	14,233	0,000	3,593	0,007	0,000	0,000	0,000	29,000

M 824197



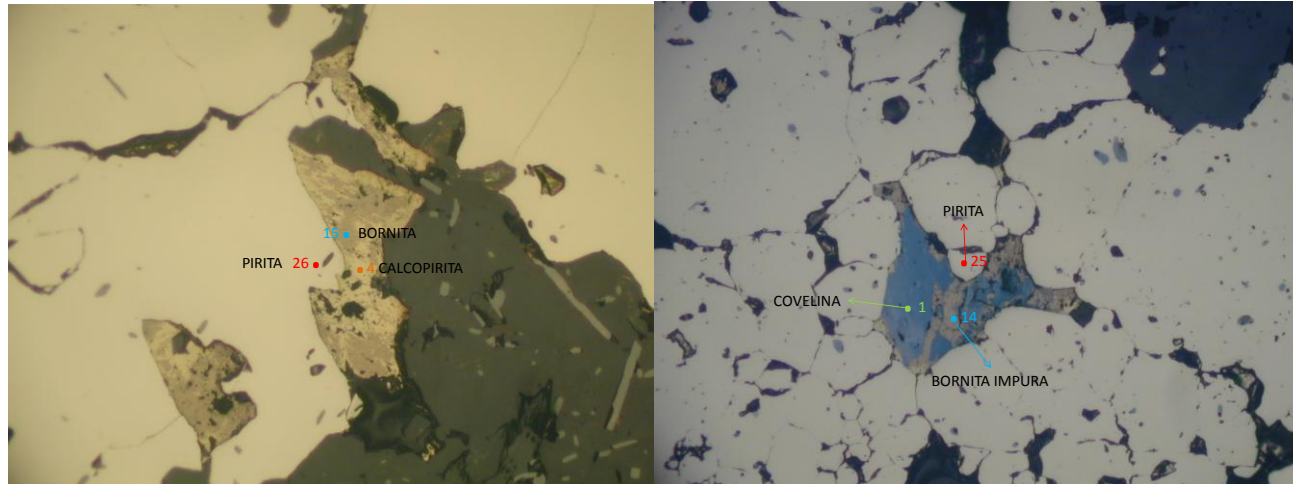
		Ele Wt%					Atomic				
824197	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot
Pirita	20	0,25	46,51	52,58	0,046	99,45	0,005	1,008	1,985	0,001	3,000
Pirita	21	0,46	46,20	54,49	0,047	101,25	0,009	0,979	2,011	0,001	3,000
Pirita	22	0,71	46,53	54,03	0,045	101,35	0,013	0,988	1,998	0,001	3,000
		Ele Wt%					Atomic				
824197	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot
Calcosina	9	78,97	0,53	20,67	0,277	100,44	1,963	0,015	1,018	0,004	3,000
		Ele Wt%					Atomic				
824197	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot
Bornita	1	63,10	11,28	25,25	0,196	99,83	5,004	1,018	3,968	0,009	10,000

M 991071



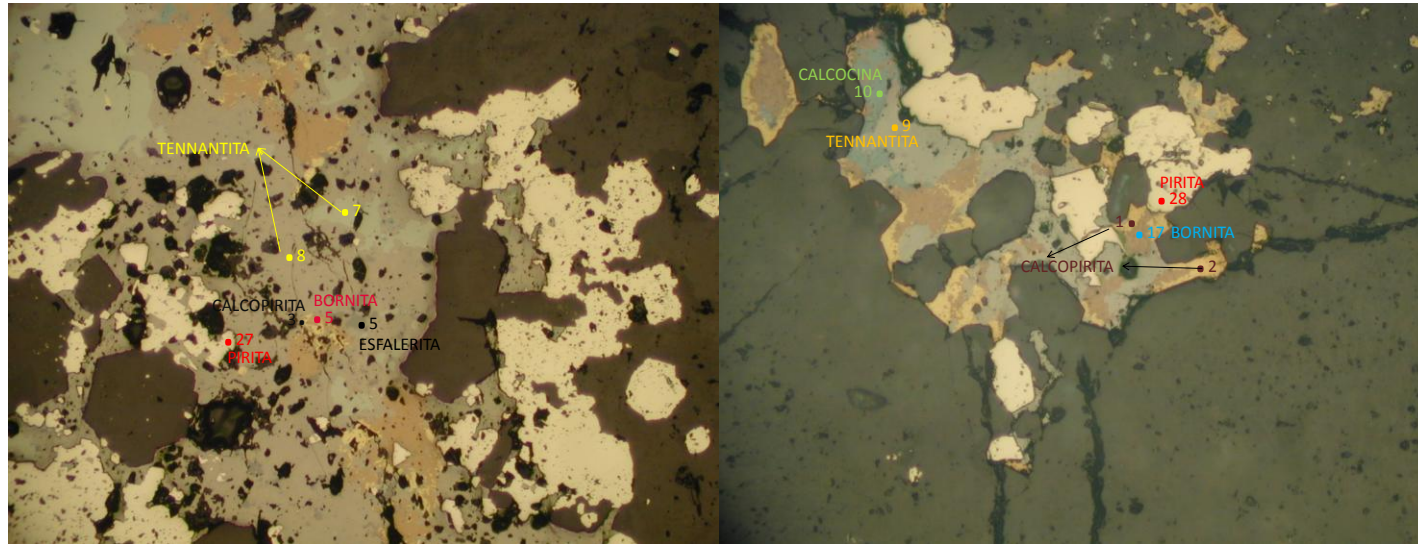
		Ele Wt%						Atomic														
991071	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Total	Cu	Fe	S	As	Co	CatTot									
	Pirita	23	0,21	46,51	52,34	0,095	0,035	99,23	0,004	1,011	1,982	0,002	0,001	3,000								
	Pirita	24	1,63	45,39	52,96	0,196	0,034	100,21	0,031	0,978	1,987	0,003	0,001	3,000								
		Ele Wt%							Atomic													
991071	Punto	Cu	Fe	S	As	Cd	Zn	Total	Cu	Fe	S	As	Cd	Zn	CatTot							
	Esfalerita	1	0,24	0,36	32,37	0,054	1,84	63,56	98,44	0,0038	0,0064	1,0048	0,0007	0,0163	0,9679	2,0000						
	Esfalerita	2	0,43	1,06	32,14	0,212	0,91	63,58	98,32	0,0100	0,0283	1,4949	0,0042	0,0120	1,4505	3,0000						
		Ele Wt%										Atomic										
991071	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot	
	Tennantita	5	42,80	1,02	27,19	0,142	19,130	1,123	0,000	0,000	7,240	98,65	10,578	0,277	12,830	0,020	3,863	0,139	0,000	0,000	1,676	29,000
	Tennantita	6	43,35	0,91	26,91	0,154	19,630	0,119	0,000	0,000	8,200	99,26	10,264	0,244	12,627	0,021	3,943	0,015	0,000	0,000	1,886	29,000

M 955753



		Ele Wt%				Atomic							
955753	Punto	Cu	Fe	S	Total	Cu	Fe	S	CatTot				
Covelina	2	66,85	0,63	32,60	100,08	1,012	0,011	0,978	2,000				
		Ele Wt%					Atomic						
955753	Punto	Cu	Fe	S	Co	Total	Cu	Fe	S	Co	CatTot		
Pirita	25	0,55	46,53	51,43	0,042	98,59	0,011	1,022	1,966	0,001	3,000		
Pirita	26	0,15	46,48	53,92	0,048	100,64	0,003	0,992	2,004	0,001	3,000		
		Ele Wt%					Atomic						
955753	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot		
Bornita	14	56,94	12,03	29,68	0,153	98,80	4,396	1,057	4,540	0,007	10,000		
Bornita	15	58,16	11,29	29,97	0,224	99,65	4,456	0,984	4,550	0,010	10,000		
		Ele Wt%					Atomic						
955753	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
Calcopirita	4	34,84	29,08	34,55	0,137	0,125	98,73	1,020	0,969	2,005	0,002	0,003	4,000

M 955765



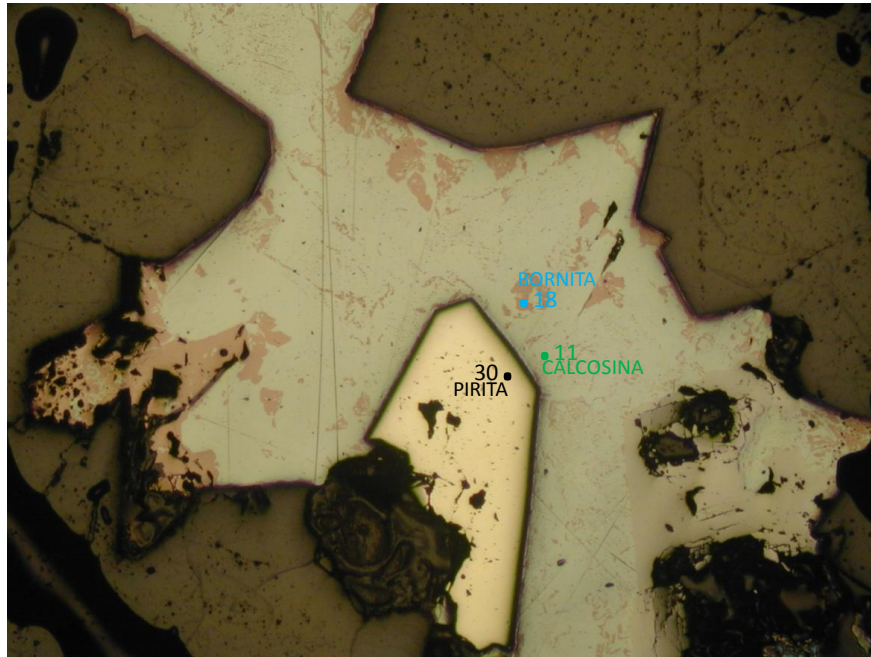
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	As	Co	Total	Cu	Fe	S	Ag	Co	CatTot								
Pirita	27	0,65	46,35	54,41	0,142	0,024	101,59	0,012	0,980	2,005	0,000	0,001	3,000								
Pirita	28	0,77	45,87	54,02	0,073	0,030	100,78	0,015	0,978	2,006	0,000	0,001	3,000								
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot								
Calcopirita	1	34,07	29,17	33,91	0,107	0,087	97,34	1,013	0,987	1,997	0,002	0,002	4,000								
Calcopirita	2	34,82	29,00	34,46	0,180	0,069	98,53	1,022	0,969	2,004	0,003	0,002	4,000								
Calcopirita	3	44,13	22,53	31,98	0,275	0,072	98,99	1,324	0,769	1,901	0,005	0,002	4,000								
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot								
Bornita	16	62,98	10,66	25,99	0,296	0,024	99,95	4,967	0,957	4,061	0,014	0,002	10,000								
Bornita	17	61,68	11,39	26,14	0,156	0,156	99,52	4,869	1,023	4,090	0,007	0,010	10,000								
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	As	Cd	Zn	Total	Cu	Fe	S	As	Cd	Zn	CatTot						
Esfalerita	5	2,01	0,16	32,81	0,161	3,32	60,23	98,70	0,0314	0,0028	1,0177	0,0021	0,0294	0,9164	2,0000						
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Zn	CatTot		
Calcosina	10	77,40	0,71	21,78	0,164	0,000	0,000	0,000	0,006	100,06	1,912	0,020	1,066	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	3,000		
		Ele Wt%						Atomic													
955765	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot
Tennantita	7	39,87	0,12	24,33	0,296	6,240	18,560	0,167	0,000	7,480	97,06	10,443	0,034	12,633	0,046	1,387	2,537	0,013	0,000	1,905	29,000
Tennantita	8	44,59	0,37	29,80	0,139	5,740	17,440	0,000	0,000	0,256	98,33	10,925	0,102	14,469	0,020	1,192	2,230	0,000	0,000	0,061	29,000
Tennantita	9	48,51	0,39	31,21	0,084	16,590	2,433	0,000	0,000	0,000	99,21	11,149	0,100	14,212	0,011	3,234	0,292	0,000	0,000	0,000	29,000

M 823991



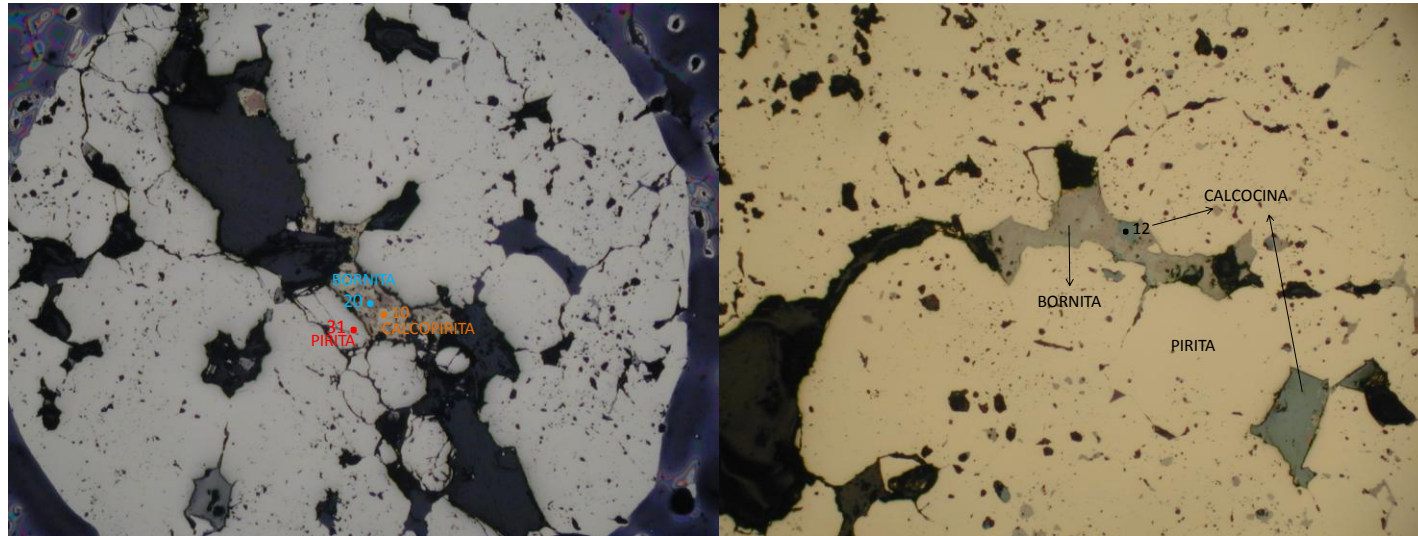
		Ele Wt%						Atomic															
823991	Punto	Cu	Fe	S	Co	Ni	Total	Cu	Fe	S	Co	Ni	CatTot										
	Pirita	29	0,91	46,32	53,19	0,043	0,046	100,56	0,017	0,993	1,987	0,001	0,001	3,000									
		Ele Wt%						Atomic															
823991	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot										
	Calcopirita	11	35,26	28,08	35,20	0,068	0,084	98,70	1,029	0,932	2,035	0,001	0,002	4,000									
		Ele Wt%						Atomic															
823991	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot										
	Bornita	19	61,18	11,88	26,66	0,087	0,113	99,92	4,792	1,059	4,138	0,004	0,008	10,000									
		Ele Wt%										Atomic											
823991	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Zn	CatTot				
	Covelina	3	70,12	0,98	27,73	0,455	0,000	0,000	0,000	99,29	7,762	0,124	6,084	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	14,000				
		Ele Wt%										Atomic											
823991	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	Sb	Bi	Te	Zn	CatTot		
	Tennantita	10	42,72	0,60	25,39	0,193	7,560	4,600	7,330	7,380	3,770	99,54	12,380	0,174	7,363	0,056	2,192	1,334	2,126	2,140	1,093	29,000	

M 73215



		Ele Wt%				Atomic						
73215	Punto	Cu	Fe	S	Total	Cu	Fe	S	CatTot			
	Pirita	30	0,37	46,05	53,95	100,41	0,007	0,984	2,008	3,000		
		Ele Wt%					Atomic					
73215	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot	
	Calcosina	11	80,88	0,24	19,72	0,495	101,34	2,013	0,007	0,973	0,007	3,000
		Ele Wt%					Atomic					
73215	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot	
	Bornita	18	64,36	10,37	26,00	0,274	101,06	5,032	0,923	4,028	0,013	10,000

M 8122



		Ele Wt%				Atomic							
8122	Punto	Cu	Fe	S	Total	Cu	Fe	S	CatTot				
Pirita	31	0,28	46,24	53,76	100,39	0,005	0,990	2,004	3,000				
		Ele Wt%				Atomic							
8122	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot		
Calcosina	25	77,01	1,11	22,02	0,240	100,38	1,893	0,031	1,073	0,004	3,000		
		Ele Wt%				Atomic							
8122	Punto	Cu	Fe	S	Ag	Total	Cu	Fe	S	Ag	CatTot		
Calcopirita	10	35,11	29,64	34,82	0,067	99,65	1,019	0,978	2,002	0,001	4,000		
		Ele Wt%				Atomic							
8122	Punto	Cu	Fe	S	Ag	As	Total	Cu	Fe	S	Ag	As	CatTot
Bornita	21	62,07	11,97	26,28	0,659	0,022	101,01	4,842	1,063	4,063	0,030	0,001	10,000

**ANEXO 4**

**MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES**

**FLUIDAS**

**PETROGRAFÍA Y MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS EN DOS MUESTRAS DE  
LAS BRECHAS DEL SECTOR DE LA MASCOTA EN CALIFORNIA SANTANDER**

**REALIZADO POR  
JAIRO CONDE GÓMEZ  
GEOLOGO UIS**

**INFORME REALIZADO PARA LA COMPAÑÍA CVS EXPLORATION LTDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
ABRIL DE 2010**

## CONTENIDO

1. ASPECTOS TEÓRICOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS.....	4
1.1 DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE SU ESTUDIO.....	4
1.1.1 TEMPERATURA.....	5
1.1.2 PRESIÓN.....	6
1.1.3 DENSIDAD.....	6
1.1.4 COMPOSICIÓN.....	6
1.2 MORFOLOGÍA DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS.....	7
1.2.1 IRREGULARES.....	8
1.2.2 REGULARES.....	8
1.2.3 OVOIDES.....	9
1.2.4 TABULARES/PRISMÁTICAS.....	9
1.3 CONTENIDOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS.....	9
1.3.1 MONOFÁSICAS.....	9
1.3.2 BIFÁSICAS.....	10
1.3.3 TRIFÁSICAS.....	10
1.3.4 POLIFÁSICAS.....	10
1.4 CLASIFICACIÓN GENÉTICA.....	12
1.4.1 CRITERIOS PARA UN ORIGEN PRIMARIO.....	14
1.4.2 CRITERIOS PARA UN ORIGEN SECUNDARIO.....	14
1.4.3 CRITERIOS PARA DISTINGUIR LAS PSEUDOSUCUNDARIAS.....	15
2. RESULTADOS.....	16

2.1 PETROGRAFÍA.....	16
2.2 MICROTERMOMETRÍA.....	22
2.1.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS.....	22
2.2.2 DATOS DE MICROTERMOMETRÍA OBTENIDOS.....	26
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PETROGRAFÍA Y MICROTERMOMETRÍA.....	26
3.1 EVENTOS PALEOHIDROTERMALES.....	26
3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PALEOFLUIDOS QUE DIERON ORIGEN A LOS AGREGADOS INEQUIGRANULARES DE CUARZO.....	28
3.3 SALINIDAD DE LOS PALEOFLUIDOS QUE DIERON ORIGEN A LOS AGREGADOS INEQUIGRANULARES DE CUARZO.....	29
3.4 TEMPERATURA DE LOS PALEOFLUIDOS.....	30
4. CONCLUSIONES.....	32
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

## **1. ASPECTOS TEÓRICOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS**

Según Roedder (1984), con la excepción de aquellos cristales en rocas metamórficas que han crecido en el estado sólido; todos los cristales en los materiales terrestres y extraterrestres han crecido a partir de algún tipo de fluido; los minerales de meteoritos, rocas lunares y rocas ígneas terrestres se formaron a partir de fluidos fundidos silicatados; algunos de los minerales de estos grupos se han formado en presencia de una fase adicional de vapor de baja densidad.

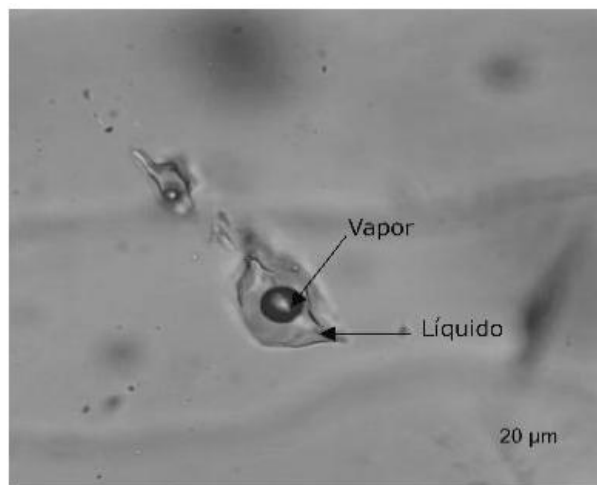
Los cristales neoformados en muchas rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas, y en casi todos los depósitos minerales, se originaron a partir de un fluido acuoso rico en diversos solutos. Después de la cristalización, prácticamente los minerales de todas las rocas ígneas sedimentarias y metamórficas pueden experimentar fracturamiento una o más veces, y las fracturas han sido selladas en presencia de fluidos líquidos a gaseosos; durante estos procesos de crecimiento cristalino y relleno de fracturas, pequeñas cantidades del medio fluido de los alrededores son comúnmente atrapadas como inclusiones fluidas en el cristal hospedante. Si materiales sólidos también están presentes en el fluido, ellos empiezan a ser encerrados por los cristales en crecimiento como inclusiones sólidas; a menudo algo del fluido también es atrapado a medida que el cristal hospedante rodea la inclusión sólida.

### **1.1 DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE SU ESTUDIO**

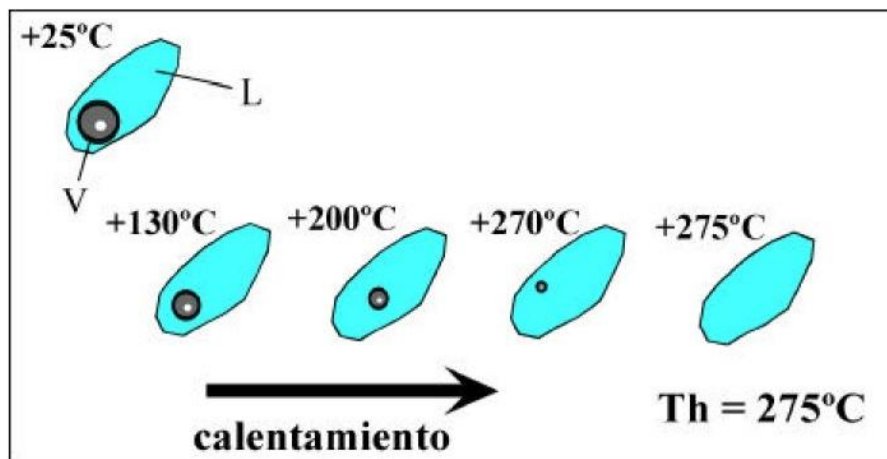
Las inclusiones fluidas, son cavidades rellenas de líquidos, gases y sólidos cristalinos formados a partir de los fluidos de los que se formaron y crecieron los minerales; en la FIGURA 1 se exponen varias inclusiones fluidas formadas por una fase líquida y una fase gaseosa. Debido a estas características, las inclusiones fluidas son útiles para conocer la temperatura, presión, densidad, y composición de los fluidos que formaron o atravesaron una roca.

### 1.1.1 TEMPERATURA

Al calentar una inclusión fluida, se puede observar que una determinada temperatura  $T$  (FIGURA 2), todas sus fases han homogenizado a una sola; esta temperatura de homogenización es la mínima temperatura de atrape que tenía el fluido cuando se formó la inclusión, por este motivo las inclusiones fluidas se convierten en geotermómetros apropiados para conocer la temperatura de muchos procesos en los cuales hay interacción de fluidos, por ejemplo: procesos de diagénesis y de migración de hidrocarburos



**FIGURA 1.** Asociación de Inclusiones fluidas formadas por una fase líquida y una fase gaseosa (tomado de Yparraguirre, 2005).



**FIGURA 2.** Homogenización de las fases presentes a una sola, cuando la inclusión fluida es calentada (imagen tomada de Velasco, 2004).

### **1.1.2 PRESIÓN**

Los datos obtenidos a partir de las inclusiones fluidas pueden suministrar información sobre la presión del ambiente al momento del atrapamiento. Una variedad de procedimientos han sido usados para este propósito, todos ellos son basados en datos experimentales sobre las propiedades termodinámicas de fluidos similares, y muchas proveen información sobre la mínima o máxima presión de formación, aun cuando esto es limitado puede ser útil; las presiones medidas varían desde cerca a la atmosférica hasta del orden de varios kilobares.

### **1.1.3 DENSIDAD**

Si la composición y densidad de cada una de las fases presentes en una inclusión fluida (por ejemplo: líquidos, gases, cristales) puede ser determinada, junto con sus volúmenes individuales, la densidad promedio total del material en la inclusión puede ser determinado. Tales densidades son importantes en conocer la circulación en el pasado de fluidos en la corteza terrestre, a medida que esta circulación es frecuentemente conducida por diferencias de densidades. Las inclusiones fluidas suministran los únicos datos directos sobre la densidad de estos fluidos.

### **1.1.4 COMPOSICIÓN**

Excepto para rocas ígneas y metamórficas de alto grado, los tipos más abundantes de inclusiones fluidas consisten de un líquido de baja viscosidad y una burbuja de gas o vapor cuyo volumen generalmente es menor que el del líquido a temperatura ambiente.

El líquido consiste en una solución del agua con menos del 10% de porcentaje en peso en solutos, pero cuyas concentraciones oscilan entre el 0% y más del 50%; los solutos

consisten en iones de Na, K, Ca, Mg, Cl, y SO<sub>4</sub>; en algunos casos el CO<sub>2</sub> en forma líquida y gaseosa pueden estar presente.

La burbuja que se forma por el mecanismo de nucleación a medida que la inclusión una vez formada, experimenta un descenso de temperatura, consiste de vapor de agua y CO<sub>2</sub> los cuales estaban originalmente disueltos en el fluido atrapado.

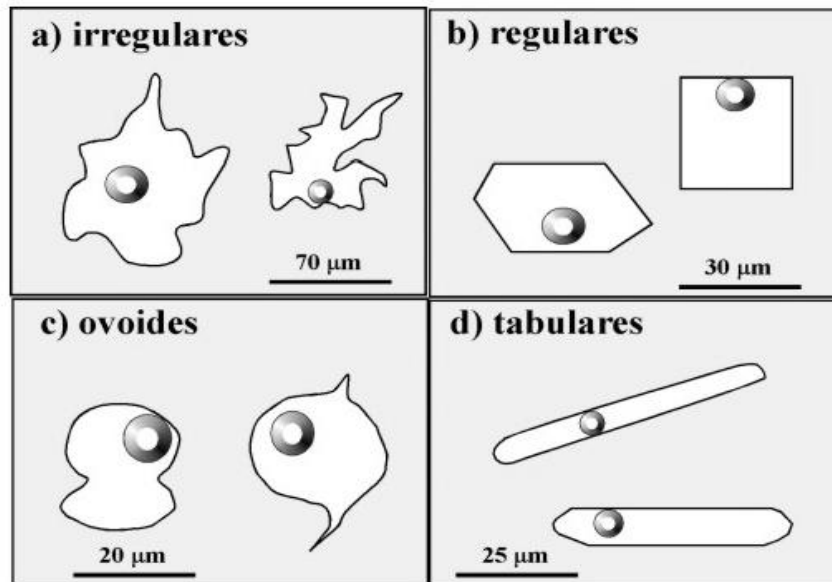
Si el fluido atrapado estaba sobresaturado, durante el proceso de enfriamiento pueden precipitar diminutos cristales denominados “cristales hijos”, en la TABLA 1 se resumen las propiedades de los sólidos hijos más frecuentemente encontrados en inclusiones fluidas.

NOMBRE	COMPOSICION	SISTEMA	HABITO
Halita	NaCl	Cúbico	Cubos
Silvita	KCl	Cúbico	Cubos
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	Rómbico	Prismático
Nahcolita	NaHCO <sub>3</sub>	Rómbico	Tabular
Dolomita	(Ca,Mg)CO <sub>3</sub>	Trigonal	Rombos
Cloruros Fe	FeCl <sub>n</sub>	Varios	Tabular
Dawsonita	NaAl(CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub>	Rómbico	Fibras
hematites	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trigonal	Hexagonal
Sulfuros de Fe	Varios	Varios	Automorfos
Micas	Varios	Monoclínico	Planar

**TABLA 1.** Propiedades ópticas de las fases sólidas más frecuentes en las inclusiones fluidas (tomado de Sheperd *et al.*, 1985).

## 1.2 MORFOLOGÍA DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

Si observamos un conjunto de inclusiones y nos fijamos en su aspecto, notaremos la existencia de una gran variedad de formas, gradando desde las completamente irregulares, hasta las formas automorfas, controladas por la estructura cristalina del mineral. No obstante podemos ensayar una clasificación morfológica, atendiendo exclusivamente a la regularidad de las paredes de las inclusiones (FIGURA 3).



**FIGURA 3.** Morfologías dominantes en las inclusiones fluidas (tomado de Velasco, 2004).

### 1.2.1 IRREGULARES

Esta categoría recoge a todas las inclusiones fluidas de formas aplastadas con bordes lobulados, esqueléticos, etc., cuyos planos externos no parecen reflejar los rasgos estructurales del mineral encajante. Suelen encontrarse alojadas en las superficies de exfoliación y en las microfisuras que cruzan los cristales.

### 1.2.2 REGULARES

Cuando los bordes de la inclusión muestran superficies planas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal o bien son paralelas a las caras cristalinas o direcciones de exfoliación. Este mimetismo puede llegar a copiar tan perfectamente la forma de encajante que la inclusión adopta la forma de un diminuto cristal negativo. Entre este extremo y las formas totalmente irregulares podemos encontrar todos los grados.

### **1.2.3 OVOIDES**

Presentan tendencia a las formas esferoidales u ovoides, con bordes siempre redondeados y en algunos casos extremos de ganchos o de huso.

### **1.2.4 TABULARES/PRISMÁTICAS**

En ellas domina el carácter elongado de los extremos más o menos redondeados. Suelen encontrarse en los minerales de desarrollo prismático y pueden considerarse como una variante extrema del tipo ovoide, previamente considerado, o bien una morfología regular próxima a los cristales negativos.

## **1.3 CONTENIDOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS**

Si atendemos a la naturaleza de los contenidos de las inclusiones, encontraremos gases, líquidos, y sólidos en diferentes proporciones. Desde este punto de vista, las inclusiones fluidas pueden clasificarse en:

- Monofásicas.
- Bifásicas.
- Trifásicas.
- Polifásicas.

### **1.3.1 MONOFÁSICAS**

Existen las formadas completamente por líquido (L), gas (V) o sólidos (S o inclusiones minerales). Entre las fluidas las más frecuentes son las rellenas de líquidos acuosos, en general formadas a muy baja temperatura. Las completamente rellenas de gas son mucho más raras (por ejemplo, las que aparecen en ambientes en los que se ha producido la ebullición de las soluciones acuosas), aunque pueden aparecer en ambientes volcánicos, sedimentarios y metamórficos en los que han circulado soluciones extremadamente ricas en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc. Los fluidos suelen contener como solutos otras sustancias entre las que

encontramos  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{PO}_4^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , y otros cationes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{C}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , etc).

### 1.3.2 BIFÁSICAS

Presentan solo dos fases, siendo más frecuentes las que tienen vapor y líquido. No obstante, se consideran varios subtipos:

- Ricas en líquido (L+V), en estas podemos encontrar volúmenes variables de gas según la temperatura de formación. En ocasiones las diminutas esferas de gas, al ser activadas por el paso de la luz, se mueven en el interior del líquido de la inclusión, chocando con las paredes y rebotando en una agitación “browniana”.
- Ricas en gases (V+L), presentan un volumen de vapor superior al del líquido que queda restringido a menos de la mitad del volumen. Son frecuentes en ambientes de ebullición.

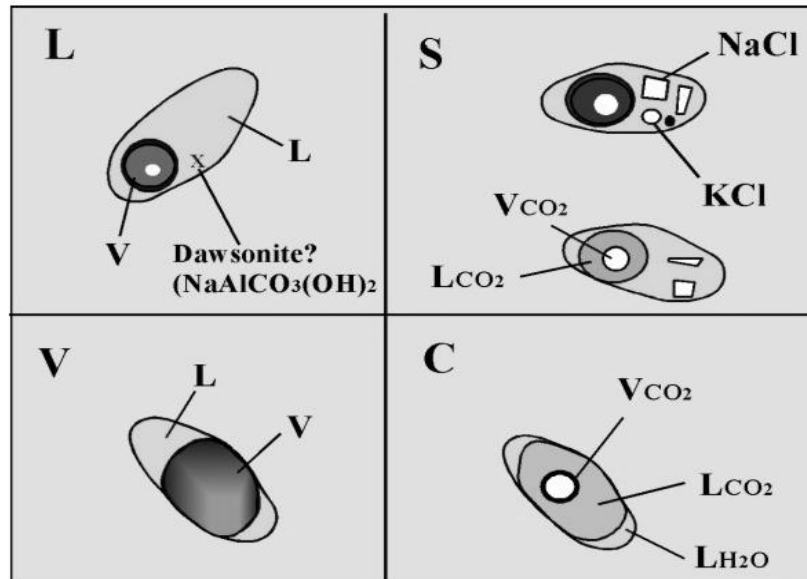
### 1.3.3 TRIFÁSICAS

Cuando aparecen más de dos fases el esquema de clasificación se complica, ya que unas veces son predominantemente líquidas, otras gaseosas con líquidos inmiscibles o baja proporción de sólidos (L+L'+V) o (L+V+S), mientras que en otras son muy abundantes los sólidos (S+L±V). Las más típicas son las carbónicas, con dos fases líquidas ( $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{L}_{\text{CO}_2}$ ), y una de vapor ( $\text{V}_{\text{CO}_2}$ ).

### 1.3.4 POLIFÁSICAS

Las inclusiones más complejas las tenemos cuando aparecen varios tipos de sólidos (“daughter minerals”) junto con el líquido o sólido inmiscibles y la burbuja de gas. Entre los sólidos más frecuentes tenemos halita, silvita, anhidrita, hematites, cuarzo, sulfuros de hierro, dawsonita, etc., mientras que los líquidos inmiscibles que aparecen con mayor frecuencia son: la fase acuosa junto con el líquido  $\text{CO}_2$  con presencia de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ , y/o  $\text{H}_2\text{S}$ .

Según estos criterios que atienden a la composición se han propuesto varios tipos de clasificaciones, de todas ellas la más conocida es la de Nash (1976) que se muestra en la FIGURA 4 y que distingue cuatro tipos de inclusiones.



**FIGURA 4.** Clasificación de las inclusiones fluidas según Nash (1976) en Velasco (2004) (Tipo L de moderada salinidad, tipo S muy salinas, tipo V ricas en gas, tipo C ricas en  $\text{CO}_2$ ).

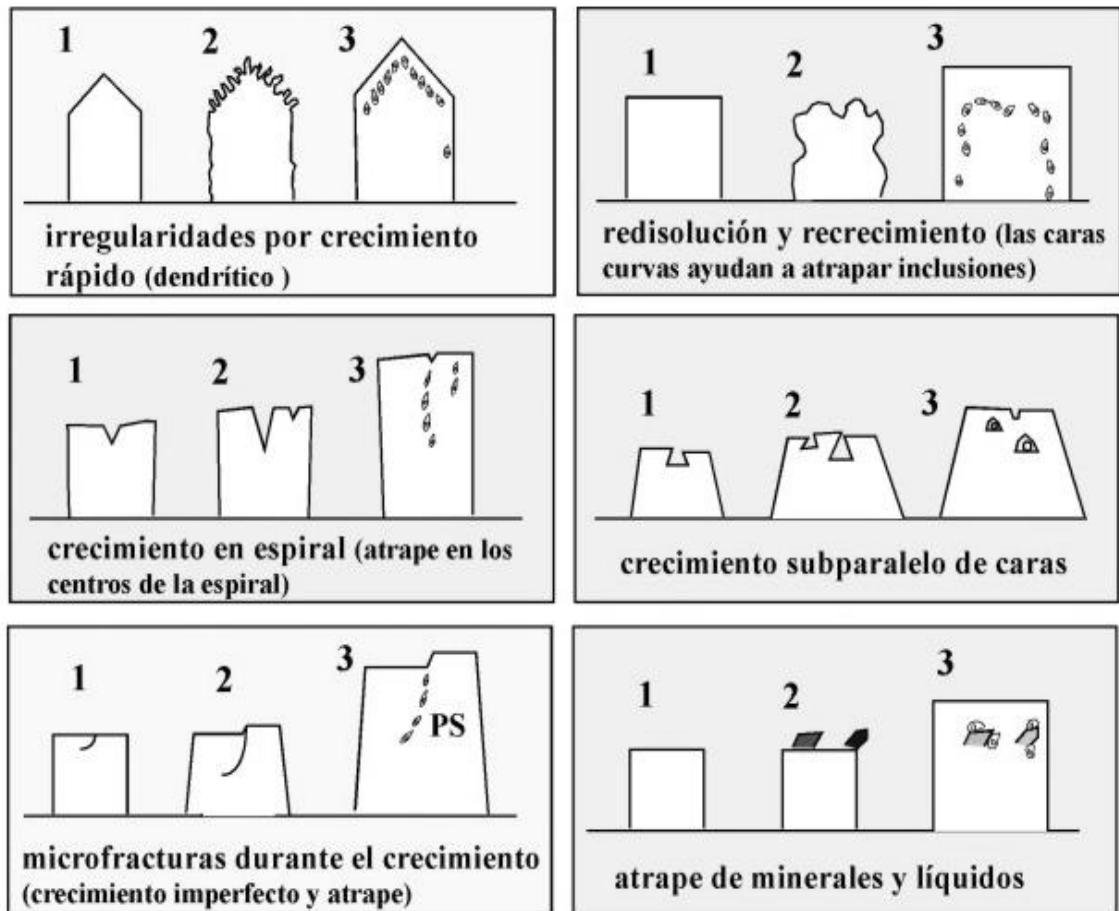
- Tipo L, de moderada salinidad, con dos fases: una líquida (agua) y otra gaseosa (vapor de agua) con diferente volumen según la temperatura de atrape.
- Tipo V, ricas en gas (normalmente vapor de agua representando más del 60% de la inclusión); como se ha comentado previamente suelen interpretarse como buenos indicadores de la existencia de ebullición, especialmente cuando se encuentran coexistiendo con las de tipo L. Aunque sean predominantemente acuosas, pueden contener algo de  $\text{CO}_2$ .
- Tipo S, muy salinas, conteniendo pequeños cristales de halita de hábito cúbico y en ocasiones de silvita, anhidrita, hematites, etc.
- Tipo C ricas en  $\text{CO}_2$ , con una relación  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  variable pero casi siempre comprendida entre el 3% y el 30% del volumen, según se acerquen a los tipos anteriores.

## 1.4 CLASIFICACIÓN GENÉTICA

Todas las inclusiones fluidas formadas durante las etapas de crecimiento de un cristal deben ser consideradas como primarias. Estas contienen información relativa a los procesos genéticos formadores de minerales, y por tanto, son las que suscitan mayor interés en cualquier estudio metalogénico, ya que se trata de fracciones de solución hidrotermal incorporada o atrapada con el cristal. Por otro lado, todas aquellas inclusiones que se encuentran en el interior de los cristales, pero que se han formado, por mecanismos posteriores a la cristalización vamos a considerarlas como secundarias. Estas últimas se forman tras la apertura y circulación de soluciones por microfisuras desarrolladas por esfuerzo o térmicamente, y ocupadas por fluidos completamente distintos a los originales.

Los mecanismos de atrape de las inclusiones fluidas primarias pueden ser muy variados. Roedder (1984) distingue varios tipos de mecanismos que son representados en los esquemas de la FIGURA 5 y los cuales son:

- Crecimiento dendrítico rápido que permite la aparición de zonas del cristal en donde puede quedar atrapada la solución.
- Etapas de redisolución parcial de los cristales con desarrollo de “caries”, caras curvas y microhuecos y crecimiento rápido posterior que los recubre y permite el atrapamiento.
- Atrape de líquidos en las zonas del centro de una espiral de crecimiento.
- Caras cristalinas con crecimiento subparalelo pueden llegar a encerrar la solución generadora.
- Microfracturas desarrolladas en el cristal durante las etapas de crecimiento, originan un crecimiento imperfecto y favorecen que queden alojadas en su interior pequeñas porciones de la solución.
- Atrapamiento de sustancias ajenas al cristal (pequeñas inclusiones sólidas) pueden también favorecer el atrapamiento de fluidos.



**FIGURA 5.** Diferentes mecanismos de atrape de las inclusiones primarias (según Roedder, 1984 en Velasco, 2004).

Algunos de estos mecanismos permiten que las inclusiones aparezcan alineadas en microfisuras que se extienden desde el núcleo de los cristales hacia los bordes, pero no llegan a cortar sus límites. Para ellas Roedder (1984) introdujo el nombre de inclusiones pseudosecundarias: una nueva categoría de inclusiones formadas durante las etapas de crecimiento del cristal. Estas pueden aparecer alineadas en microfisuras sin cortar los bordes de los cristales y/o ocupar huecos entre los cristales durante su crecimiento.

En cualquier caso, uno de los problemas más importantes durante el estudio de las inclusiones, es la distinción entre las que son contemporáneas con la formación del mineral encajante (primarias y pseudosecundarias), y las que se han formado con posterioridad (secundarias). La solución a esta cuestión no es fácil, habiéndose elaborado

una serie de criterios (Roedder, 1984; Shepherd *et al.*, 1985) que ayudan a resolver las ambigüedades para decidir su clasificación.

#### **1.4.1 CRITERIOS PARA UN ORIGEN PRIMARIO**

Distribución de las inclusiones paralelamente a las zonas de crecimiento, siguiendo una distribución zonada o azonada típica (FIGURA 6): esta zonación puede ponerse de manifiesto, no solo contemplando las caras finales del cristal, sino por medio de la observación de variaciones composicionales del cristal, cambios de coloración o ayudándose por medio de la catodoluminiscencia (Velasco, 2004).

Pequeños grupos de inclusiones con distribución al azar en las tres direcciones espaciales. Este criterio no es del todo seguro cuando el cristal presenta abundantes inclusiones secundarias entrecruzadas.

Presencia de inclusiones aisladas, claramente separadas entre sí. Entre inclusión e inclusión debería de haber una distancia mayor de cinco veces el diámetro medio de las inclusiones.

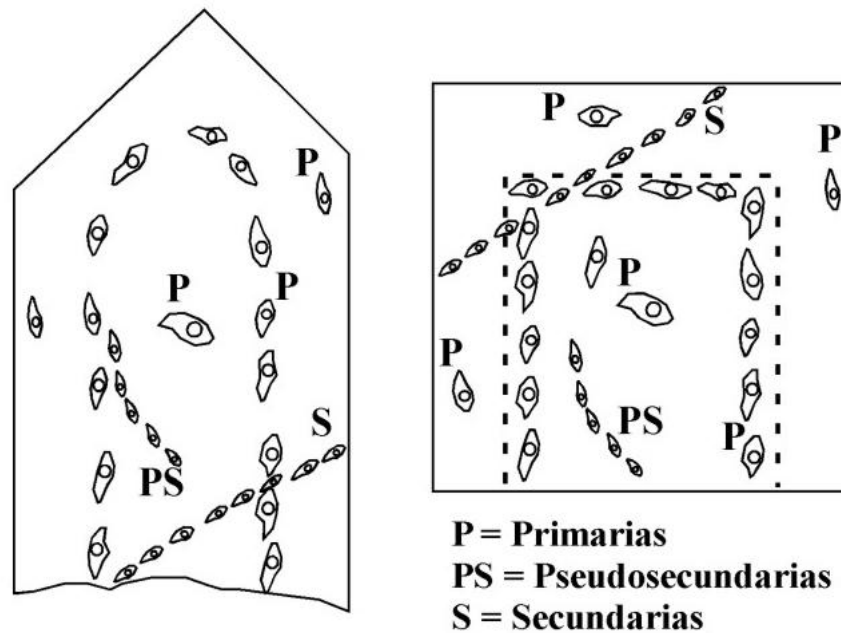
Tamaño relativamente grande con respecto a los tamaños que exhiben las inclusiones de claro origen secundario.

#### **1.4.2 CRITERIOS PARA UN ORIGEN SECUNDARIO**

- Grupos muy numerosos, con una disposición planar claramente referible a una microfisura que corta los bordes del cristal o superficies de exfoliación. Pueden encontrarse varias generaciones superpuestas en el tiempo.
- Morfologías irregulares con hábitos ovoides de tamaños muy variables, pero en general muy pequeñas. Morfologías y distribuciones claramente referibles a “necking-down” (grados de rellenos muy distintos en inclusiones adyacentes) (Velasco, 2004).

### 1.4.3 CRITERIOS PARA DISTINGUIR LAS PSEUDOSUCUNDARIAS

- Formas irregulares alojadas en fracturas que se pierden antes de que termine el crecimiento zonado del cristal (antes de llegar al borde). Aparecen casi siempre como cristales negativos de tamaños similares.



**FIGURA 6.** Distribución de las inclusiones: primarias (P) siguiendo zonas concéntricas paralelas a las caras de crecimiento; pseudosecundarias (PS) que se ordenan oblicuamente a las caras, siguiendo microfisuras que empiezan en el núcleo del cristal y terminan antes de que éste se acabe; y secundarias (S) que cruzan sin ninguna regla el cristal pasando por sus bordes. (Tomado de Velasco, 2004).

Además de estos criterios; en la práctica se suelen seguir otras guías, como son la presencia de composiciones características correspondientes a tipos concretos de inclusiones, aspectos de tipo morfológico (ovoides y xenomorfas suelen ser secundarias), etc. Una vez que se ha estudiado una extensa población de inclusiones, se pueden procesar los datos y deducir diferentes tipos a los que se les asigna un origen primario o secundario, después de una cuidadosa discusión que tenga en cuenta las temperaturas de homogenización, salinidad, morfología, distribución, etc.

## 2. RESULTADOS

### 2.1 PETROGRAFÍA

**Muestra 519275:** A nivel petrográfico la lámina está formada por agregados inequigranulares de cuarzo, pirita y minerales opacos; en los cristales de cuarzo se encontraron las siguientes asociaciones de inclusiones fluidas (denominadas de aquí en adelante AIF)

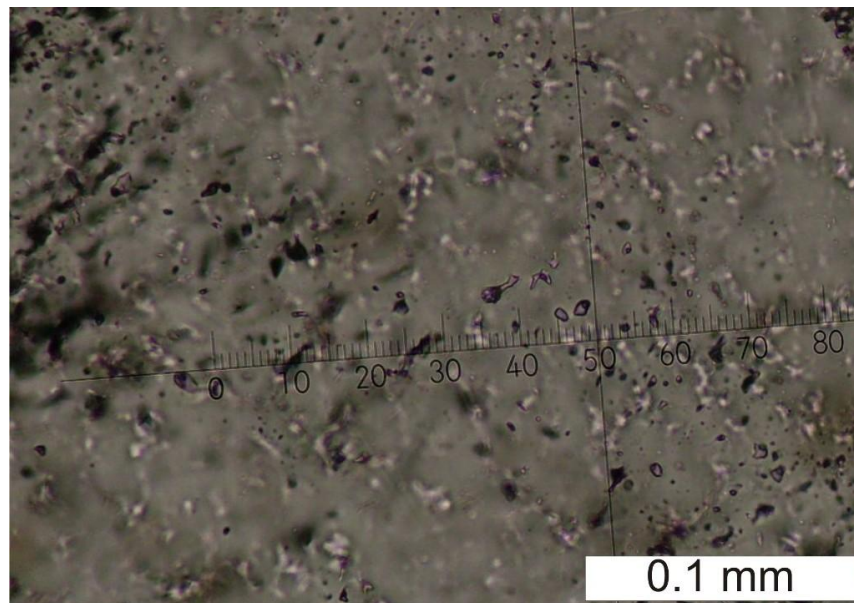
AIF 1a: Esta compuesta por inclusiones fluidas de tipo primario, de tipo L y C de acuerdo a Nash (1976), bifásicas compuestas por una fase líquido y otra vapor (FIGURA 7) además de polifásicas compuesta por una fase de agua, una fase de CO<sub>2</sub> líquido y CO<sub>2</sub> gaseoso (FIGURA 8), con formas predominantemente irregulares; en las inclusiones fluidas bifásicas el grado de relleno F es 8 (la burbuja ocupa el 20% del volumen de la inclusión y la fase líquida el 80% restante), en las polifásicas la burbuja de vapor (CO<sub>2</sub>) ocupa el 5-10% del volumen, el CO<sub>2</sub> líquido y el agua ocupan el 5-10% y el 80-90% del volumen de la inclusión respectivamente. El tamaño de estas inclusiones oscila entre 1 y 30 µm de largo, estas inclusiones fluidas aparecen asociadas en nubes distribuidas irregularmente al interior de los cristales.

AIF 1b: Esta formada por inclusiones fluidas pseudosecundarias de tipo L (Nash, 1976), bifásicas con una fase líquido y otra vapor, poseen una forma irregular-tabular; presentan grado de relleno F comprendido entre 0,8 y 0.9 en donde la burbuja de vapor ocupa entre el 10-20% del volumen de la inclusión fluida y la fase líquida ocupa el 80-90% del volumen. El tamaño de estas inclusiones oscila entre 1- 30 µm de largo; se presentan asociadas en trails (FIGURA 9) presentes al interior de los cristales.

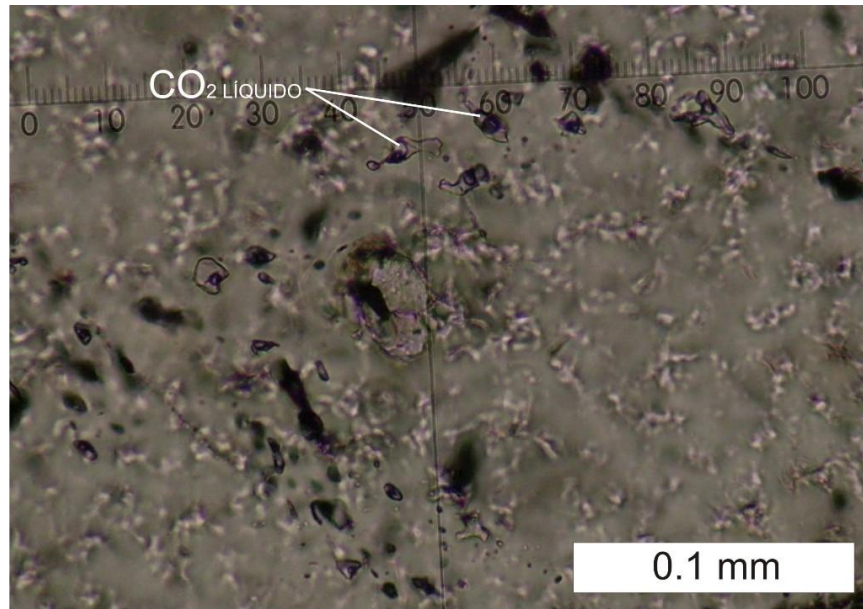
AIF 1c: Formada por inclusiones fluidas de tipo primario, posiblemente bifásicas y polifásicas con una fase líquido, vapor y de sólidos heredados de la pared de la roca encajante, las formas son predominantemente irregulares a ovaladas; el tamaño de estas

inclusiones oscila entre 1-3  $\mu\text{m}$ . Estas inclusiones fluidas aparecen asociadas en nubes paralelas a los bordes de zonación del cristal o bordes de crecimiento (FIGURA 10).

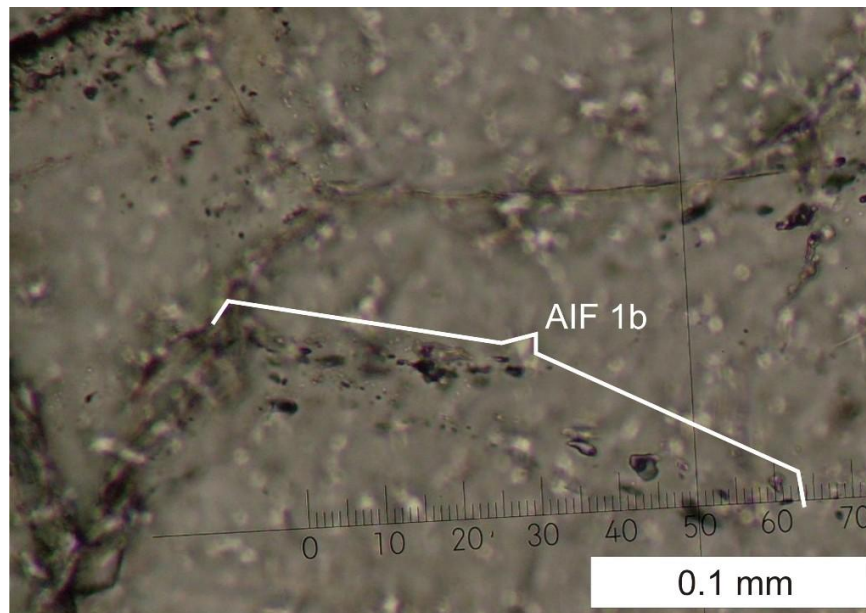
AIF 2a: compuesta por inclusiones fluidas de tipo secundario, posiblemente de tipo L, formadas por dos fases: líquido y vapor; poseen formas irregulares a ovaladas. Su tamaño oscila entre 0,5-25  $\mu\text{m}$ ; estas inclusiones fluidas se presentan asociados en trails transgranulares y en trails localizados entre los límites de grano (FIGURA 11).



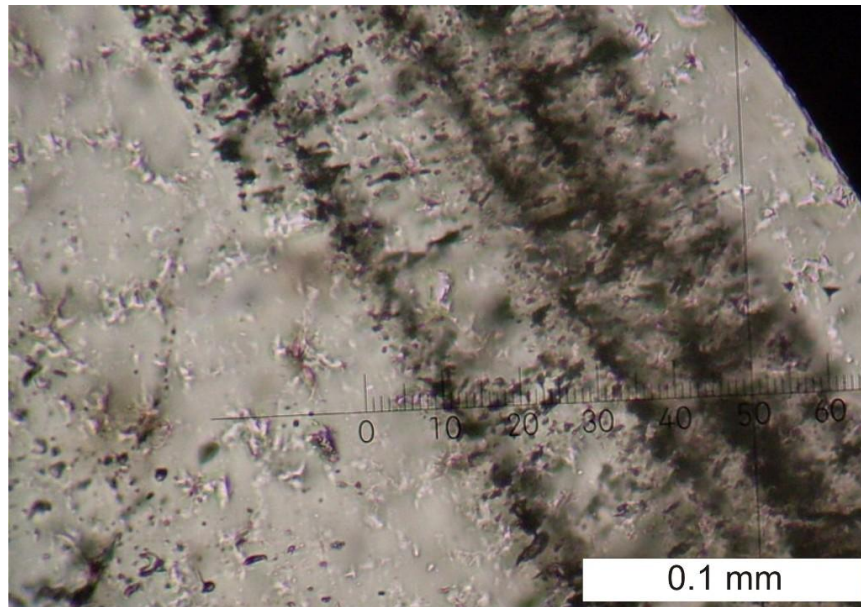
**FIGURA 7.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran nubes de inclusiones fluidas pertenecientes a la AIF 1a.



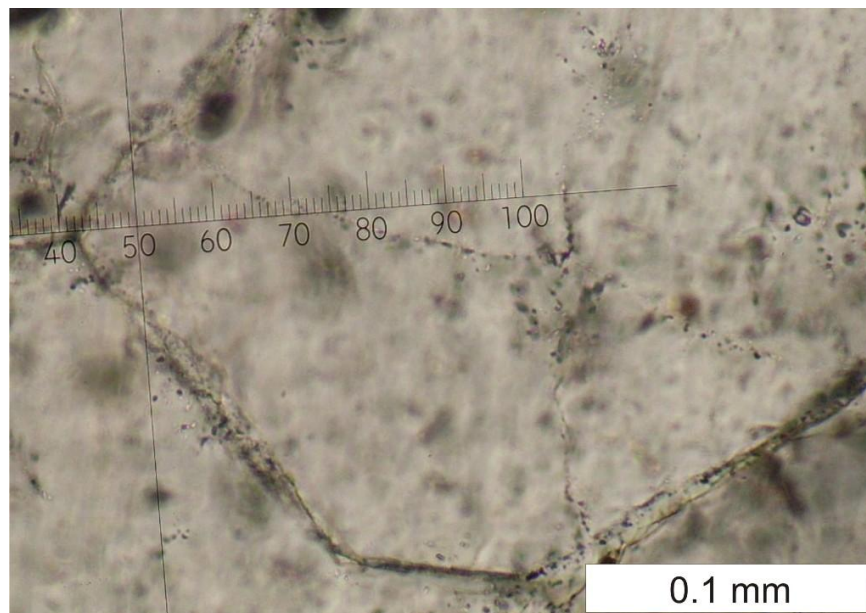
**FIGURA 8.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran inclusiones fluidas con CO<sub>2</sub> pertenecientes a la AIF 1a.



**FIGURA 9.** Microfotografías a 40x en la cual se muestra un trail de inclusiones fluidas primarias pertenecientes a la AIF 1b.



**FIGURA 10.** Microfotografías a 40x en la cual se muestra nubes de inclusiones fluidas de la AIF 1c paralelas a las zonas o caras de crecimiento del cristal.



**FIGURA 11.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran trails trangranulares y entre borde de cristal de inclusiones fluidas de tipo secundario pertenecientes a la AIF 2a.

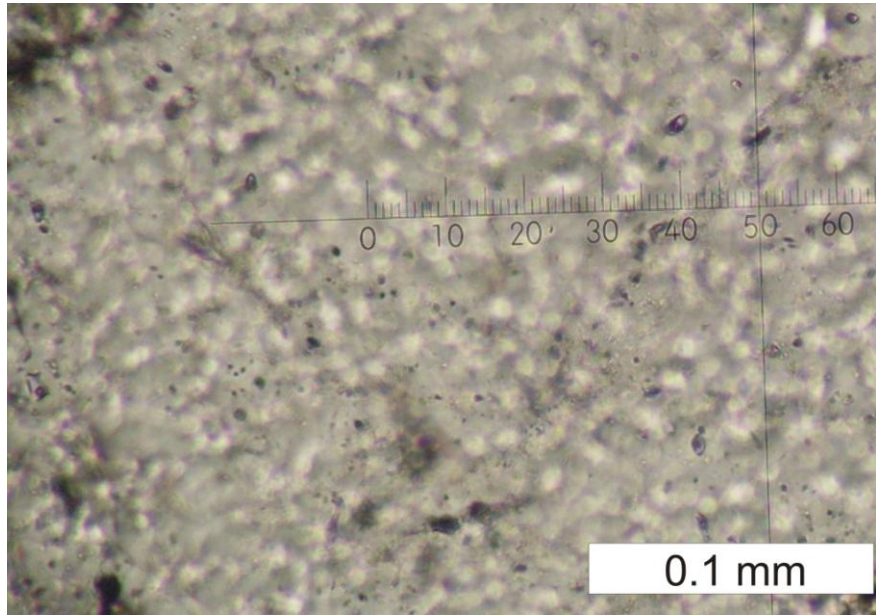
**Muestra 823991:** Esta compuesta por agregados inequigranulares de cuarzo, plagioclasa, pirita y opacos. La plagioclasa presenta una fuerte alteración a sericita, se observa zonas de fuerte alteración con presencia de sericita.

En los cuarzos se observaron las siguientes asociaciones de inclusiones fluidas (AIF):

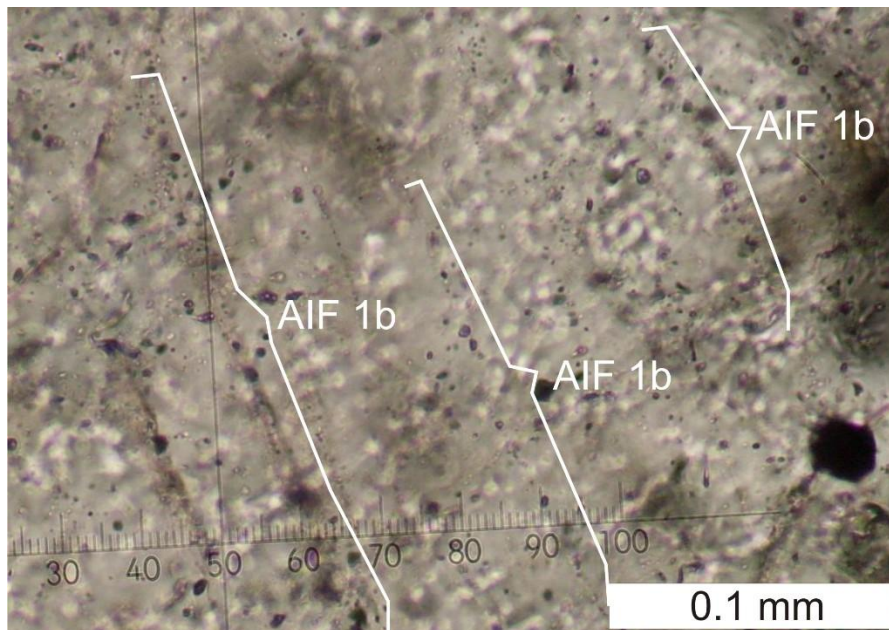
AIF 1a: esta compuesta por inclusiones fluida primarias (FIGURA 12) de tipo L y G (Nash, 1976), las cuales son monofásicas compuestas por gas y bifásicas formadas por una fase líquida y una fase de vapor. Las formas de estas inclusiones fluidas son predominantemente ovaladas a irregulares; el grado de relleno F varía entre 0,4 y 0,9 en los cuales la burbuja esta ocupando entre el 10-60% del volumen de la inclusión y la fase líquida ocupa entre el 40-90% del volumen de la inclusión. Los tamaños de las inclusiones oscilan entre 1 y 30  $\mu\text{m}$ ; se presentan asociadas en nubes irregulares al interior de los cristales.

AIF 1b: esta compuesta por inclusiones fluidas de tipo pseudosecundario, de tipo L (Nash, 1976), bifásicas compuestas por una fase vapor y una fase líquido, de formas irregulares, con grado de relleno F comprendido entre 0,7 y 0,8 en los cuales la burbuja ocupa el 20-30% del volumen de la inclusión y la fase líquida ocupa el 80-70% del volumen. El tamaño de estas inclusiones oscila entre 1-12  $\mu\text{m}$ . Se presentan formando trails (FIGURA 13) al interior de los cristales.

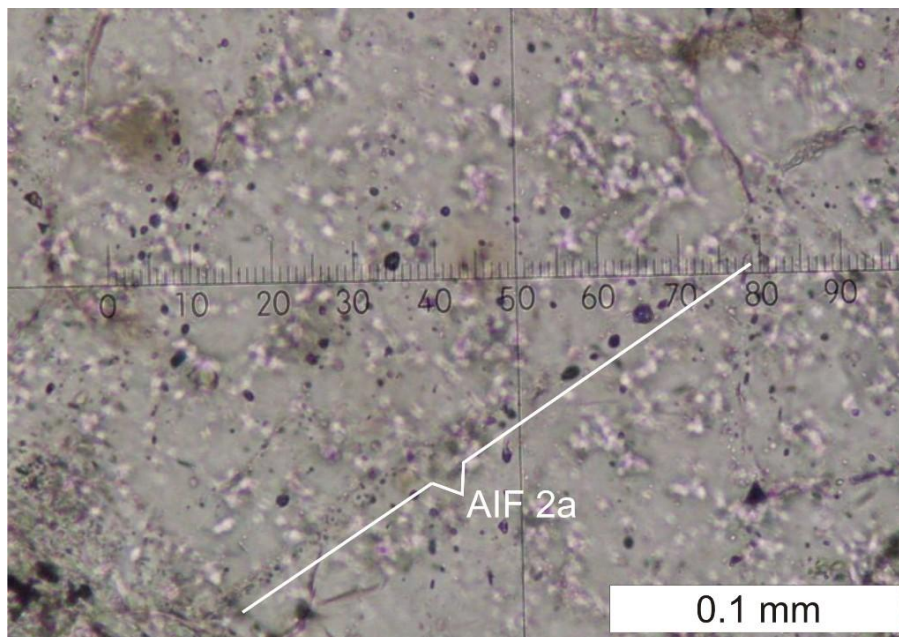
AIF 2a: Esta compuesta por inclusiones fluidas secundarias de tipo G (Nash, 1976), bifásicas compuestas de líquido y vapor, de formas predominantemente ovaladas. Poseen un grado de relleno  $F = 0,4$  (la burbuja ocupa el 60% del volumen de la inclusión y la fase líquida posee el 40%); el tamaño de esta inclusiones oscila entre 1-11  $\mu\text{m}$  de largo, se presentan asociadas en trails transgranulares (FIGURA 14).



**FIGURA 12.** Microfotografía a 40x en la cual se observan inclusiones fluidas primarias dispersas de tamaño muy pequeño pertenecientes a la AIF 1a.



**FIGURA 13.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran trails de inclusiones fluidas pseudosecundarias pertenecientes a la AIF 1b.



**FIGURA 14.** Microfotografía a 40x en la cual se ilustran trails de inclusiones fluidas secundarias pertenecientes a la AIF 2a.

## 2.2 MICROTERMOMETRÍA

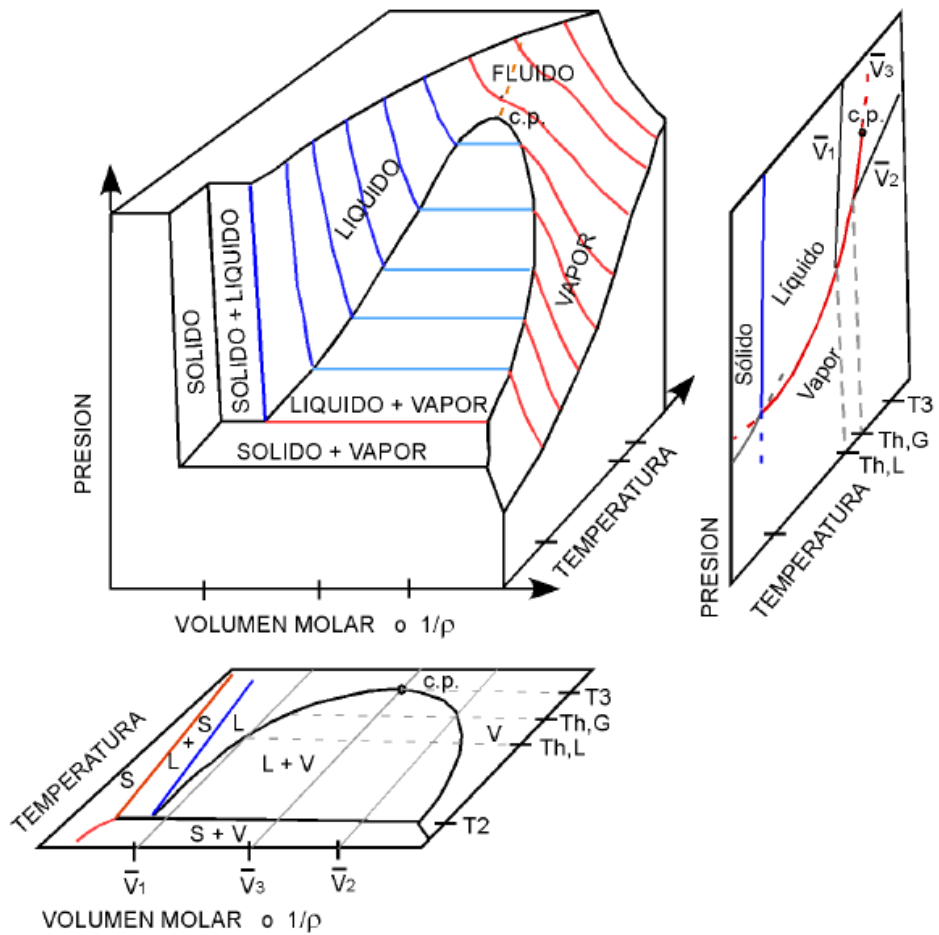
### 2.2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS

La microtermometría es el método de medir temperaturas correspondientes a las transiciones de fase en las inclusiones fluidas. En la interpretación de estas, se utiliza la comparación entre los datos obtenidos en el laboratorio y los comportamientos de diferentes sistemas teóricos bien conocidos a nivel experimental ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ , etc.); en la comparación de los datos deben asumirse tres principios que son la base para entender el comportamiento de una inclusión fluida cuando es calentada o enfriada:

- Se asume que la inclusión fluida es un sistema a volumen constante ( $V = k$ ).
- La temperatura ( $T$ ) viene fijada por las etapas de calentamiento enfriamiento.
- Se considera que la composición de la inclusión fluida permanece sin variación después de su atrapamiento (Composición =  $k$ ).

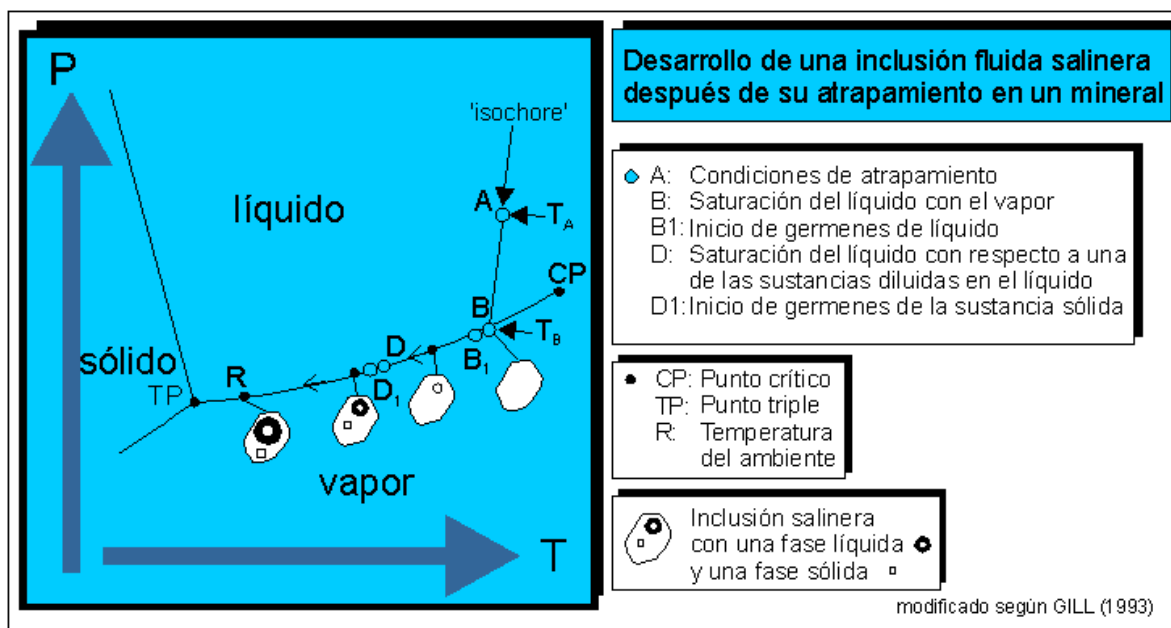
Teniendo en cuenta estas consideraciones, al identificar las fases presentes en una inclusión fluida, y las temperaturas a la cuales aparecen y desaparecen estas fases, se pueden determinar características tales la composición y la densidad de la solución encerrada en la inclusión.

El comportamiento de los sistemas analizados por vía experimental, pueden ilustrarse con el bloque diagrama PVT (FIGURA 15), en el cual se incluye las proyecciones TV (polibáricas) y la proyección PT de los equilibrios de fase, en el que se asume que el volumen molar es equivalente al inverso de la densidad.



**FIGURA 15.** Bloque diagrama simplificado PVT (Tomado de Velasco, 2004).

El diagrama de presión en función de la temperatura (FIGURA 16) ilustra la historia de una inclusión salinera después de su formación y su atrapamiento. Manteniendo un volumen constante el enfriamiento de la inclusión causa una disminución de la presión del fluido, lo que ilustra la sección de la curva desde el punto A al punto B. En el punto B<sub>1</sub> se observa la formación de una burbuja de gas. El punto D marca las condiciones de temperatura y presión correspondientes a la inclusión saturada con respecto a uno de sus constituyentes. Al bajar más la temperatura dicho constituyente inicia a cristalizar. Las condiciones de temperatura y presión correspondientes están señaladas por el punto D<sub>1</sub>.

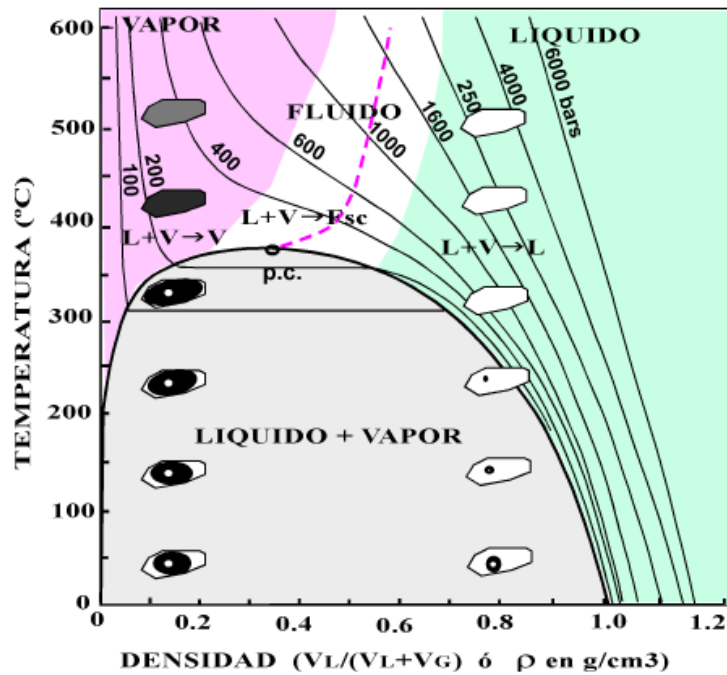


**FIGURA 16.** Diagrama PT en donde se ilustra la evolución de una inclusión fluida después de su atrapamiento (tomado de <http://www.geovirtual.cl/Inclusi/PTEXT/10001intro.htm>).

La temperatura de homogeneización  $T_h$  (T correspondiente a  $B_1$  en la figura) indica cuando una fase gaseiforme perteneciendo a la inclusión fluida aparece la primera vez al enfriar la misma y manteniendo el volumen de la inclusión constante. En el caso de inclusiones primarias atrapadas durante la cristalización magmática del mineral huésped la temperatura de homogeneización  $T_h$  casi coincide con la temperatura de cristalización del mineral ( $T_A$  en la figura) y su inclusión y provee una estimación mínima de la temperatura genética del mineral y su inclusión. La temperatura de fusión (del eutéctico, melting temperature)  $T_m$  (T correspondiente a  $D_1$  en la figura) se refiere a la temperatura de la primera aparición de una fase sólida en la inclusión. La temperatura de fusión permite la estimación de la salinidad de la inclusión fluida.

En el laboratorio al trabajar con inclusiones acuosas, y estas se someten a procesos de calentamiento, se esperarán diferentes comportamientos (FIGURA 17). En primer lugar, la temperatura de homogeneización será diferente según la densidad de la inclusión o grado de relleno ( $\rho = V_L / (V_L + V_V)$ ), pudiéndose encontrar tres modos de evolución diferente:

- a) Homogenización a estado líquido ( $L + V \rightarrow L$ )
- b) Homogenización a estado gaseoso ( $L + V \rightarrow V$ )
- c) Homogenización crítica ( $L + V \rightarrow \text{Fluido supercrítico}$ )



**FIGURA 17.** Diagrama T – D en el cual se muestran los principales tipos de homogenización en inclusiones fluidas (tomado de Velasco, 2004).

El caso a) recoge el comportamiento más frecuente, ya que la inclusión presenta mayor proporción de líquido que de vapor (por ejemplo: densidades próximas a 0,8) y homogeniza a líquido a 270 °C; el caso b) propio de inclusiones con muy baja densidad (inferior a 0,15) quiere representar el comportamiento de las inclusiones que han sido atrapadas en ambientes de ebullición, caracterizado por la coexistencia de las fases vapor y líquido. Estas consiguen la homogenización a vapor (en el ejemplo a unos 350 °C). En el caso c) se desvanece el menisco entre el líquido y el vapor no pudiéndose comprobar si la homogenización resulto a líquido o a vapor.

### **2.2.2 DATOS DE MICROTERMOMETRÍA OBTENIDOS**

Para medir inclusiones fluidas se empleó una platina calentadora/enfriadora LINKAM THMS 600 acoplada a unas consolas de control de velocidades y temperaturas LINKAM LNP y TP 94 respectivamente. Los datos microtermométricos obtenidos de las inclusiones fluidas seleccionadas son ilustrados en la TABLA 1. Se midieron las inclusiones fluidas de tipo primario pertenecientes a la asociación de inclusiones fluidas 1a debido a que tienen el tamaño adecuado para observar los cambios de fase necesarios para determinar el sistema químico y la salinidad del fluido; debido a tamaño extremadamente pequeño (<5  $\mu\text{m}$ ) de las inclusiones fluidas de tipo secundario encontradas en los chips que se colocaron en la platina calentadora/enfriadora, éstas no se pudieron medir debido a la incertidumbre que pudieran generar los datos obtenidos.

Las inclusiones fluidas seleccionadas fueron enfriadas hasta una temperatura de  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$  para eliminar cualquier comportamiento metaestable, una vez alcanzada esta temperatura se inicio el proceso de calentamiento; durante este proceso se registraron temperaturas eutécticas ( $T_e$ ) entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $-48^{\circ}\text{C}$ , así mismo la fusión del último cristal del hielo ( $T_{ffh}$ ) en las inclusiones analizadas fue observada entre  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Al proseguir el calentamiento, las inclusiones fluidas analizadas homogenizaron a líquido (caracterizado por la contracción y desaparición de la burbuja de vapor) en un intervalo de temperaturas comprendido entre  $201\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $306\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PETROGRAFÍA Y MICROTERMOMETRÍA.**

### **3.1 EVENTOS PALEOHIDROTERMALES**

Los datos de petrografía de inclusiones fluidas están indicando la existencia de al menos dos eventos paleohidrotermales: el primero (asociaciones de inclusiones fluidas 1a, 1b y 1c) fue responsable de la nucleación y crecimiento de los agregados inequigranulares de cuarzo.

LAMINA	MINERAL HOSPEDANTE	AIF A LA QUE PERTENECE	TIPO (Nash, 1976)	CLASIFICACIÓN GENÉTICA)	FASES	Te (°C)	Tffh (°C)	Th (°C)	HOMOGENIZACIÓN
1	CUARZO	1a	I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-3,5	245,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-3,5	250,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,9	-3,7	266,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-1,6	257,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-1,6	250,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-47,8	-2,6	227,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,2	-2,6	237,3	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-47,8	-2,6	258,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-2,6	227,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-1,7	252,5	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,9	-2,6	249,3	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-54,6	-4,1	221,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-48,7	-2,2	240,2	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,4	-2,6	201,8	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,4	-2,6	216,1	L + V → L
2	CUARZO	1a	I	PRIMARIA	L + V	-52,0		206,7	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,0		236,8	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-1,8	223,8	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-1,8	303,0	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,6	-4,5	210,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-49,2	-3,1	223,6	L + V → L
			II	PRIMARIA	L + V	-51,7	-4,2	-	decrepitación a 425,4 °C
			I	PRIMARIA	L + V	-52,8	-4,0	298,9	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,0	-4,3	255,6	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-52,3	-1,7	201,4	L + V → L
			I	PRIMARIA	L + V	-50,4	-1,7	305,8	L + V → L

**TABLA 1.** Datos de microtermometría obtenidos de inclusiones fluidas primarias contenidas en venas de cuarzo (Te=temperatura eutéctica, Tffh=temperatura final de fusión del hielo, Th=temperatura de homogenización)

El segundo evento (asociación de inclusiones fluidas 2a) fue posterior a la formación de agregados inequigranulares y utilizó como canales de escape microfracturas intercrystalinas presentes en los agregados inequigranulares de cuarzo.

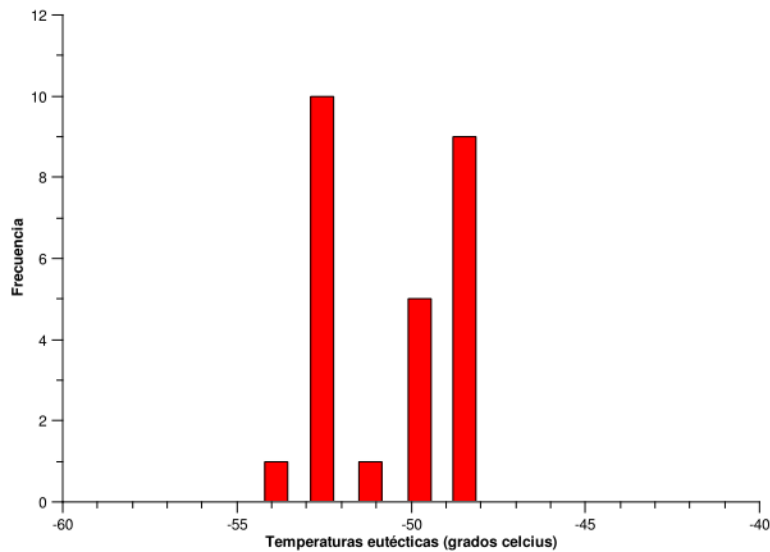
### 3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS PALEOFLUIDOS QUE DIERON ORIGEN A LOS AGREGADOS INEQUIGRANULARES DE CUARZO

La TABLA 2 muestra los sistemas salinos presentes al interior las inclusiones fluidas, así como la respectiva temperatura eutéctica que le corresponde a cada sistema. Como las inclusiones fluidas son cavidades que contienen los fluidos responsables de la formación del mineral, se puede asumir que la composición química de la inclusión es representativa de la composición química del paleofluido.

Sistema salino	Temp. eutéctico (°C)	Fases sólidas
H <sub>2</sub> O-NaCl-CaCl <sub>2</sub>	-55 (-52)	hielo+NaCl.2H <sub>2</sub> O+CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub> -CaCl <sub>2</sub>	-52.2	hielo+ MgCl <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O+CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-KCl-CaCl <sub>2</sub>	-50.5	hielo+ CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-CaCl <sub>2</sub>	-49.8	hielo+ CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-37.0	hielo+ (Na,K) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-FeCl <sub>2</sub>	-37.0	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+FeCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-FeCl <sub>2</sub>	-35.0	hielo+ FeCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-MgCl <sub>2</sub>	-35.0	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+MgCl <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub>	-33.6	hielo+ MgCl <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-KCl	-23.5 (-22.9)	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+ KCl.nH <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-NaSO <sub>4</sub>	-21.7	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-NaHCO <sub>3</sub>	-21.8	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+NaHCO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O-NaCl-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-21.4	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl	-21.2 (-21.8)	hielo+ NaCl.2H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-KCl	-10.6	hielo+ KCl.nH <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaHCO <sub>3</sub> -Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-3.3	hielo+NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaHCO <sub>3</sub>	-2.3	hielo+NaHCO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-2.1	hielo+Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-1.2	hielo+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O

**TABLA 2.** Sistemas químicos presentes en inclusiones fluidas de tipo acuoso junto con sus respectivas temperaturas eutécticas (tomado de Velasco, 2004).

En la FIGURA 18 se ilustra el histograma de las temperaturas eutécticas (Te) obtenidas de las inclusiones fluidas primarias pertenecientes a la AIF 1a.



**FIGURA 18.** Histograma de las temperaturas eutécticas obtenidas de inclusiones fluidas primarias contenidas en cristales de cuarzo de las láminas 1 y 2.

Como se observa las temperaturas eutécticas se ubican entre los -54,2 y -48,2 °C. Los datos de las TABLAS 1, 2 y de la FIGURA 18, así como los de petrografía (FIGURA 8) indican que los agregados inequigranulares de cuarzo de las láminas 1 y 2 nuclearon y crecieron a partir de paleofluidos que pertenecían al sistema químico  $H_2O-NaCl-CaCl_2-MgCl_2-KCl-CO_2$ ; la presencia de inclusiones fluidas de tipo G y L primarias en los cristales de cuarzo, también nos puede indicar que este fluido se encontraba en un estado heterogéneo, es decir, que estaba compuesto por una fase líquida y una sólida al momento de producirse la formación de las inclusiones fluidas.

### **3.3 SALINIDAD DE LOS PALEOFLUIDOS QUE ORIGINARON LOS AGREGADOS INEQUIGRANULARES DE CUARZO**

La TABLA 3 ilustra las salinidades correspondientes a las temperaturas finas de fusión del hielo en inclusiones fluidas de acuerdo a la ecuación de Bodnar (1992).

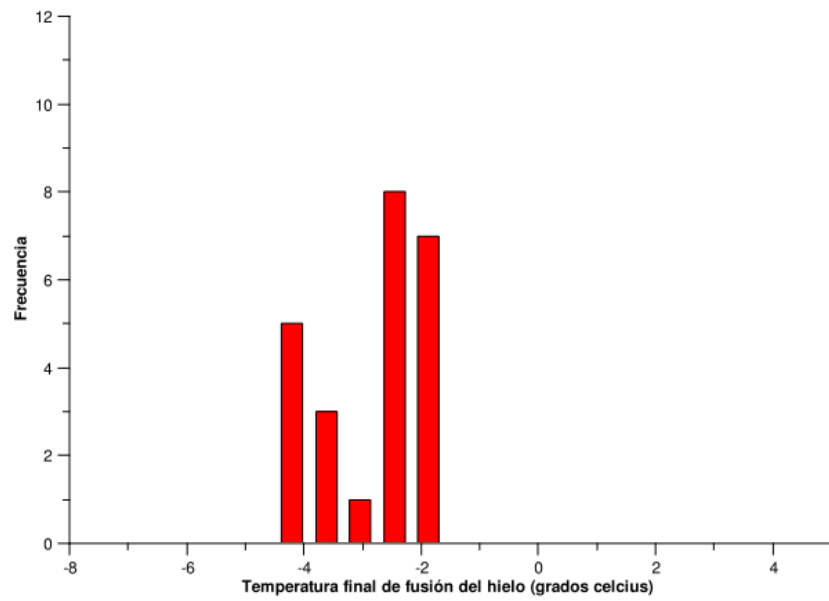
T <sub>m</sub> (°C)	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
0.0	0.00	0.18	0.35	0.53	0.70	0.88	1.05	1.22	1.40	1.57
1.0	1.74	1.91	2.07	2.24	2.41	2.57	2.74	2.90	3.06	3.23
2.0	3.39	3.55	3.71	3.87	4.03	4.18	4.34	4.49	4.65	4.80
3.0	4.96	5.11	5.26	5.41	5.56	5.71	5.86	6.01	6.16	6.30
4.0	6.45	6.59	6.74	6.88	7.02	7.17	7.31	7.45	7.59	7.73
5.0	7.86	8.00	8.14	8.28	8.41	8.55	8.68	8.81	8.95	9.08
6.0	9.21	9.34	9.47	9.60	9.73	9.86	9.98	10.11	10.24	10.36
7.0	10.49	10.61	10.73	10.86	10.98	11.10	11.22	11.34	11.46	11.58
8.0	11.70	11.81	11.93	12.05	12.16	12.28	12.39	12.51	12.62	12.73
9.0	12.85	12.96	13.07	13.18	13.29	13.40	13.51	13.62	13.72	13.83
10.0	13.94	14.04	14.15	14.25	14.36	14.46	14.57	14.67	14.77	14.87
11.0	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.76	15.86
12.0	15.96	16.05	16.15	16.24	16.34	16.43	16.53	16.62	16.71	16.80
13.0	16.89	16.99	17.08	17.17	17.26	17.34	17.43	17.52	17.61	17.70
14.0	17.79	17.87	17.96	18.04	18.13	18.22	18.30	18.38	18.47	18.55
15.0	18.63	18.72	18.80	18.88	18.96	19.05	19.13	19.21	19.29	19.37
16.0	19.45	19.53	19.60	19.68	19.76	19.84	19.92	19.99	20.07	20.15
17.0	20.22	20.30	20.37	20.45	20.52	20.60	20.67	20.75	20.82	20.89
18.0	20.97	21.04	21.11	21.19	21.26	21.33	21.40	21.47	21.54	21.61
19.0	21.68	21.75	21.82	21.89	21.96	22.03	22.10	22.17	22.24	22.31
20.0	22.38	22.44	22.51	22.58	22.65	22.71	22.78	22.85	22.91	22.98
21.0	23.05	23.11	23.18							

**TABLA 3.** Salinidades correspondientes a la temperatura final de fusión de hielo en inclusiones fluidas (tomado de Velasco, 2004).

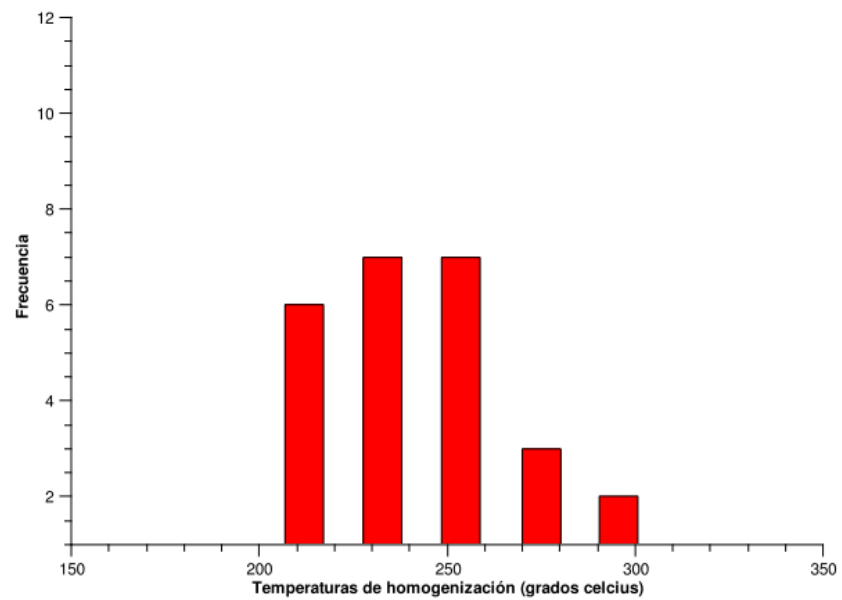
Así mismo la FIGURA 19 ilustra el histograma de temperaturas finales de fusión del hielo en inclusiones fluidas primarias contenidas en cristales de cuarzo de las láminas 1 y 2. Los datos de las TABLA 1 y 3, así como los de la FIGURA 19 no indican que los paleofluidos que dieron origen a los agregados inequigranulares de cuarzo poseían una salinidad comprendida entre 2,90 y 7,17 %wt NaCl Eq.

### 3.4 TEMPERATURA DE LOS PALEOFLUIDOS.

La FIGURA 20 muestra el histograma de las temperaturas de homogenización para las inclusiones fluidas primarias, como se puede observar, los datos expuestos en la FIGURA 20 y en la TABLA 1, sugieren que los paleofluidos que dieron origen a los agregados inequigranulares de cuarzo se encontraban a temperaturas mínimas entre 200 °C y 300 °C; la variabilidad de temperaturas de acuerdo con Goldstein (2001) indicarían condiciones heterogéneas de atrapamiento a partir de un paleofluidos compuesto por una fase líquida y una fase gaseosa . Sin embargo la variabilidad de temperaturas nos puede indicar también diversos episodios de crecimiento o relleno en las venas.



**FIGURA 19.** Histograma de temperaturas finales de fusión del hielo en inclusiones fluidas primarias.



**FIGURA 20.** Histograma de temperaturas de homogenización para inclusiones fluidas primarias contenidas en los cristales de cuarzo pertenecientes a los agregados inequigranulares.

#### **4. CONCLUSIONES**

- El estudio petrográfico y microtermométrico realizado en inclusiones fluidas primarias y secundarias contenidas en cristales de cuarzo pertenecientes a agregados inequigranulares indican por lo menos dos eventos de alteración hidrotermal.
- El primer evento es responsable de la nucleación y crecimiento de los agregados inequigranulares de cuarzo, mientras que el segundo evento fue posterior a la formación de los agregados inequigranulares y utilizó como vías de escape fracturas intercristalinas presentes en Las brechas.
- Los paleofluidos responsables de la nucleación y crecimiento de los agregados inequigranulares de cuarzo pertenecían al sistema químico  $H_2O-NaCl-CaCl_2-MgCl_2-KCl-CO_2$ , tenían una salinidad comprendida entre 2,90 y 7,17 %wt NaCl Eq; y se encontraban a temperaturas de entre 200-300 °C.
- Las inclusiones fluidas primarias se formaron a partir de un fluido heterogéneo compuesto por una fase líquida y una fase vapor.

#### **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bodnar, R. J., 1992. The system  $H_2O-NaCl$ . PACROFI IV, Program and Abstracts, 108-111.
- Goldstein, R. H., 2001. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems. *Lithos* 55, 159 – 193.
- Nash, J. T., 1976. Fluid inclusion petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U. S. Geological Survey, Prof. Paper 907-D.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12. Mineralogical Society of America. 644 p.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H., Alderton, D. H. M., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies. Blackie, London. 239 p.
- Velasco, F., 2004. Introducción al Estudio de las Inclusiones Fluidas. XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenia. Mendoza, Argentina. 98 p.

