

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, TEXTURAL Y DE  
MICROTERMOMETRÍA DEL PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO  
VETAS - CALIFORNIA (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA

JUAN DAVID ACEVEDO PEÑA  
ANTONY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2016

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, TEXTURAL Y DE  
MICROTERMOMETRÍA DEL PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO  
VETAS - CALIFORNIA (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA

JUAN DAVID ACEVEDO PEÑA

ANTONY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Trabajo de Grado para optar al título de Geólogo

Director

JULIAN ANDRES LÓPEZ ISAZA

Geólogo MSc

Codirector

JUAN CARLOS MOLANO MENDOZA

Geólogo MSc

Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2016

## DEDICATORIA

*Dedicado especialmente a mi papá, a mi mamá y a mi hermana, quienes han sido constante apoyo durante mi formación académica y personal. Por ser ejemplos de vida, y por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr todas las metas propuestas.*

*Los amo.*

*A toda mi familia, por estar siempre presentes y llenar mi vida de momentos inolvidables.*

*A mis amigos más cercanos y a esas personas especiales, por acompañarme durante esta etapa de mi vida y brindarme su apoyo incondicional.*

*“Encuentra un trabajo que ames y no tendrás que trabajar ni un día de tu vida.” –  
Jim Fox.*

*Juandavid.*

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mis padres María Esperanza Sánchez y Gil Antonio Hernández, por todo su amor, apoyo y paciencia durante toda mi vida.*

*A mi hermana Mónica Hernández y hermano Jon Freddy Hernández, por motivarme a crecer como persona y profesional.*

*A Marisol Restrepo y Tamara Zabala, por ser siempre tan especiales y estar conmigo en cada momento, por ser luz en la oscuridad.*

*A Juan David Acevedo, que no solo es un excelente compañero de tesis, sino también un gran amigo.*

*A todos mis amigos, que siempre creyeron en mí.*

*“Volar es todo un arte, consiste en aprender a caer y fallar” – Douglas Adams.*

*Antony.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al director de este proyecto, el profesor Msc. Julián Andrés López Isaza, por todos sus aportes, enseñanzas, consejos y guía durante la realización de este trabajo.

A la empresa Eco-Oro Minerals Corp. por facilitarnos los testigos de núcleo de perforación, secciones delgadas pulidas, y demás herramientas utilizadas en este trabajo de grado.

Al profesor Msc. Juan Carlos Molano Mendoza y la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, por su colaboración y préstamo de equipos durante la fase de metalografía y microtermometría de este proyecto.

Al profesor Ph.D. Carlos Alberto Rios Reyes, y al Laboratorio de Microscopía del Parque Tecnológico Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander, por su colaboración y disposición en el préstamo de equipos durante la fase de caracterización metalográfica de este proyecto.

Al Geólogo Andrés Felipe González Duran, por su acompañamiento y colaboración durante la fase de metalografía y microtermometría de este proyecto.

A las demás personas que contribuyeron de diferentes formas para que este trabajo fuera posible.

## CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN. ....	21
1. OBJETIVOS. ....	24
1.1. OBJETIVO GENERAL. ....	24
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	24
2. ANTECEDENTES. ....	25
3. MARCO GEOLÓGICO. ....	27
4. METODOLOGÍA. ....	32
5. RESULTADOS. ....	36
5.1. LITOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL. ....	36
5.1.1. Litología. ....	36
5.1.2. Mineralogía de Alteración Hidrotermal. ....	41
5.1.2.1. Ensamblaje de Alteración Clorita-Epidota. ....	41
5.1.2.2. Ensamblaje de Alteración Illita-Sericita. ....	44
5.1.2.3. Alteración de Carbonatos (Ankerita – Dolomita). ....	45
5.2. MINERALOGÍA DE MENA. ....	49
5.2.1. Texturas de los Minerales de Mena. ....	53

5.2.2. Texturas del Cuarzo Hidrotermal. ....	55
5.2.3. Eventos de Mineralización: Secuencia Paragenética. ....	57
5.3. PETROGRAFÍA Y MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS. ...	73
5.3.1. Petrografía de Inclusiones Fluidas. ....	77
5.3.2. Microtermometría de Inclusiones Fluidas. ....	81
6. DISCUSIÓN. ....	84
6.1. ALTERACIÓN HIDROTERMAL Y MINERALIZACIÓN. ....	85
6.2. MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS. ....	94
7. CONCLUSIONES. ....	105
8. RECOMENDACIONES. ....	106
BIBLIOGRAFÍA. ....	107
ANEXOS. ....	114

## LISTA DE FIGURAS

Pag.

<b>Figura 1.</b> A la izquierda, localización del área de trabajo. A la derecha, modelo digital de elevación de la zona oriental al municipio de California. En el recuadro rojo se demarca la ubicación de los pozos de perforación del prospecto Violetal, de las muestras analizadas en el presente trabajo. ....	21
<b>Figura 2.</b> A la izquierda el mapa de la localización del área de estudio. El Bloque Maracaibo (triángulo de color naranja), fallas principales y localización actual del arco Colombiano. Los volcanes activos son indicados con puntos rojos. A la derecha el mapa geológico del DMVC, con los principales prospectos. ....	27
<b>Figura 3.</b> Mapa geológico del área del prospecto Violeta dentro del Distrito Minero Vetas – California. En el recuadro rojo se enmarca la ubicación de los pozos de perforación del prospecto Violetal. ....	30
<b>Figura 4.</b> Litologías encontradas en el área del prospecto Violetal. ....	40
<b>Figura 5.</b> Ensamblaje de Alteración Clorita-Epidota. ....	43
<b>Figura 6.</b> Ilustración 1 del ensamblaje de alteración Illita-Sericita. ....	46
<b>Figura 7.</b> Ilustración 2 del ensamblaje de alteración Illita-Sericita. ....	47
<b>Figura 8.</b> Presencia de Carbonatos (Ankerita y Dolomita) como evento final de alteración hidrotermal. ....	48
<b>Figura 9.</b> Texturas del Cuarzo hidrotermal asociadas a la mineralización del prospecto Violetal. ....	56
<b>Figura 10.</b> Etapa de pre-mineralización del prospecto Violetal. ....	60

<b>Figura 11.</b> Primera etapa de mineralización del prospecto Violetal. ....	61
<b>Figura 12.</b> Segunda etapa de mineralización del prospecto Violetal. ....	63
<b>Figura 13.</b> Tercera etapa de mineralización del prospecto Violetal. ....	64
<b>Figura 14.</b> Ilustración 1 de la cuarta etapa de mineralización del prospecto Violetal. .....	65
<b>Figura 15.</b> Ilustración 2 de la cuarta etapa de mineralización del prospecto Violetal. .....	66
<b>Figura 16.</b> Ilustración 1 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. ....	68
<b>Figura 17.</b> Ilustración 2 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. ....	68
<b>Figura 18.</b> Ilustración 3 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. ....	69
<b>Figura 19.</b> Ilustración 1 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) de la muestra VI-08-03-6268151. ....	69
<b>Figura 20.</b> Imágenes de las ocurrencias del Au en las muestras del prospecto Violetal, asociado a la cuarta etapa de mineralización. ....	70
<b>Figura 21.</b> Etapa de mineralización supérgena reconocida en el prospecto Violetal. .....	71
<b>Figura 22.</b> Secuencia Paragenética para la formación de los minerales de mena presentes en el Prospecto Violetal. La secuencia se caracteriza según cada mineral identificado en las diferentes etapas de mineralización, y de acuerdo a la composición las vetillas y brechas hidrotermales. ....	72
<b>Figura 23.</b> Muestras escogidas para el análisis de inclusiones fluidas. ....	73

<b>Figura 24.</b> Inclusiones fluidas asociadas a una vetilla de Cuarzo con textura en mosaico de la muestra VI-08-01-6916676. Presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I, tipo II y tipo III, encontradas principalmente en el núcleo del cristal, y ocasionalmente hacia el borde. ....	76
<b>Figura 25.</b> Inclusiones fluidas asociadas a una vetilla de Cuarzo con textura en mosaico de la muestra VI-08-01-6916676. Presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I y de tipo II, encontradas principalmente en el núcleo del cristal, y de inclusiones fluidas pseudo-secundarias de tipo I, alineadas en planos del cristal, pero entrampadas durante su etapa de formación. ....	77
<b>Figura 26.</b> Inclusiones fluidas asociadas a la brecha hidrotermal del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920. Presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I, encontradas principalmente del núcleo hacia el borde de los cristales. ....	78
<b>Figura 27.</b> Inclusiones fluidas asociadas a los fenocristales de Cuarzo del Pórfido Riolítico como roca caja de la brecha hidrotermal del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920. Presencia de inclusiones fluidas secundarias de tipo I, encontradas principalmente en planos de fractura de los fenocristales de Cuarzo. ....	79
<b>Figura 28.</b> Patrón generalizado de la zonación de alteración-mineralización de los depósitos de tipo Pórfido de Cu. Los volúmenes de los diferentes tipos de alteración varían de acuerdo al depósito. La alteración Sericítica se puede proyectar verticalmente hacia abajo cortando la zona Potásica de forma central. La alteración Sericítica tiende a ser más abundante en depósitos porfiríticos de Cu-Mo, mientras que la alteración de Clorita-Sericita se desarrolla preferencialmente en depósitos porfiríticos de Cu-Au. En el cuadro rojo se ubica lo zona de alteración hidrotermal que es evidenciada en las rocas del prospecto Violetal. ....	87
<b>Figura 29.</b> Cronología esquemática de una típica secuencia de vetillas en <b>a.</b> Depósitos de Pórfidos de Cu-Mo, y <b>b.</b> Depósitos de Pórfidos de Cu-Au, asociados con intrusiones calco-alcalin. ....	90

- Figura 30.** Diagrama Log  $fS_2$  vs.  $1000/T$ , mostrando los estados de sulfuración de los fluidos de los sistemas hidrotermales activos a 1 bar. Los círculos rojos señalan los minerales indicadores del estado de intermedia sulfuración, y que se encontraron en la cuarta y última etapa de mineralización en la zona del prospecto Violetal, caracterizada por la ensamblaje de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv. .... 92
- Figura 31.** Diagrama esquemático que muestra las tendencias típicas de salinidad – temperatura de homogenización para los procesos de evolución de los fluidos hidrotermales que formaron las inclusiones fluidas presentes en las muestras de las etapas de mineralización 1 y 4 del prospecto Violetal. .... 98
- Figura 32.** Diagrama de salinidad – temperatura de homogenización que ilustra los rangos típicos de los tipos de depósito para las inclusiones fluidas muestreadas de la primera etapa de mineralización (VI-08-01-6916676) y la cuarta etapa de mineralización (VI-08-02-6916920) evidenciadas en el prospecto Violetal. .... 100

## LISTA DE TABLAS

Pag.

<b>Tabla 1.</b> Relación de los testigos de núcleos de los 6 pozos de perforación del cerro Violetal. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Tabla de resumen donde se muestran las litologías y minerales de alteración hidrotermal observados mediante el logueo de los núcleos de perforación, en complemento con el análisis con el Terraspec, y posterior petrografía de las seleccionadas secciones delgadas pulidas. <b>Abreviaciones:</b> Clorita (Chl); Epidota (Ep); Illita (Ill); Sericita (Ser); Moscovita (Ms); Montmorillonita (Mnt); Caolinita (Kln); Ankerita (Ank); Dolomita (Dol). ....	37
<b>Tabla 3.</b> Tabla de resumen de los minerales mena encontrados en el prospecto Violetal y modo de ocurrencia en el depósito. ....	49
<b>Tabla 4.</b> Resumen de las características y composición de las vetillas presentes en el prospecto Violetal, para las muestras con sección delgada pulida. Para el resumen de todas las muestras analizadas ver anexo A-32. La composición de las vetillas presentadas en este cuadro corresponde a la composición actual, aunque en algunos casos esta composición no es paragenética. La relación de corte presentada comienza enumerando el evento más antiguo (comienza con el 1), hasta el evento más joven (termina con el número mayor). ....	57
<b>Tabla 5.</b> Tabla de resumen que muestra los factores para la caracterización de las inclusiones fluidas del prospecto Violetal, con sus respectivos códigos de nomenclatura. ....	74
<b>Tabla 6.</b> Tabla de resultados que muestra los datos obtenidos durante la práctica de microtermometría de inclusiones fluidas. Los datos de la muestra 01 (VI-08-01-	

6916676) están asociados a la primera etapa de mineralización, mientras que los datos de la muestra 02 (fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920) están asociados a la cuarta etapa de mineralización. .... 81

**Tabla 7.** Características de los principales tipos de alteración hidrotermal y mineralización en los sistemas de Pórfidos de Cu. En los recuadros rojos se resalta el tipo de alteración que se puede correlacionar con la alteración evidenciada en las muestras del prospecto Violetal. .... 88

**Tabla 8.** Características de las mineralizaciones de tipo Epitermal. En el recuadro rojo se ilustran las características de los depósitos epitermales de intermedia sulfuración, que son correlacionables con la tercera y cuarta etapa de mineralización evidenciadas en las muestras del prospecto Violetal. .... 93

**Tabla 9.** Temperaturas del punto eutéctico para diferentes sistemas salinos-acuosos (a 1 atm). En el recuadro rojo se ilustran los sistemas salinos de acuerdo a los valores de  $T_e$  que revelaron los estudios de microtermometría de inclusiones fluidas para la primera y cuarta etapa de mineralización. .... 96

## LISTA DE ANEXOS

- A.** Lista de los núcleos de perforación; Formatos de logueo de los 31 núcleos de perforación del prospecto Violetal; Resumen de las características de las vetillas presentes en las muestras.\*
- B.** Formato de Caracterización con el Terraspec de los 31 Núcleos de Perforación del prospecto Violetal.\*
- C.** Formatos de Petrografía de 15 secciones delgadas pulidas del prospecto Violetal.\*
- D.** Formatos de Caracterización con el microscopio electrónico de barrido (SEM) de 2 secciones delgadas pulidas del prospecto Violetal.\*
- E.** Formatos de petrografía y microtermometría de 2 secciones delgadas doblemente pulidas del prospecto Violetal.\*

\*Ver anexos en la carpeta adjunta

## RESUMEN

**TITULO:** CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, TEXTURAL Y DE MICROTERMOMETRÍA DEL PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO VETAS - CALIFORNIA (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA.\*

**AUTORES:** JUAN DAVID ACEVEDO PEÑA.

ANTONY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Distrito Minero Vetas – California (DMVC), alteración hidrotermal, secuencia paragenética, pórfidos Cu-Mo, depósitos epitermales.

El cerro Violetal representa un blanco de exploración dentro del Distrito Minero Vetas California (DMVC), ubicado en el flanco occidental del Macizo de Santander, en la Cordillera Oriental de Colombia. El análisis descriptivo de testigos de núcleos de perforación proporcionados por la empresa Eco-Oro Minerals Corp., y su respectivo análisis petrográfico permitió identificar una alteración hidrotermal Sericítica (illita-sericita-clorita) de la roca caja, bajo un ambiente de depósito tipo pórfido, con la presencia de mineralización de vetillas tipo B de  $Qz+Mo+Py\pm Ccp\pm Sp$  siendo cortadas por vetillas tipo D de  $Qz+Py\pm Ccp\pm Spc$ , y presentando una transición a un ambiente de tipo epitermal, compuesto por vetillas de  $Sp+Py+Qz$  y brechas hidrotermales de  $Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  junto con sulfosales ricas en Ag y Te, telurios y sulfuros de Bi. También se presentan eventos intermineralización de brechas magmático-hidrotermales y posteriores de brechas freáticas asociadas a la formación de una diatrema. Análisis de microtermometría de inclusiones fluidas primarias en los cuarzos de origen hidrotermal de la primera y última etapa de mineralización evidencian procesos de ebullición y mezcla como principales mecanismos de precipitación de las menas, con temperaturas entre 220°C y 435°C y salinidades de 15 Wt.%NaCl y 39 Wt.%NaCl para la etapa que se formó bajo condiciones de un ambiente porfirítico, y temperaturas de 147°C a 219°C y salinidades entre 6 Wt.%NaCl y 12 Wt.%NaCl para la etapa que se formó bajo condiciones de un ambiente epitermal. La composición de las etapas de mineralización de menas que se presentan en las muestras sugiere que el área de estudio representa un sistema transicional de depósito Porfirítico de Cu-Mo, a depósito Epitermal de Au-Ag de intermedia sulfuración, y la superposición de estas etapas sugiere que el sistema se puede encontrar abierto, y en mayor profundidad se pueda encontrar la zona de mayor bonanza de Cu.

---

\*Trabajo de Grado. Modalidad de investigación.

\*\*Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Universidad Industrial de Santander. Director: MSc. Julian Andres López Isaza. Codirector: MSc. Juan Carlos Molano Mendoza. Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia.

## ABSTRACT

**TITLE:** MINERALOGICAL, TEXTURAL AND MICROTERMOMETRY CHARACTERIZATION OF THE VIOLETAL PROSPECT, VETAS - CALIFORNIA MINING DISTRICT (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA.\*

**AUTORES:** JUAN DAVID ACEVEDO PEÑA.

ANTONY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Vetas – California (DMVC) Mining District, hydrothermal alteration, paragenetic sequence, porphyry Cu-Mo, epithermal deposits.

The Violetal Hill represent an exploration target inside of the Vetas – California mining district (DMVC), located in the western flank of the Santander Massif, in the Eastern Cordillera of Colombia. The descriptive analysis of drill core samples provided by the company Eco-Oro Minerals Corp., and their respective petrographic analysis allowed to identify a Sericitic hydrothermal alteration (illite-sericite-chlorite) of the host rock, in an environment of porphyry-type deposit, with the presence of B-type veinlets of  $Qz+Mo+Py\pm Ccp\pm Sp$ , being cut by D-type veinlets of  $Qz+Py\pm Ccp\pm Spc$ , and presenting a transition to an environment of epithermal-type deposit, composed by  $Sp+Py+Qz$  veinlets and  $Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  hydrothermal breccias, together with Ag- and Te-rich sulfosalts, and Bi-rich telluride and sulfides. Intermineralization events of magmatic-hydrothermal breccias and later events of freatic breccias associated with the formation of a diatreme also occur. Microtermometry analysis of primary fluid inclusions in the hydrothermal quartz of the first and last events of mineralization show processes of boiling and mixing as main mechanisms of ore precipitation, with temperatures between 220°C and 435°C and salinities between 15 Wt.%NaCl and 39 Wt.%NaCl for the event that form under conditions of a porphyritic environment, and temperatures of 147°C and 219°C and salinities between 6 Wt.%NaCl and 12 Wt.%NaCl for the event that form under conditions of an epithermal environment. The composition of the stages of ore mineralization presented in the samples suggest that the studied area represents a transitional system of a Porphyry Cu-Mo deposit, to an intermediate sulfidation epithermal Au-Ag deposit, and the overlap of this stages suggest that the system may be open, and in greater depth it may found the area of greatest prosperity of Cu.

---

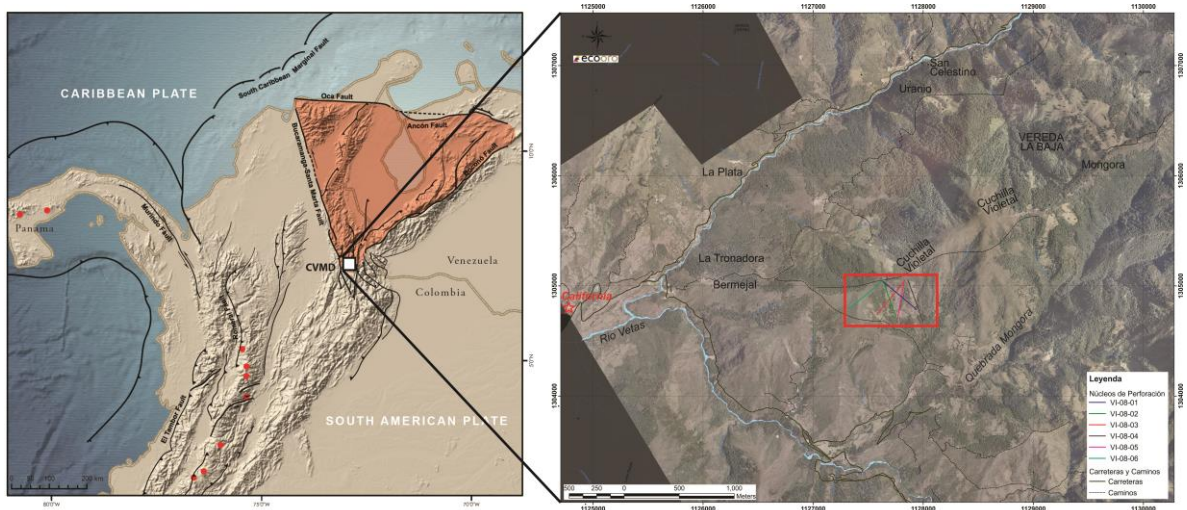
\*Bachelor Thesis.

\*\*Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Fisico-Químicas. Universidad Industrial de Santander. Director: MSc. Julian Andres López Isaza. Codirector: MSc. Juan Carlos Molano Mendoza. Associate professor Universidad Nacional de Colombia.

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio que comprende el prospecto Violetal se encuentra localizada en el cerro que lleva el mismo nombre, dentro del denominado Distrito Minero Vetas–California (DMVC), ubicado en el flanco occidental del Macizo de Santander, en la Cordillera Oriental de Colombia, aproximadamente a unos 67 Km de la ciudad de Bucaramanga, y a 5 Km aproximadamente del municipio de California, limite oriental del departamento de Santander (Figura 1). Esta zona se caracteriza por presentar un relieve montañoso, con una altura máxima aproximada de 3220 msnm, con laderas de alta pendiente y valles profundos, siendo los más representativos los valles del río La Baja y de la quebrada Móngora, que limitan el cerro hacia el NW y hacia el SE, respectivamente, y del río Vetas, que lo limita al S.

**Figura 1.** A la izquierda, localización del área de trabajo. A la derecha, modelo digital de elevación de la zona oriental al municipio de California. En el recuadro rojo se demarca la ubicación de los pozos de perforación del prospecto Violetal, de las muestras analizadas en el presente trabajo.



**Fuente:** A la izquierda, tomado de Bissig *et al.* (2013); A la derecha, modelo digital de elevación proporcionado por la empresa Eco-Oro Minerals Corp. Modificado por los autores.

El prospecto de Violetal representa un blanco de investigación que se encuentra relacionado con los diferentes depósitos de la zona de California, ubicados en diferentes áreas a lo largo del *trend* de La Baja, definido por una falla de rumbo paralela al valle del río La Baja, la cual constituye el principal control estructural de las importantes mineralizaciones que se manifiestan en esta zona. Estos depósitos incluyen, entre otros, de NE a SW a Angosturas, La Bodega, La Mascota, El Cuatro, Pie de Gallo, San Celestino, y La Plata. Diferentes estudios liderados por el *Mineral Deposit Reserch Unit* (MDRU) se han enfocado en determinar las características de los sistemas mineralizantes, con el fin reconocer los procesos geológicos que influyeron en la evolución hidrotermal de estos prospectos.

Dentro de este marco de investigación, las menciones en los diferentes trabajos acerca del prospecto de Violetal son muy pocas o nulas. Galvis (1998) hace referencia a la presencia de brechas volcánicas (?) polimícticas (con clastos de rocas sedimentarias) que se encuentran dentro una estructura en domo aparentemente de un edificio volcánico de aproximadamente 9-10 Km<sup>2</sup>, donde se observan aflorando en los drenajes cercanos varios cuerpos porfiríticos en forma de diques de composición y textura variable. Aparte de este, no se han realizado estudios de investigación enfocados específicamente a reconocer las principales características del sistema mineralizante de este prospecto, por lo tanto las menciones realizadas son muy superficiales.

A raíz de lo anterior se generan las siguientes preguntas de investigación respecto al blanco del Cerro Violetal: ¿Cuál es la composición mineralógica de las rocas que se encuentran en el área? ¿Cuál es la disposición y cómo son las relaciones texturales de los minerales de mena presentes? ¿Cómo es la disposición y composición de las venas mineralizantes? ¿Qué tipo de alteración hidrotermal se presenta en las rocas encajantes? ¿Cuántas etapas de mineralización y alteración

hidrotermal se evidencian en el área? ¿Cuáles son las principales características de los fluidos hidrotermales? ¿Qué modelo podría aplicarse para explicar la historia evolutiva del sistema mineralizante en el blanco de Violetal respecto al marco tectono-magmático presente? ¿Qué diferencias o similitudes se encuentran respecto a los demás prospectos dentro del DMVC?. Para dar respuesta a algunas de las preguntas planteadas anteriormente, se propuso realizar un trabajo de investigación en el prospecto del Cerro Violetal, mediante el estudio detallado de 31 testigos de núcleos de perforación proporcionados por la empresa Eco Oro Minerals Corp., incluyendo actividades relacionadas con la identificación de los minerales de alteración, el análisis petrográfico de la mineralogía de mena, análisis petrográfico de inclusiones fluidas que se presenten en los eventos hidrotermales, y su respectivo análisis de microtermometría, con el fin de caracterizar las mineralizaciones presentes en estas muestras.

Con la realización de este proyecto se pretende generar algunos aportes al conocimiento acerca de los procesos geológicos que generaron las mineralizaciones en el prospecto Violetal, con especial énfasis en el reconocimiento de los ensamblajes mineralógicos presentes en las rocas del área, las relaciones texturales de los minerales de mena, las principales características de los fluidos mineralizantes que se evidencien mediante la microtermometría de inclusiones fluidas, las diferentes etapas de mineralización y alteración hidrotermal que hayan sufrido las rocas de esta zona, y como se correlacionan con los modelos propuestos para los diferentes prospectos dentro del DMVC.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer las características mineralógicas, texturales y de los fluidos hidrotermales del prospecto Violetal, Distrito Minero Vetas – California, Santander.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-Caracterizar los minerales de mena, sus relaciones texturales, y evidencias de las alteraciones hidrotermales presentes en testigos de núcleos de perforación del prospecto Violetal.

-Definir los ensamblajes minerales y la paragénesis de las diferentes fases de mineralización que se puedan evidenciar, mediante las relaciones de corte de las venas, y sus principales características.

-Determinar las principales características de los fluidos mineralizantes, mediante el estudio petrográfico y de microtermometría de las inclusiones fluidas presentes en las venas.

-Plantear a la luz de los nuevos datos un posible modelo de mineralización y alteración hidrotermal que se acomode a los rasgos que se evidencian en las rocas del prospecto Violetal.

## 2. ANTECEDENTES

El Distrito Minero Vetas-California ha sido objeto de diversos estudios debido a la necesidad de comprender la evolución geológica, el ambiente y los eventos responsables de la mineralización de metales preciosos y base en el área. Este estudio se centrara en el área correspondiente al cerro Violetal, localizada dentro del Distrito Minero Vetas-California.

En estudios previos se ha logrado definir que la mineralización del Distrito Minero Vetas-California está relacionada principalmente con procesos magmático-hidrotermales presentando alteraciones propias de tipo pórfido y epitermal (Mantilla *et al.*, 2011; Mantilla *et al.*, 2013), posiblemente asociada a diques porfiríticos de composición riolítica, cuarzolatítica y dacítica de edad Miocena (8,5 Ma – 10,9 Ma por geocronología U-Pb LA-MC-ICPMS en circones) (Pinilla y Reyes, 2013; Mantilla *et al.*, 2013; Rodríguez, 2014; Cruz *et al.*, 2014), aunque la sobreimposición de alteraciones tipo epitermal sobre las alteraciones tipo pórfido, que además afectan a todas las rocas aflorantes del distrito incluyendo a las rocas porfiríticas de edad Mioceno, puede sugerir que existen pulsos magmáticos aún más jóvenes (Mantilla *et al.*, 2013).

Raley (2012) y Rodríguez (2014), realizaron estudios en diferentes minas del DMVC, La Plata, y La Bodega - La Mascota, respectivamente, concluyendo que existen tres principales tipos de zonas de alteración relacionada a los depósitos de tipo pórfido e hidrotermal de media a alta sulfuración con su respectiva evolución y ensamblajes minerales, la primera es la Propilítica que es sobreimpresa por la Fílica la cual es a su vez sobreimpresa por la Argílica Avanzada en algunas zonas. Los principales minerales de mena presentes son pirita, especularita, wolframita,

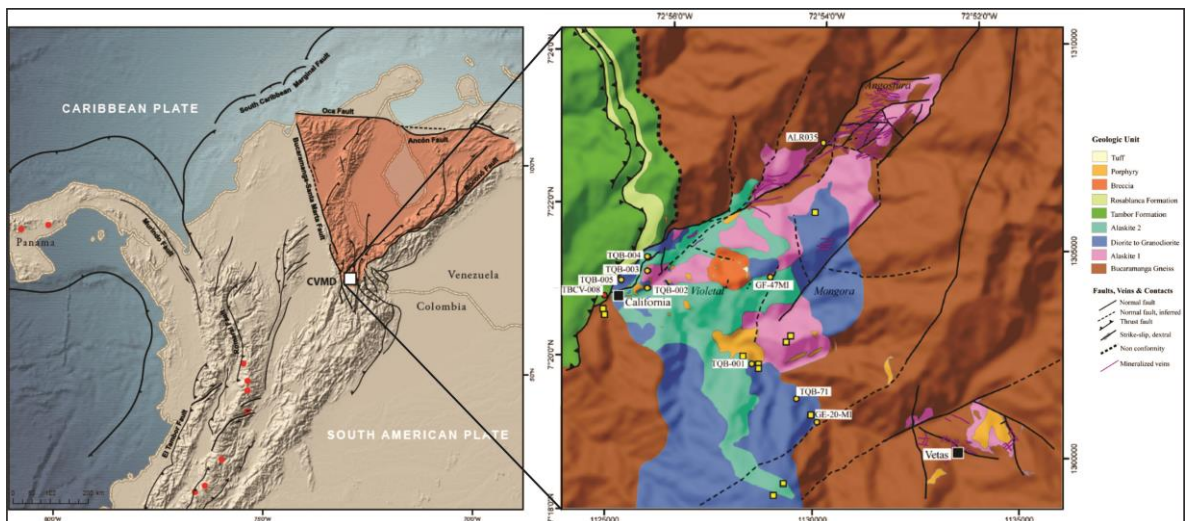
tennantita, esfalerita, calcocita, oro y plata, donde los eventos de mayor mineralización de oro y plata están relacionados a las fases de alteración Fílica y Argílica Avanzada. El estudio de microtermometría indica que en las primeras fases de alteración los fluidos responsables son de origen magmático, y en los estados tardíos ocurre una mezcla de aguas magmáticas con aguas meteóricas.

Galvis (1998) realizó un estudio en el oriente de California, en el cerro Violetal, sugiriendo la presencia de un domo volcánico, el cual representa un edificio volcánico que se extiende por 9-10 Km<sup>2</sup>, donde en los drenajes aledaños afloran varios diques porfiríticos de diversas composiciones. En este mismo trabajo Galvis (1998) también menciona que cerca de la cima del cerro Violetal se presenta una brecha volcánica con fragmentos de rocas variadas, entre los cuales se incluyen rocas sedimentarias, y en las zonas menos erosionadas se observan depósitos de ceniza y arenas volcánicas.

### 3. MARCO GEOLÓGICO

La región de Los Andes de Colombia fue dividida por Cediél *et al.* (2003) en tres dominios tectónicos, que comprenden el Dominio Tectónico Occidental, el Dominio de la Subplaca Central Continental, y el Dominio de la Subplaca Maracaibo. El Dominio de la Subplaca Maracaibo, está limitado por las fallas de Bucaramanga-Santa Marta, Oca y Boconó (Tschanz *et al.*, 1974; Van der Hilst and Mann, 1994; Mantilla *et al.*, 2013). El Distrito Minero Vetas-California (DMVC) está localizado dentro del Macizo de Santander, que a su vez se encuentra en el sector suroeste dentro del Dominio Tectónico de la Subplaca Maracaibo (Figura 2) (Mantilla *et al.*, 2011; 2013).

**Figura 2.** A la izquierda el mapa de la localización del área de estudio. El Bloque Maracaibo (triángulo de color naranja), fallas principales y localización actual del arco Colombiano. Los volcanes activos son indicados con puntos rojos. A la derecha el mapa geológico del DMVC, con los principales prospectos.



**Fuente:** Tomado de Bissig *et al.* (2013). Modificado por los autores

El Macizo de Santander comprende tres unidades metamórficas. La principal es el Gneis de Bucaramanga, que fue definida por Ward *et al.* (1973) como un para-gneis migmatítico de alto grado de metamorfismo, de edad Proterozoico, y presenta rocas migmatíticas, anfibolitas, cuarcitas y granulitas (García y Ríos, 1999; Mantilla *et al.*, 2012). La segunda unidad metamórfica es la Formación Silgará, que se encuentra superpuesta al Gneis de Bucaramanga. Esta formación está compuesta por esquistos, filitas, meta-limolitas, meta-arenitas, orto-anfibolitas y en menor proporción por mármoles de edad Paleozoico Inferior a Tardío (Ward *et al.*, 1973; García y Ríos, 1999; Mantilla *et al.*, 2013). Debido a la presencia de notables diferencias en las litologías asociadas con la Formación Silgará, Mantilla *et al.* (2016) propone escindirla en tres unidades diferentes: Formación Silgará con edades de posible depositación del protolito Neo-Proterozoica (Toniano); Esquistos del Chicamocha, con una edad máxima estratigráfica del Cámbrico medio-temprano; y Filitas de San Pedro, con una edad máxima estratigráfica Ordovícica Tardío. Las dos primeras unidades anteriormente mencionadas asociadas a la Formación Silgará sufrieron metamorfismo durante el Ordovícico Temprano (Orogenia Famatiniana), mientras que la última parece haber sido afectada por un evento posterior durante el Ordovícico Tardío y el Pre-Devónico Medio (Mantilla *et al.*, 2016). Por último, y como unidad más joven afectada por el metamorfismo, se encuentra una meta-diorita (Unidad Ortoneis) que intruye las dos unidades anteriormente descritas, con edad de 477 Ma por el método U-Pb LA-ICPMS en circones (Mantilla *et al.*, 2012).

Además de esto, batolitos graníticos a dioríticos, calcoalcalinos, de edad Jurásica a Triásica, que incluye las granodioritas de Páramo Rico (Goldsmith *et al.*, 1971; Ward *et al.*, 1973), los leucogranitos y cuarzo-monzonitas en la parte central del DMVC (Mantilla *et al.*, 2013), y que fueron incluidas en el Grupo Plutónico de Santander (Goldsmith *et al.*, 1971; Ward *et al.*, 1973), se encuentran intruyendo el basamento metamórfico (Ríos *et al.*, 2003; Raley, 2012). Según Mendoza y Jaramillo (1979),

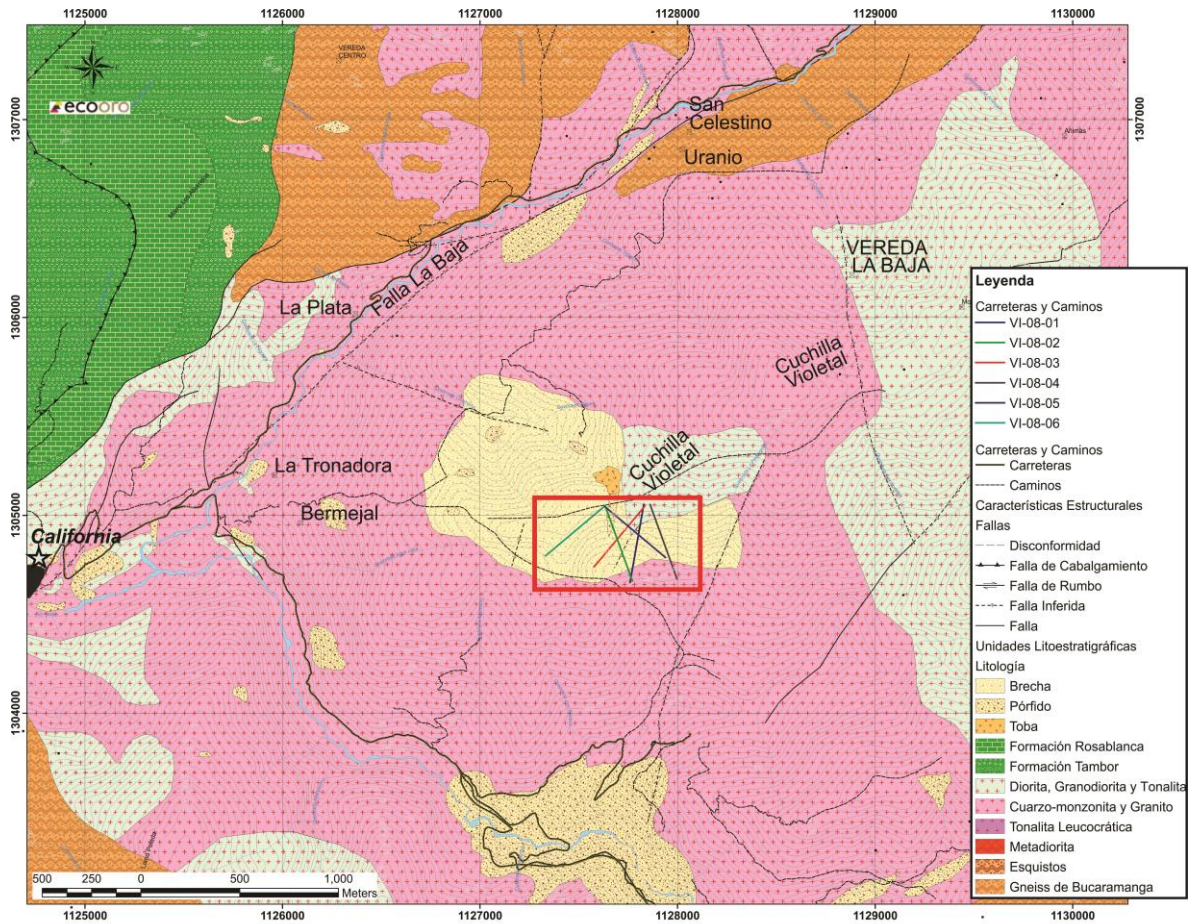
rocas de la Formación Tambor se encuentran suprayaciendo de manera discordante el basamento al occidente del área de estudio.

Finalmente, cuerpos porfiríticos que cortan el Grupo Plutónico de Santander, el Gneis de Bucaramanga y las unidades sedimentarias, fueron encontrados en el DMVC como diques, silos y pequeños cuerpos de formas irregulares (Mantilla *et al.*, 2013; Rodríguez, 2014). Estos pórfidos son de composición riolítica, cuarzolítica y dacítica, y sus edades están en el rango de 8,5 Ma a 10,9 Ma obtenidas por el método U-Pb LA-MC-ICPMS en circones (Pinilla y Reyes, 2013; Mantilla *et al.*, 2009; Mantilla *et al.*, 2011; Raley, 2012).

Según Mantilla *et al.* (2013) este magmatismo Mioceno coincide temporalmente con la reactivación del Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta, relacionada a la acreción del bloque Chocó y el levantamiento de la Cordillera Oriental (Dengo and Covey, 1993; Villagómez *et al.*, 2011).

En la figura 3 se observa el mapa geológico del área del prospecto Violetal dentro de DMVC proporcionado por la empresa Eco-Oro Minerals Corp. En éste la zona donde se ubican los pozos de perforación se encuentra dominada por las manifestaciones superficiales de litologías de tipo brecha y ocasionalmente de granitoides, tobas y pórfidos, emplazados en una litología compuesta principalmente por rocas ígneas plutónicas, en su mayoría de composición Cuarzo-monzonítica a Granítica, y en menor proporción de composición Diorítica, Granodiorítica y Tonalítica. En el área estas rocas ígneas se encuentran emplazadas en el basamento metamórfico compuesto por el Gneis de Bucaramanga.

**Figura 3.** Mapa geológico del área del prospecto Violeta dentro del Distrito Minero Vetas – California. En el recuadro rojo se enmarca la ubicación de los pozos de perforación del prospecto Violeta.



**Fuente:** Mapa Geológico proporcionado por la empresa Eco-Oro Minerals Corp. Modificado por los autores.

Las fallas de Suratá y Cucutilla son consideradas fallas satélite de la Falla de Bucaramanga (Royero y Clavijo, 2001; Mantilla *et al.*, 2011), y de alguna manera han debido afectar el desarrollo del DMVC (Mantilla *et al.*, 2011).

En el DMVC se presentan tres tipos de patrones de fallamiento (Mantilla *et al.*, 2011). El primero es un sistema de fallas NE, que tienden a seguir el trazo de las quebradas La Baja, Móngora, La Plata y El Salado (Mantilla *et al.*, 2011). El segundo

sistema de fallas, que es algo menos evidente, presenta una dirección NW (Mantilla *et al.*, 2011). Como ejemplo de este sistema de fallas se encuentra la falla que sigue el trazo de la Quebrada Páez y continua muy próximo a la entrada del proyecto Angosturas. También, la falla relacionada al trazo de la Quebrada El Arado, que pasa cortando la Loma Los Caneyes, y sigue la ladera Suroeste del Cerro Violetal, continuando hacia la Quebrada Chorrerón y llegando a la Falla La Baja (Mantilla *et al.*, 2011). Además, se presenta un sistema de fallas NNW que puede estar relacionado con el Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta (Mantilla *et al.*, 2011).

Las fallas NNW son las más antiguas, y han jugado un papel importante en la historia de deformación del macizo (Juliver, 1959; Mantilla *et al.*, 2011). Según Mantilla *et al.* (2011) estas estructuras antiguas fueron reactivadas durante el Mioceno, considerando que varios diques andesíticos de esta edad y con una dirección 180/45, suelen estar presentes en cercanías a las zonas de intersección de este sistema de fallas, con las NE. Además las fallas NW presentan un comportamiento inverso y son las más jóvenes (Mantilla *et al.*, 2011).

#### 4. METODOLOGÍA

Previo a la ejecución de las actividades propuestas a desarrollarse en este proyecto, se realizó la respectiva revisión y consulta del material bibliográfico relacionado con la temática a desarrollar y con los antecedentes referentes al área de estudio como libros, artículos científicos, informes técnicos, trabajos de grado, mapas geológicos y memorias explicativas obtenidos a partir de las diferentes bases de datos disponibles de la Universidad Industrial de Santander.

Se realizó el logueo detallado de 31 testigos de núcleos de perforación correspondientes a diferentes intervalos dentro de 6 pozos ubicados en el cerro Violetal, proporcionados por la empresa Eco-Oro Minerals Corp. (Tabla 1). Cabe anotar que los testigos de núcleos de perforación presentan datos de su profundidad, sin embargo no presentan orientación y se encuentran cortados por la mitad, y algunos fracturados. Esta fase incluye el análisis descriptivo y la caracterización de la mineralogía de alteración y de mena, así como los rasgos texturales y relaciones de corte de las venas mineralizantes que se pueden evidenciar en las muestras de mano. Para este análisis se emplearon herramientas como lupas binoculares, rayadores, imanes y ácido clorhídrico. Además, las muestras fueron sometidas a análisis por la técnica de espectrometría de reflectancia con el equipo de TerraSpec en las oficinas de Eco-Oro Minerals Corp., para identificar de manera más precisa los minerales de alteración hidrotermal presentes en las muestras, donde se tomaron diferentes puntos en cada muestra, obteniendo así 108 espectros que luego fueron procesados con ayuda del software SpecMin v3.1, con licencia en la empresa Eco-Oro Minerals Corp., para dar como resultado los minerales asociados a cada espectro. Este muestreo permitió la selección de los núcleos de mayor interés para la realización de secciones delgadas pulidas que permiten una caracterización más detallada a nivel petrográfico.

**Tabla1.** Relación de los testigos de núcleos de los 6 pozos de perforación del cerro Violetal.

POZO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		FRAGMENTOS
		DE	A	
VI-08-01	6964977	117,00	117,17	1
VI-08-01	6964986	135,40	135,50	1
VI-08-01	6964995	149,10	149,30	2
VI-08-01	6916502	161,90	162,00	2
VI-08-01	6916525	197,20	197,50	1
VI-08-01	6916536	212,80	212,90	1
VI-08-01	6916567	261,15	261,25	1
VI-08-01	6916574	271,50	271,65	1
VI-08-01	6916575	273,00	273,15	1
VI-08-01	6916578	279,20	279,40	1
VI-08-01	6916594	307,80	307,90	1
VI-08-01	6916598	313,90	314,00	1
VI-08-01	6916676	443,90	440,00	2
VI-08-01	6916679	448,35	448,55	1
VI-08-01	6916680	450,00	450,25	1
VI-08-01	6916724	527,15	527,25	1
VI-08-02	6916885	290,90	291,00	1
VI-08-02	6916920	351,30	351,40	2
VI-08-02	6916920	351,60	351,70	
VI-08-02	6916941	387,30	387,45	1
VI-08-02	6916961	423,20	423,35	1
VI-08-03	6268151	268,20	268,35	1
VI-08-03	6268154	273,80	274,00	1
VI-08-03	6268244	422,80	422,90	1
VI-08-03	6268251	434,10	434,30	1
VI-08-03	6268269	434,10	434,30	1
VI-08-04	6268456	259,70	259,80	1
VI-08-04	6268479	302,70	302,85	1
VI-08-04	6272628	395,20	395,40	1
VI-08-05	6272777	239,45	239,60	1
VI-08-05	6272819	316,10	316,20	1
VI-08-06	6272942	127,05	127,20	1

Los formatos del logueo descriptivo de los núcleos de perforación y de los análisis de petrografía de secciones delgadas pulidas fueron tomados y modificados de Barbosa (2016), quien realizó un estudio de la evolución hidrotermal del prospecto La Plata, del Distrito minero Vetas – California. Las abreviaturas minerales usadas en los formatos e imágenes descriptivas del presente informe fueron adoptadas a partir de Whitney and Evans (2010). Aquellos minerales que no se encontraban dentro de esta publicación recibieron abreviaciones propuestas por los autores.

Tanto las secciones delgadas pulidas para los análisis de petrografía, como las secciones delgadas doblemente pulidas para los análisis de microtermometría de inclusiones fluidas fueron realizadas en la empresa Minerlab Ltda. en Bogotá.

Un total de 15 secciones delgadas pulidas fueron analizadas petrográficamente mediante el uso de un microscopio petrográfico modelo Leica DM750P de luz reflejada y luz transmitida, en las oficinas de Eco-Oro Minerals Corp., y uno modelo Olympus CX31PF de luz reflejada y luz transmitida de los laboratorios de microscopía de menas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Esta fase permitió realizar el análisis de las características mineralógicas y texturales de las muestras seleccionadas, y cuya actividad se dividió en dos etapas principales: La primera etapa consistió en la caracterización de la mineralogía de alteración y de mena correspondiente a cada muestra, junto con el reconocimiento de las relaciones texturales presentes. Esta etapa se complementó con el análisis de minerales de mena de 3 de las secciones delgadas pulidas más representativas bajo el microscopio electrónico de barrido (SEM). A estas secciones se les realizó un recubrimiento de carbono, y se analizaron en el equipo QUANTA FEG650 del Parque Tecnológico Guatiguará, de la Universidad Industrial de Santander, bajo un detector de imagen de electrones retrodispersados (BSED). Los análisis de las firmas espectrales se realizaron con el software EDAX APOLLO X; La segunda

etapa petrográfica consistió en la identificación de inclusiones fluidas presentes en las venas mineralizantes, y desarrollo posterior de su petrografía, con el fin de identificar las diferentes asociaciones de inclusiones fluidas, sus características principales y clasificación, con ayuda de un microscopio petrográfico modelo Olympus CX31PF de luz reflejada y luz transmitida de los laboratorios de microscopía de menas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Esta última actividad permitió la selección y realización de 2 secciones delgadas doblemente pulidas para la aplicación de la técnica de microtermometría de inclusiones fluidas, realizada con un microscopio LINKHAM THM600 en el laboratorio de microtermometría de inclusiones fluidas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Los fragmentos doblemente pulidos de las muestras escogidas se separaron del vidrio dejando las secciones en un frasco de acetona durante 24 horas, y posteriormente se cortaron los chips de interés para la medición de las temperaturas de inclusiones fluidas. Se registraron los datos de 58 inclusiones fluidas, las cuales fueron enfriadas hasta  $-120^{\circ}\text{C}$  y luego se dejaron calentar hasta la temperatura ambiente. Durante este proceso se registraron las temperaturas de primera fusión ( $T_e$ ) y de fusión total del hielo ( $T_m$  ice). Posteriormente, las inclusiones fueron calentadas hasta alcanzar la temperatura de homogenización ( $T_h$ ), donde la inclusión fluida pasa a formar una sola fase. El procesamiento de los datos se realizó con el software BULK del paquete FLUIDS desarrollado por Bakker, de licencia libre.

Finalmente, todos los resultados de los diferentes estudios realizados fueron compilados y ordenados en el informe técnico, con la respectiva discusión y conclusiones que se presentan con la propuesta de un modelo de evolución hidrotermal del sistema mineralizante correspondiente al prospecto Violetal.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. LITOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Los ensamblajes minerales fueron inicialmente identificados mediante el logueo y la observación descriptiva de las muestras de mano de los núcleos de perforación y posteriormente mediante la petrografía de secciones delgadas pulidas. Las muestras fueron analizadas posteriormente por medio del Terraspec, que mide la reflectancia de la luz en la zona infrarroja, para identificar con mayor precisión los minerales de alteración hidrotermal.

En las 31 muestras descritas se identificaron 3 litologías presentes en el área de estudio, donde la mayoría presentan evidencias de alteraciones hidrotermales moderadas a fuertes, mientras que otras consisten principalmente de venas de reemplazamiento, donde se alberga la mayor mineralización de sulfuros, y en las cuales no es posible identificar con claridad el tipo de litología. En la tabla 2 se muestra un resumen de las diferentes litologías y minerales de alteración hidrotermal que se encontraron en las muestras analizadas.

**5.1.1. Litología.** La primera litología identificada para el área de estudio corresponde a una roca ígnea plutónica clasificada como un granito, con textura fanerítica, equigranular, de tamaño de grano medio a fino, la cual presenta una alteración hidrotermal moderada a fuerte (Figura 4). Estas rocas están compuestas principalmente de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, con una proporción modal de 40%, 38% y 22% respectivamente. Se presentan también cristales secundarios que posiblemente fueron biotitas o anfíboles, que en las muestras se encuentran reemplazados completamente por Clorita, como producto de la alteración hidrotermal.

**Tabla 2.** Tabla de resumen donde se muestran las litologías y minerales de alteración hidrotermal observados mediante el logueo de los núcleos de perforación, en complemento con el análisis con el Terraspec, y posterior petrografía de las seleccionadas secciones delgadas pulidas. **Abreviaciones:** Clorita (Chl); Epidota (Ep); Illita (Ilt); Sericita (Ser); Moscovita (Ms); Montmorillonita (Mnt); Caolinita (Kln); Ankerita (Ank); Dolomita (Dol).

Pozo	Muestra	Profundidad(m)		Litología	Minerales de Alteración
		DE	A		
VI-08-01	6964977	117,00	117,17	Granito	Chl, Ep, Ilt, Ser, Mnt
VI-08-01	6964986	135,40	135,50	Mineralización	Ilt, Ser, Kln
VI-08-01	6964995	149,10	149,30	Granito	Chl, Ep, Ilt, Ser, Ank,
VI-08-01	6916502	161,90	162,00	Mineralización	Qz, Ilt, Ser, Kln
VI-08-01	6916525	197,20	197,50	Granito	Chl, Ilt, Ser, Mnt, Dol
VI-08-01	6916536	212,80	212,90	Granito	Chl, Ep, Ilt, Ser, Kln
VI-08-01	6916567	261,15	261,25	Brecha Volcánica	Ilt, Ser, Ms
VI-08-01	6916574	271,50	271,65	Granito	Ilt, Ser, Mnt
VI-08-01	6916575	273,00	273,15	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser
VI-08-01	6916578	279,20	279,40	Granito	Ilt, Ser, Ms, Ank, Kln
VI-08-01	6916594	307,80	307,90	Mineralización	Ilt, Ser, Kln, Ank, Dol
VI-08-01	6916598	313,90	314,00	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Ms, Kln
VI-08-01	6916676	443,90	440,00	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Ms, Kln
VI-08-01	6916679	448,35	448,55	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Ms, Kln
VI-08-01	6916680	450,00	450,25	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Ms, Kln
VI-08-01	6916724	527,15	527,25	Mineralización	Qz, Ilt, Ser, Kln
VI-08-02	6916885	290,90	291,00	Granito	Ilt, Ser, Ms
VI-08-02	6916920	351,30	351,40	Mineralización	Ilt, Ser
VI-08-02	6916920	351,60	351,70	Mineralización	Ilt, Ser, Kln
VI-08-02	6916941	387,30	387,45	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Ms, Kln, Dol
VI-08-02	6916961	423,20	423,35	Brecha Volcánica	Ilt, Ser
VI-08-03	6268151	268,20	268,35	Mineralización	Ilt, Ser, Kln
VI-08-03	6268154	273,80	274,00	Granito	Ilt, Ser, Ms, Ank, Kln
VI-08-03	6268244	422,80	422,90	Mineralización	Ilt, Ser
VI-08-03	6268251	434,10	434,30	Mineralización	Ilt, Ser, Kln
VI-08-03	6268269	434,10	434,30	Brecha Volcánica	Ilt, Ser, Ms, Mnt, Kln, Dol
VI-08-04	6268456	259,70	259,80	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Kln, Ank
VI-08-04	6268479	302,70	302,85	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Kln
VI-08-04	6272628	395,20	395,40	Pórfido Riolítico	Ilt, Ser, Kln
VI-08-05	6272777	239,45	239,60	Granito	Ilt, Ser, Kln
VI-08-05	6272819	316,10	316,20	Mineralización	Ilt, Ser, Kln
VI-08-06	6272942	127,05	127,20	Brecha Volcánica	Ilt, Ser, Kln, Chl, Ank

En sección delgada el cuarzo se presenta como cristales subhedrales a anhedrales, con tamaños que oscilan entre 0.2mm y 1.6mm, en su mayoría con extinción ondulante. El feldespato potásico se presenta como cristales subhedrales, de hábito tabular, con tamaños que oscilan entre 0.4mm a 1.4mm, donde algunos presentan macla de carlsbad, y la mayoría se encuentran afectados por la alteración hidrotermal. Los cristales de plagioclasa se presentan con formas subhedrales a euhedrales de hábito tabular, con tamaños que oscilan entre los 0.4mm y 1.2mm, característicos por su macla polisintética, en su mayoría afectados fuertemente por la alteración hidrotermal.

La segunda litología corresponde a una roca ígnea subvolcánica, hipoabisal, con textura porfirítica, clasificada como una riolita porfirítica, de matriz afanítica microcristalina y fenocristales de tamaño fino a grueso, afectados fuertemente por la alteración hidrotermal (Figura 4). Esta roca está compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo y feldespato potásico, el cual se encuentra en su mayoría reemplazado totalmente por la mineralogía de alteración, pero mantiene su hábito y estructura relícto.

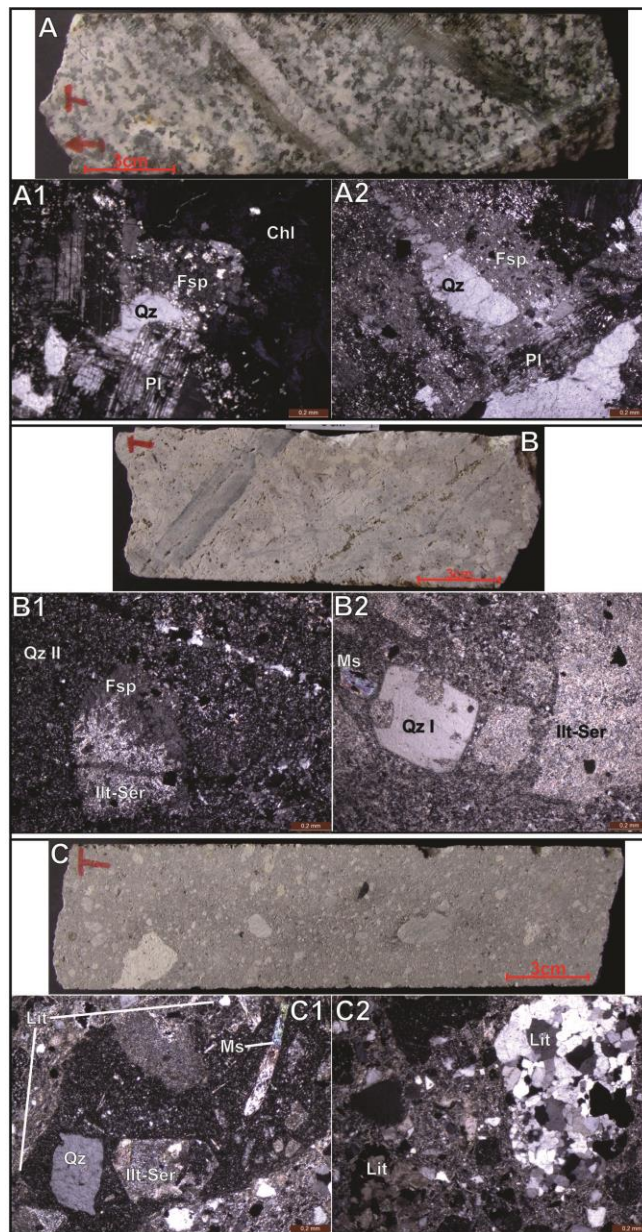
En sección delgada el cuarzo se presenta como fenocristales euhedrales con formas rómbicas, de origen subvolcánico (cuarzo bipiramidal o Beta), con tamaños que oscilan entre los 0.3mm y 1.4mm. La mayoría de estos cuarzos presentan texturas de embahiamiento o corrosión. Los cristales de feldespato potásico que aún no han sido reemplazados completamente se observan con formas subhedrales a euhedrales, de hábito tabular y con tamaños que varían entre 0.8mm y 1.3mm. La matriz microcristalina está compuesta principalmente de cuarzo, y posiblemente feldespato potásico, que ha sido reemplazado por la mineralogía de alteración. Estas rocas correspondientes a pórfidos riolíticos se encuentran cortando a la roca ígnea plutónica clasificada como granito.

La tercera litología corresponde a rocas ígneas subvolcánicas, que se clasificaron como brechas volcánicas (Figura 4). Estas brechas se caracterizan por ser matriz-soportadas, donde esta matriz está compuesta principalmente por cuarzo microcristalino a criptocristalino. Estas brechas presentan características que permiten separarlas en dos grupos:

El primer grupo, de mayor profundidad, está conformado por fragmentos angulares a subredondeados de cuarzo, moscovita, pirita y calcopirita, fragmento líticos ígneos porfiríticos, de tamaños entre los 2mm y 2.5cm, algunos de ellos rodeados por vidrio volcánico. Estas brechas fueron clasificadas como brechas magmático-hidrotermales. El segundo grupo, de menor profundidad, presenta fragmentos redondeados a subredondeados de cuarzo, magnetita, pirita, y fragmentos líticos de origen ígneo y algunos de origen sedimentario, posiblemente de areniscas (fragmentos polimícticos), con tamaños que varían entre 1mm y 8mm. Este segundo grupo se clasificó como brechas freáticas.

También se identificaron brechas hidrotermales formadas durante los eventos mineralizantes, las cuales se caracterizan por ser venas de pirita que fueron fracturadas por pulsos de calcopirita (estas brechas se describen con mayor detalle en el capítulo de Mineralogía de Menas).

**Figura 4.** Litologías encontradas en el área del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6964977 a 117m de profundidad, donde se muestra la litología del granito, con el aspecto verdoso producto de la alteración hidrotermal de los minerales máficos presentes. **A1** y **A2.** Mineralogía en sección delgada del granito, con presencia de cuarzo (Qz), feldespato potásico (Fsp) y plagioclasa (Pl). **B.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6916676 a 443,9m de profundidad, donde se muestra la litología del pórfido riolítico, con su aspecto blanquecino producto de la alteración hidrotermal de los feldespatos potásicos como fenocristales y en la matriz. **B1** y **B2.** Mineralogía en sección delgada del pórfido riolítico, con la presencia de fenocristales de feldespato potásico y cuarzo subvolcánico (Qz I; cuarzo Beta) con textura de corrosión, embebidos en una matriz microcristalina de cuarzo (Qz II). **C.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268269 a 434,1m de profundidad, donde se observa la litología de la brecha magmático-hidrotermal. **C1** y **C2.** Mineralogía en sección delgada de las brechas freáticas, con la presencia de fragmentos líticos (Lit) de rocas porfíricas e ígneas.



**5.1.2. Mineralogía de Alteración Hidrotermal.** Para el área del prospecto Violetal se encuentran principalmente los siguientes minerales de alteración hidrotermal: illita, sericita, montmorillonita, clorita, epidota, titanita, carbonatos (ankerita y dolomita), y caolinita (Tabla 2). A continuación se describen la distribución, abundancia, asociaciones y relaciones de estos minerales que evidencian la actividad hidrotermal en las litologías presentes en el área de estudio.

En las muestras estudiadas se identificaron dos ensamblajes principales de alteración hidrotermal. El primero evidenciado por la asociación clorita-epidota y el segundo evidenciado por la asociación illita-sericita. La distribución espacial del ensamblaje de alteración clorita-epidota se limita únicamente a las muestras más superficiales del pozo VI-08-01, donde afecta principalmente la litología del granito con presencia de minerales máficos, mientras que el ensamblaje de alteración illita-sericita es el más abundante, presentándose en la mayoría de las muestras, afectando las tres litologías, principalmente a la del pórfido riolítico. Aparte de estos dos ensamblajes principales, se reconoce un evento final de alteración compuesto principalmente por minerales de carbonatos, y que cortan todas las alteraciones presentes en las rocas.

**5.1.2.1. Ensamblaje de Alteración Clorita-Epidota.** La ocurrencia de clorita se limita al reemplazamiento en su totalidad de los minerales máficos originales de la litología del granito. Asociada a la clorita se encuentran cristales de titanita como inclusiones producto también de la alteración de los minerales máficos con contenidos de Ti. La epidota se encuentra únicamente como halos de alteración de las vetillas que cortan las rocas en las zonas donde se presenta la alteración de clorita. Se presenta también illita y sericita, en menor proporción, como producto de la alteración de los cristales de feldespato potásico y plagioclasa de la roca caja (Figura 5).

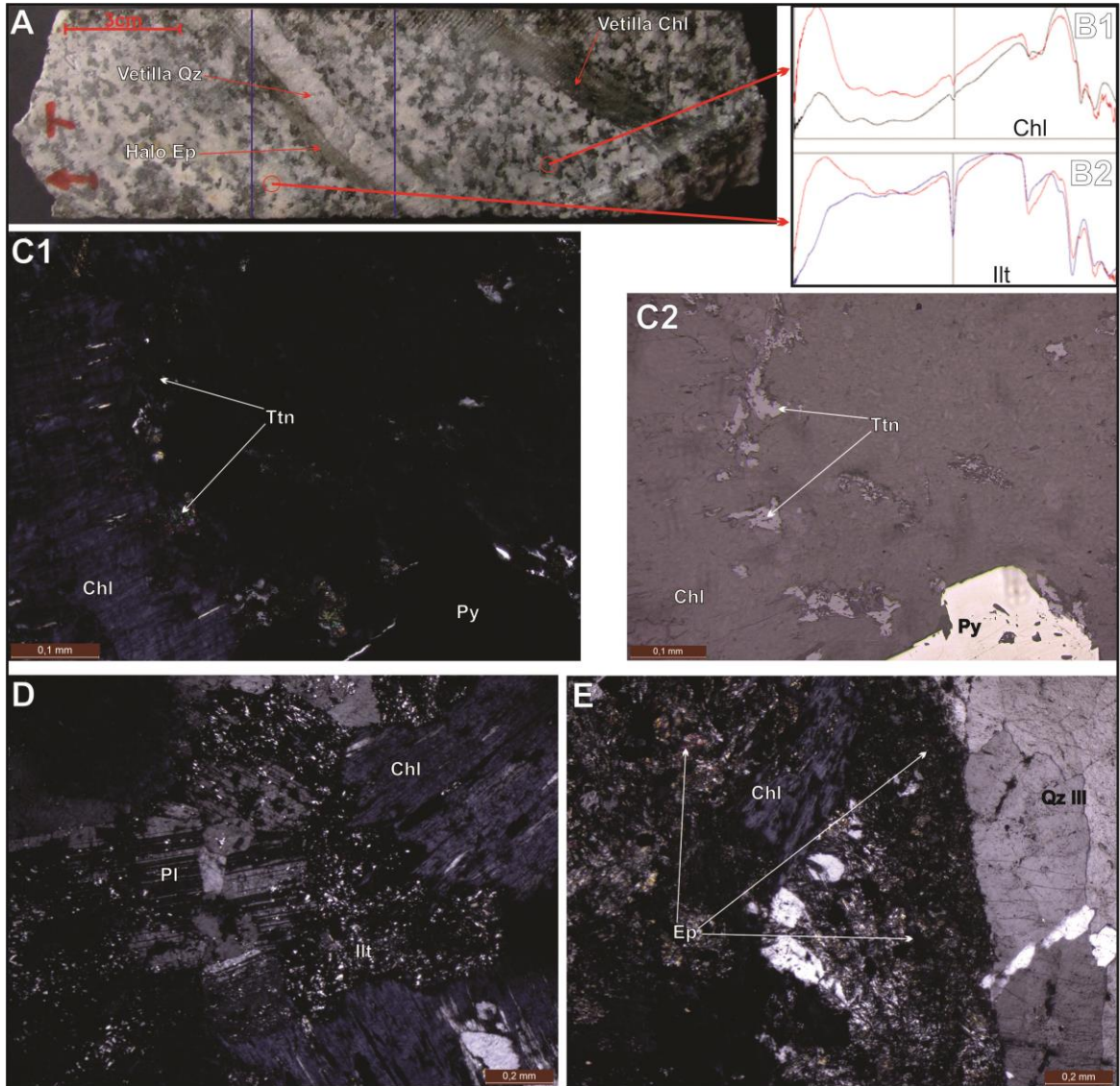
La clorita se reconoce en los núcleos de perforación por el aspecto verdoso que le da a la roca. En sección delgada se presenta como cristales subhedrales de hábito tabular, ocasionalmente laminar, con tamaños que varían entre 0.5mm y 2.1mm, rasgos originales de los minerales de la roca caja que se encuentra reemplazando, posiblemente anfíboles y biotitas. Se presenta también como vetillas, de forma masiva, junto con mineralización de pirita.

La epidota se encuentra como halos de alteración de las vetillas que cortan el granito. Este mineral se presenta como cristales granulares, ocasionalmente rómbicos, anhedrales a subhedrales, con tamaños entre 0,08mm a 0,4mm. Se presenta como producto de la alteración de los minerales máficos adyacentes a las paredes de las vetillas.

La titanita se encuentra principalmente como inclusiones dentro de los cristales de clorita. Se presenta como cristales anhedrales, de alta reflectancia, con tamaños que oscilan entre los 0,04mm y 0,1mm.

Asociadas a esta alteración se presentan mineralización diseminada de pirita, y en menor proporción calcopirita y hematita. También se asocian vetillas de cuarzo, cuarzo+pirita±calcopirita, clorita+pirita, especularita(?), con halo de epidota (estas vetillas se describen con mayor detalle en el capítulo de Mineralogía de Menas). Cortando esta alteración y a las vetillas asociadas se presentan vetillas de carbonato (ankerita).

**Figura 5.** Ensamblaje de alteración clorita-epidota. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6964977 a 117m de profundidad, donde se muestra el aspecto verdoso en las muestras del granito, debido a la formación de clorita producto de la alteración hidrotermal de los minerales máficos (Anfíboles y Biotitas). **B1.** Gráfica del espectro de reflectancia en la zona infrarroja de la clorita medido en la muestra con Terraspec en la muestra. **B2.** Gráfica del espectro de reflectancia en la zona infrarroja de la illita medido en la muestra con Terraspec. **C1 y C2.** Presencia de la clorita (Chl) en sección delgada, con la presencia de titanita (Ttn) como inclusiones y precipitación de pirita (Py). **D.** Presencia de clorita e illita (Illt), producto de la alteración de minerales máficos y feldespatos o plagioclasas, respectivamente. **E.** Presencia de clorita y epidota (Ep) como minerales del halo de alteración de una vetilla de cuarzo (Qz III) que corta la roca caja.



**5.1.2.2. Ensamblaje de Alteración Illita-Sericita.** Los minerales de alteración hidrotermal illita y sericita son los más abundantes en las rocas estudiadas. Dan un aspecto blanquecino a la roca, con algunos parches con tonalidades verdosas pálidas. Se presentan reemplazando en su totalidad fenocristales del pórfido riolítico y alterando su matriz, y en menor medida afectando cristales del granito (Figuras 6 y 7). Asociados a esta alteración se presenta también muscovita secundaria y montmorillonita. La identificación y clasificación de estos minerales se logró con ayuda del Terraspec.

La illita y la sericita se presentan en conjunto en todas las muestras como agregados de cristales anhedrales, fibrosos, muy finos, con tamaños menores a 0,01mm hasta 0,02mm, ocasionalmente con texturas en copos o escamas (*flakes*), producto de la alteración hidrotermal del feldespato potásico presente en las diferentes litologías, y posiblemente de la plagioclasa. También se presenta sericita como halo de alteración de las vetillas asociadas a esta alteración.

Se encuentra también cristales de moscovita secundaria, las cuales se diferencian de la sericita únicamente por el tamaño de los cristales, ya que también se encuentran reemplazando cristales de Feldespato, principalmente en el pórfido riolítico. Se presentan como cristales euhedrales a subhedrales, de hábito laminar, con tamaño de 0,1mm a 1mm.

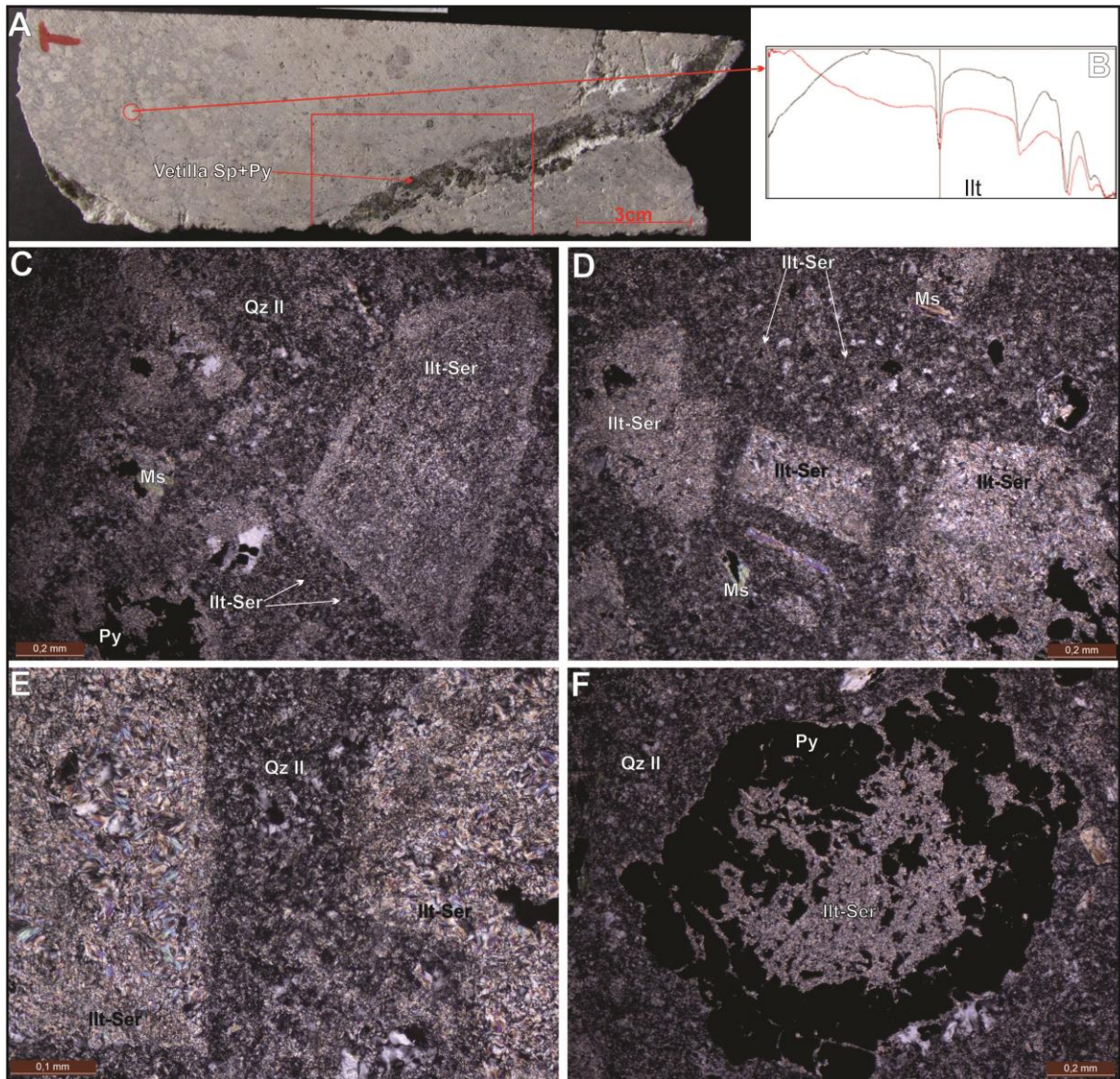
Asociado a esta alteración se encuentra mineralización diseminada de pirita, calcopirita y esfalerita. También se asocian vetillas de cuarzo+molibdenita+pirita±calcopirita±esfalerita, cuarzo+pirita±calcopirita con halo de sericita, cuarzo+esfalerita+pirita, y las venas de reemplazamiento y brechas hidrotermales donde se encuentran la mayor mineralización de sulfuros (estas

vetillas y brechas se describen con mayor detalle en el capítulo de Mineralogía de Menas). Cortando esta alteración y a las vetillas asociadas se presentan vetillas de carbonato (ankerita), al igual que en el ensamblaje de clorita-epidota. Además, se presentan agregados masivos de ankerita-dolomita superponiéndose a la alteración illita-sericita.

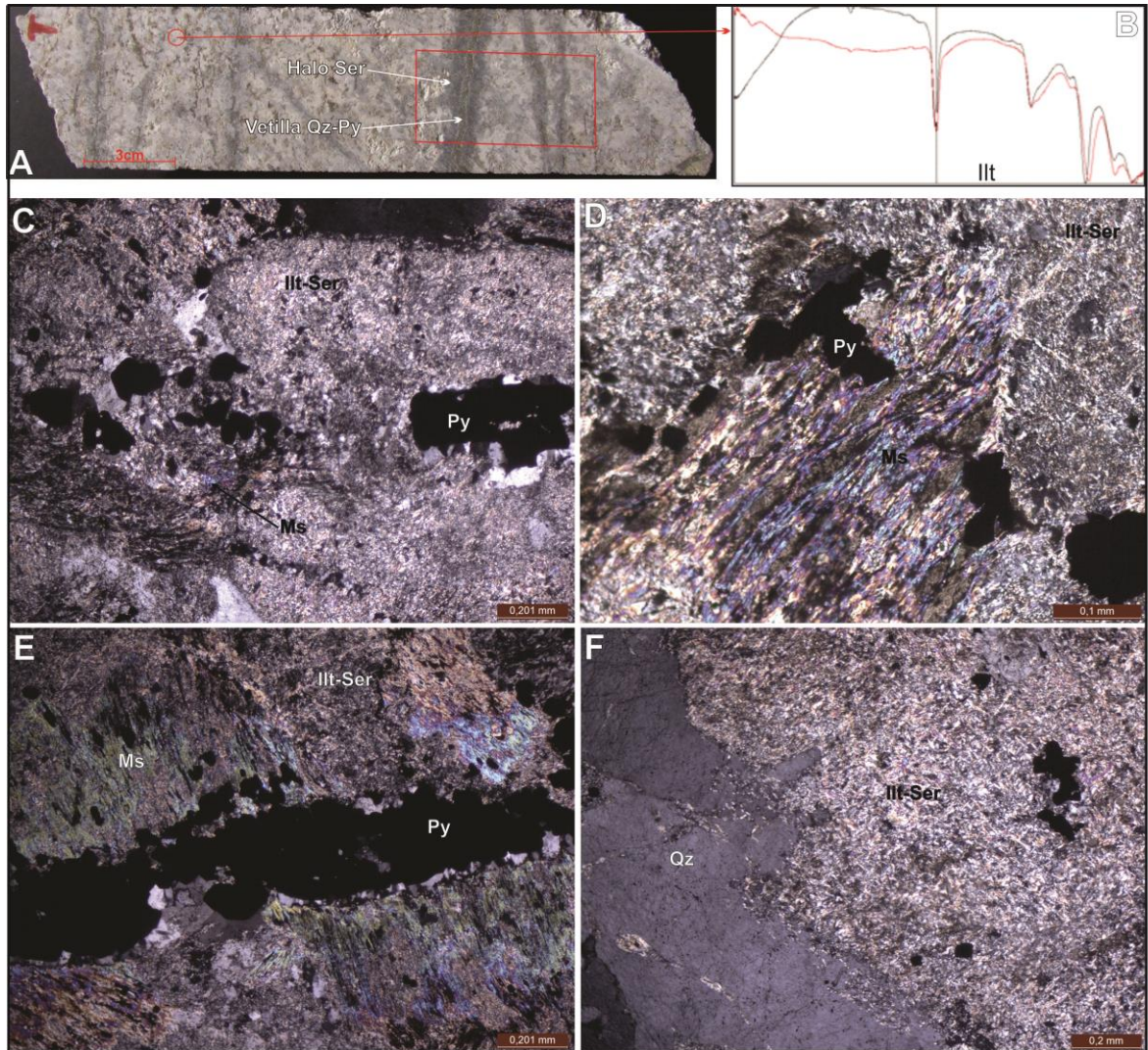
Se presenta ocurrencias en menor proporción de Caolinita, sin embargo, no parece estar asociada genéticamente a esta alteración, debido a que se presenta como parches moteados de color marrón que manchan la roca, y que se superponen a la alteración Illita-Sericita. Posiblemente esta Caolinita se puede asociar a un evento de alteración supérgena.

**5.1.2.3. Alteración de Carbonatos (Ankerita-Dolomita).** En las muestras analizadas se reconoció un evento final de alteración hidrotermal evidenciado por la presencia de carbonatos, principalmente ankerita y ocasionalmente dolomita. Se presentan principalmente como vetillas y como agregados masivos que cortan y se superponen a los ensamblajes de alteración mencionados anteriormente, y como cristales tabulares y agregados cristalinos euhedrales a subhedrales que reemplazan cristales de feldespato potásico que está presente en todas las litologías del área de estudio (Figura 8).

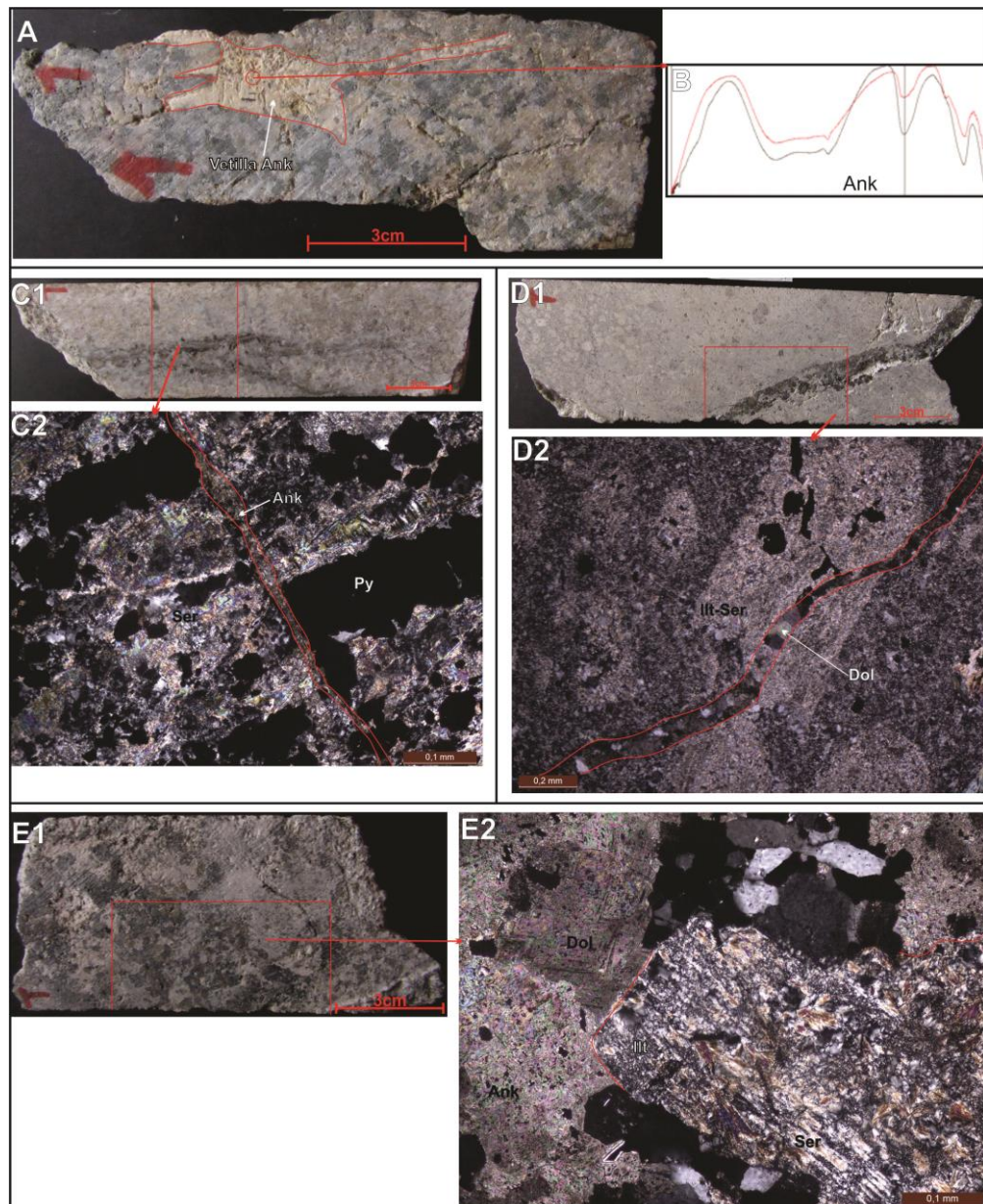
**Figura 6.** Ilustración 1 del ensamblaje de alteración illita-sericita. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-02-6916941 a 387,3m de profundidad, donde se observa el aspecto blanquecino de la roca, producto de la alteración hidrotermal de los feldespatos potásicos como fenocristales y en la matriz del pórfido riolítico, **B.** Gráfica del espectro de reflectancia en la zona infrarroja de la illita medido en la muestra con Terraspec. **C y D.** Presencia en sección delgada de la illita y sericita (Ill-Ser), y moscovita (Ms) como minerales de alteración de los fenocristales, dentro de la matriz microcristalina de cuarzo (Qz II). **E.** Textura en copos o escamas (*flakes*) característica de la illita-sericita. **F.** Precipitación de pirita (Py) como reemplazamiento de un fenocristal de la roca caja, asociada a los minerales de alteración.



**Figura 7.** Ilustración 2 del ensamblaje de alteración illita-sericita. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268154 a 273,8m de profundidad, donde se observa halos de sericita en las Vetillas que cortan la roca caja. **B.** Gráfica del espectro de reflectancia en la zona infrarroja de la illita medido en la muestra con Terraspec. **C y D.** Presencia en sección delgada de la illita y sericita (Illt-Ser), y moscovita (Ms) como minerales de alteración alrededor de vetillas de pirita (Py). **E.** Presencia de illita, sericita y moscovita como halos de alteración de vetillas de pirita **F.** Cristales de feldespato potásico(?) reemplazados por illita-sericita, en contacto con el cuarzo de la roca caja (Qz).



**Figura 8.** Presencia de carbonatos (ankerita y dolomita) como evento final de alteración hidrotermal. **A.** Testigo de núcleo de perforación del fragmento B de la muestra VI-08-01-6964995 a 149,1m de profundidad, donde se muestra la litología del granito con presencia de clorita como mineral de alteración, siendo cortada por vetillas de ankerita (Ank). **B.** Gráfica del espectro de reflectancia en la zona infrarroja de la ankerita medido en la muestra con Terraspec. **C1 y C2.** Testigo de núcleo de perforación y sección delgada, respectivamente, de la muestra VI-08-01-6916578 a 279,2m de profundidad, donde se presentan vetillas de ankerita cortando vetillas de cuarzo-pirita±calcopirita con halo de sericita. **D1 y D2.** Testigo de núcleo de perforación y sección delgada, respectivamente, de la muestra VI-08-02-6916941 a 387,3m de profundidad, donde se observan vetillas de dolomita (dol) cortando la roca caja, y superponiéndose a la alteración de illita-sericita (Illt-Ser) que presenta esta roca. **E1 y E2.** Testigo de núcleo de perforación y sección delgada, respectivamente, de la muestra VI-08-01-6916594 a 307,8m de profundidad, donde se observan agregados masivos de ankerita y dolomita superponiéndose a la alteración de illita-sericita.



## 5.2. MINERALOGÍA DE MENA

Las etapas de mineralización en el prospecto de Violetal fueron definidas por las relaciones de corte entre las venas, brechas y minerales de alteración dependiendo de la composición de la roca caja. Para la determinación de estas etapas mineralizantes se realizó una descripción de las características texturales, relaciones genéticas y distribución de los minerales presentes en las muestras analizadas del prospecto Violetal.

En la etapa de metalografía se logró identificar la mineralización de pirita, calcopirita, molibdenita, especularita, esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, argentotennantita de Te-Bi, oro, calaverita, feibertalita, goldfieldita, freibergita, kupcikita, emplectita, tetradymita de cu, mawsonita, magnetita, ilmenita, hematita, bornita, covelina y malaquita (tabla 3).

**Tabla 3.** Tabla de resumen de los minerales mena encontrados en el prospecto Violetal y modo de ocurrencia en el depósito.

<b>Mineral (Abreviación)</b>	<b>Formula Química</b>	<b>Modo de Ocurrencia</b>
Pirita (Py)	FeS <sub>2</sub>	Cristales cúbicos finos, habito dodecaédrico, vetillas y brechas
Calcopirita (Ccp)	CuFeS <sub>2</sub>	Anhedral diseminado, agregado masivo, brecha como cemento
Molibdenita (Mo)	MoS <sub>2</sub>	Cristales finos laminares euhedrales dentro de las vetillas
Especularita (Spc)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cristales tabulares, como sobrecrecimiento de Py
Esfalerita (Sp)	(Zn.Fe)S	Anhedral diseminado (Textura <i>disease</i> ), agregado cristalino masivo, vetilla
Galena (Gn)	PbS	Inclusiones dentro de Py, formando cemento de brechas con Ccp

Tetraedrita-Tennantita (Ttr-Tnt)	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ - $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	Agregados masivo y cristalinos anhedrales como cemento de brecha asociada con la Ccp. Como relleno de fracturas de la Sp.
Argentotennantita de Te-Bi (Atn)	(Te,Bi) - $(\text{Ag,Cu})_{10}(\text{Zn,Fe})_2(\text{As,Sb})_4\text{S}_{13}$	Sulfosal de Ag con presencia de Te y Bi. Agregados cristalinos anhedrales como asociada con la Ccp.
Freibergita (Fbg)	$(\text{Ag,Cu,Fe})_{12}(\text{As,Sb})_4\text{S}_{13}$	Sulfosal de Ag como agregados cristalinos subhedrales asociada con la Ccp.
Oro (Au)	Au	Como inclusión dentro de Py, rellenando espacios en las brechas
Calaverita (Clv)	$\text{AuTe}_2$	Como inclusiones dentro de Py, anhedrales
Goldfieldita (Gdf)	$\text{Cu}_{12}(\text{Te,Sb,As})_4\text{S}_{13}$	Cristales anhedrales a subhedrales asociados con la Ccp de la brecha hidrotermal.
Felbertalia (Fib)	$\text{Cu}_2\text{Pb}_6\text{Bi}_8\text{S}_9$	Cristales anhedrales a subhedrales asociada con la Ccp.
Kupcikita (Kpc)	$\text{Cu}_{3.4}\text{Fe}_{0.6}\text{Bi}_5\text{S}_{10}$	Cristales anhedrales a subhedrales asociada con la Ccp.
Emplectita (Epl)	$\text{CuBiS}_2$	Cristales anhedrales a subhedrales asociada con la Ccp.
Tetradymita de Cu (Ttd)	(Cu) - $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	Cristales anhedrales a subhedrales asociada con la Ccp.
Mawsonita (Mws)	$\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$	Como inclusión dentro de pirita, rellenando espacios en las brechas
Magnetita (Mag)	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Cristales subhedrales diseminados, fragmentos en brechas
Ilmenita (Ilm)	$\text{FeTiO}_3$	Cristales subhedrales diseminados, fragmentos en brechas.
Hematita (Hem)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Subhedral, reemplazamiento y alteración
Bornita (Bn)	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	Como alteración supérgena de sulfuros
Covelina (Cv)	$\text{CuS}$	Como alteración supérgena de sulfuros
Malaquita (Mlc)	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	Como alteración supérgena de sulfuros

La pirita presenta varios tipos de ocurrencia. La primera corresponde a una pirita fina (Py 1) subhedral a euhedral con tamaños inferiores a 0.8 mm, se encuentra de manera diseminada y como remplazamiento de minerales en la roca caja, junto con calcopirita anhedral (Ccp 1) con textura xenomórfica (0.01 mm – 0.1 mm) y esfalerita anhedral (Sp 1) con textura *disease* (0.03 mm – 0.11 mm) (Figura 10). La segunda pirita (Py 2) se encuentra dentro de vetillas de cuarzo con molibdenita (Mo), presentando formas anhedral con tamaños que varían entre 0.04 mm a 1.1 mm. La molibdenita se presenta como cristales alargados euhedrales a subhedrales con textura idiomórfica y lamelar (0.025mm - 0.5 mm) (Figura 11). La tercer ocurrencia corresponde a vetillas y venas de pirita (Py 3) como agregado masivo y en algunos sectores hábito dodecaédrico (0.2 mm – 1 mm). Se encuentra especularita (Spc) como cristales euhedrales con hábito tabular/acicular subparalelo (<0,01mm – 0,02mm) como inclusiones dentro de esta pirita masiva mostrando antiguos bordes de los cristales, y evidenciando por lo menos do etapas de crecimiento (Figura 12.B1.). Estas piritas se encuentran fuertemente brechadas por un evento de mineralización compuesto principalmente por calcopirita (Ccp 5). La Py3 presenta también oro (Au) como relleno de espacios vacíos con calaverita (Clv) como cristales redondeados a subredondeados (0.03 mm – 0.1 mm). Este oro puede estar relacionado a un evento posterior, como relleno de espacios vacíos dentro de la pirita (Figura 12.B2.). Un cuarto tipo de pirita (Py 4; Figura 13.B.) se presenta de forma anhedral a subhedral (0.01 mm – 0.1 mm), con textura xenomórfica, y como nucleación o sobrecrecimiento en los bordes de las esfaleritas (Sp3).

La calcopirita (Ccp 2; Figura 11) se presenta tanto en vetillas de cuarzo con molibdenita en forma de cristales aislados anhedral con textura xenomórfica (0.05mm – 0.15 mm), como inclusiones dentro de piritas de vetillas (Ccp 3; Figura 12) (<0,01mm – 0,1mm), y como exclusiones dentro de la esfalerita evidenciando una textura *disease* (Ccp 4; Figura 13.C.) (< 0.01mm). Se observa un evento

mineralizantes de calcopirita (Ccp 5; Figuras 14 y 15) (0.0352 mm – 0.140 mm) que genera un brechamiento sobre las venas de pirita, presentando un agregado masivo.

Asociados con la calcopirita de la brecha hidrotermal, se presentan una serie de minerales de sulfosales. La más abundante de las sulfosales es la tetraedrita-tennantita (Tnt-Ttr) (0,03mm – 0,1mm), que junto con la calcopirita sirven como cemento de las brechas, y en algunos sectores se encuentra cortando y arrastrando fragmentos de esfalerita (Sp 3) y pirita (Py 3). Incluidos en la calcopirita se presentan sulfosales con contenidos de Ag como la freibergita (Fbg) (con exclusiones de calaverita) y la argentotennantita (Atn) (con contenidos de Te y Bi), como cristales anhedrales con tamaños que varían entre 0,01mm y 0,03mm. También se presentan asociados a la calcopirita una serie de sulfuros de telurio y bismuto como la felbertalita (Fib), goldfieldita (Gdf), kupcikita (Kpc), emplectita (Epl) y tetradymita (Ttd), los cuales se encuentran principalmente incluidos como cristales anhedrales a subhedrales con tamaños de 0,01mm a 0,2mm. Con la mineralización de la calcopirita se encuentra oro (0.0025 mm - 0,275 mm) y calaverita (Clv) (0,01mm – 0,05mm) relleno de espacios vacíos junto con mawsonita (Mws; sulfuro de Cu y Sn) (0.005 mm – 0.15 mm). La calcopirita se encuentra también siendo alterada de forma supérgena a covelina (Cv), bornita (Bn) (0.00736 mm – 0.0331 mm-) y malaquita (Mlc).

La esfalerita se presenta de diferentes formas. Como cristales anhedrales (Sp 2; Figura 11) (0.02 mm - 0.35 mm) aislados asociada a molibdenita (Mo) dentro de vetillas de cuarzo, donde algunos de los cristales presentan textura *disease*. La segunda forma es como principal mineral formador de vetillas (Sp 3; Figura 13) (0,4mm – 1,6mm). Estos cristales son anhedrales con textura xenomórfica, son traslucidos y exhiben una gran cantidad de inclusiones fluidas primarias que

permiten observar los antiguos bordes de crecimiento. Como tercera forma de ocurrencia de esfalerita se observan venas de remplazamiento entreverado (fragmentos de la roca caja intercalados entre las venas; Hodgson, 1987), se presenta como agregados masivos y cristalinos, de formas subhedrales a euhedrales con textura hipidiomórfica (0.2 mm – 0.8 mm). Esta esfalerita es correlacionable paragenéticamente a la esfalerita 3 (Sp 3).

La galena (Gn) (0,01mm - 0,18mm) se presenta como cristales subhedrales, con textura hipidiomórfica asociados a esfalerita como relleno de espacios y fracturas (Figura 13.E.). Esta galena se encuentra asociada con calcopirita y tetraedrita-tennantita como cemento de las brechas, y corresponde a este evento mineralizante.

La magnetita (Mag) (3.97 mm - 0.04 mm) e ilmenita (Ilm) (0.01 mm - 0.45 mm) se encuentran cristalizando dentro del pórfido, y se encuentra dentro de las brechas freáticas como fragmentos anhedrales asociados a fragmentos de pirita (Py 1), calcopirita (Ccp 1) y fragmentos líticos posiblemente del pórfido (Figura 10.B1.).

**5.2.1. Texturas de los Minerales de Mena.** Las texturas sirven como medio para identificar la temporalidad y condiciones bajo las cuales cristalizaron los minerales de un sistema. En el prospecto Violetal se identificaron los siguientes tipos de texturas:

Las texturas relacionadas con la forma de los cristales debido a la tasa de cristalización corresponden a xenomórfica (cristales anhedrales), subidiomórfica (cristales subhedrales) e idiomórfica (cristales euhedrales) (Ineson, 1989). Estas

tres texturas se presentan en el depósito con mayor frecuencia en pirita, calcopirita y esfalerita dependiendo del espacio que tuvieron para cristalizar.

La textura *disease* se presenta únicamente en las esfaleritas, las cuales presentan pequeñas exsoluciones ovaladas de calcopirita. Esta textura indica caídas de temperatura en el sistema (Figuras 11.E. y 13.C.) (Ramdohr, 1969).

La textura de nucleación irregular o sobrecrecimiento (Schawartz, 1951) se presenta en esfaleritas que se encuentran rodeadas por cristales de pirita en sus bordes (Figura 13.B.). También se encuentran con calcopirita, tetraedrita-tennantita y galena, aunque estos últimos corresponden a un evento diferente, pues no solo se encuentran rodeando los bordes de la esfalerita, sino también rellenando fracturas. Una variedad de esta textura corresponde a la textura en atolón (*Core* o *Atoll*) (Schawartz, 1951), que ocurre en cristales de pirita que presentan anillos de especularita en antiguos bordes de crecimiento de la pirita (Figura 12.B1.). En este caso la cristalización de la especularita puede ser considerada un evento casi coetáneo a la pirita.

La textura poikilitica (inclusiones solidas) (Schawartz, 1951) se presenta principalmente en las piritas y calcopiritas. Las piritas se encuentran encerrando cristales de especularita, galena, calaverita y oro. La calcopirita se encuentra encerrando galena, pirita, y tetraedrita-tennantita.

La textura cristalográfica (Schawartz, 1951) se presenta entre esfalerita y cuarzo en peine (Textura *comb*) controlando la distribución y forma de cristalizar de la calcopirita y tetraedrita-tennantita.

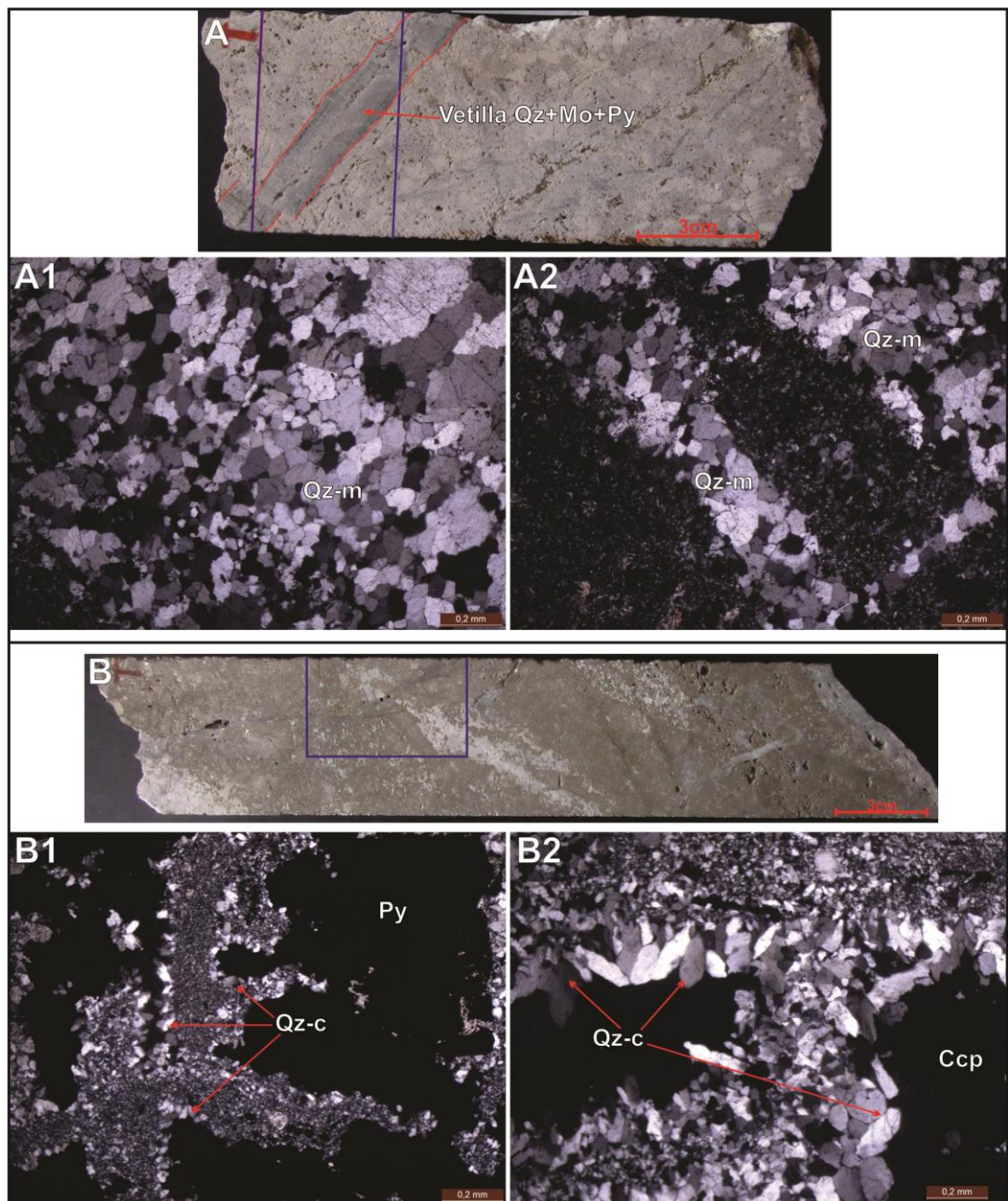
La textura de fronteras mutuas (Schawartz, 1951) se presenta entre pirita, calcopirita, esfalerita y tetraedrita-tennantita. En esta textura se observa que la pirita pertenece a un evento anterior a la esfalerita, calcopirita y tetraedrita-tennantita, y a su vez la esfalerita pertenece a un evento anterior al de la calcopirita y tetraedrita-tennantita.

La textura *jigsaw* o brecha en rompecabezas (Hodgson, 1989) se caracteriza porque los fragmentos presentan una separación inferior al 5%. En el caso del prospecto Violetal esta textura está relacionada a la etapa de mineralización de calcopirita, tetraedrita-tennantita, galena, los minerales de telurio y bismuto, y oro, la cual se encuentra fracturando la roca caja y antiguas etapas de mineralización (Figura 15.B.).

**5.2.2. Texturas del Cuarzo Hidrotermal.** El cuarzo hidrotermal observado en las muestras estudiadas se presenta tanto en vetillas con diferentes asociaciones de sulfuros, evidenciando varias etapas de mineralización, como en brechas hidrotermales, las cuales cortan etapas mineralizantes anteriores. Se logró identificar dos tipos de texturas diferentes en las cuales se presenta el cuarzo de origen hidrotermal, asociado a las principales etapas de mineralización en la zona del prospecto Violetal.

El cuarzo con textura en peine o *comb* (Schawartz, 1951) se forma como cristales paralelos a subparalelos, euhedrales con tamaños de 0.075mm a 1.75mm, presentando formas hexagonales, orientados perpendicularmente a las paredes de los sulfuros masivos de las venas y brechas hidrotermales (Figura 9.B.).

**Figura 9.** Texturas del cuarzo hidrotermal asociadas a la mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6916676 a 443,9m de profundidad, donde se presentan vetillas de cuarzo hidrotermal. **A1** y **A2.** Vista en sección delgada de la textura en mosaico del cuarzo (Qz-m) asociado a vetillas antitaxiales, de extensión, donde se observa un crecimiento gradual en los tamaños de grano de los Cuarzos hacia el centro de la vetilla, evidenciando por lo menos dos etapas de apertura de esta. **B.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268151 a 268,2m de profundidad, donde se observa una brecha hidrotermal. **B1** y **B2.** Vista en sección delgada del cuarzo hidrotermal asociado a la brecha mineralizante (Qz-c), el cual presenta una textura en peine (*comb*), donde los cristales crecen de forma hexagonal, perpendiculares a las paredes de los minerales de mena, principalmente de evento mineralizante de pirita y calcopirita.



El cuarzo en mosaico (Schawartz, 1951) se presenta en las vetillas asociado principalmente con la mineralización de molibdenita y de pirita. Los cristales son equigranulares y presentan bordes irregulares interpenetrativos. En algunas vetillas se observan dos tamaños diferentes de cuarzo, al borde tamaños más finos (0.05 mm – 0.375 mm) y creciendo gradualmente hacia el centro, con tamaños mucho más gruesos (0.3 mm - 0.72 mm), evidenciando por lo menos dos etapas de crecimiento de la vetilla (Figura 9.A.).

**5.2.3. Eventos de Mineralización: Secuencia Paragenética.** En el prospecto de Violetal se clasificó el tipo de vetilleo según su textura (sintaxial o antitaxial), su forma (tensión, extensión o cizalla) y según su composición. Basados en la relación textural y de corte entre las vetillas se determinaron los eventos relacionados al hidrotermalismo. En la tabla 4 se presenta un resumen de las principales características de las vetillas, venas y brechas hidrotermales que se identificaron en las muestras estudiadas.

**Tabla 4.** Resumen de las características y composición de las vetillas presentes en el prospecto Violetal, para las muestras con sección delgada pulida. Para el resumen de todas las muestras analizadas ver anexo A-32. La composición de las vetillas presentadas en este cuadro corresponde a la composición actual, aunque en algunos casos esta composición no es paragenética. La relación de corte presentada comienza enumerando el evento más antiguo (comienza con el 1), hasta el evento más joven (termina con el número mayor).

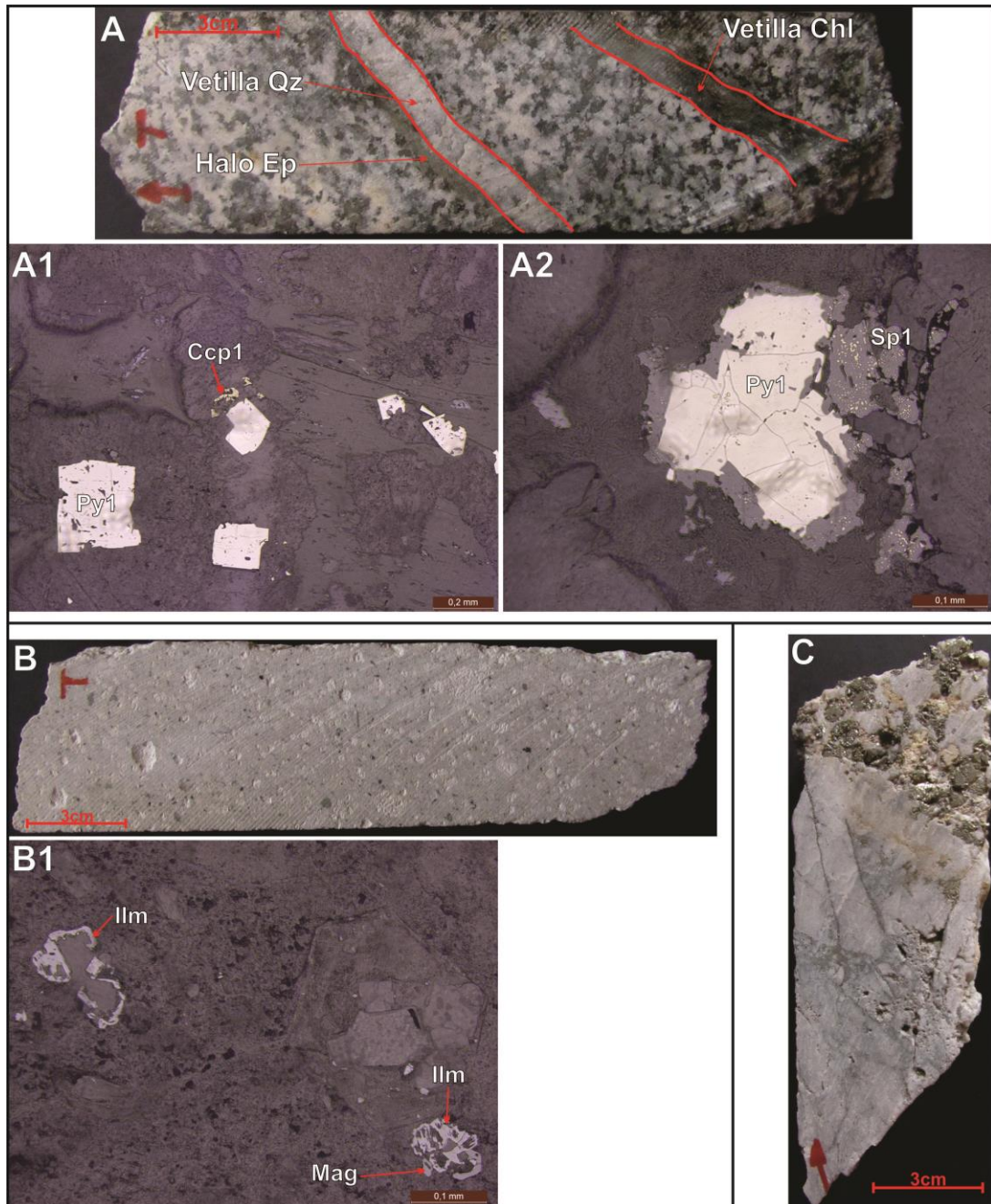
Muestra	Relación de Corte	Forma	Textura	Asociación Mineral	Espesor
VI-08-01-6964977	1	Extensión	Sintaxial	Qz	8 mm
	2	Cizalla	Antitaxial	Chl+Py	9 mm
VI-08-01-6916578	1	Cizalla	Antitaxial	Py+Qz±Ccp	3 mm – 5 mm
	2	Cizalla	Sintaxial	Py+Qz±Ccp	<1mm
	3	Tensión	Antitaxial	Ank	<1mm

VI-08-01-6916594	1	Diseminada	Diseminada Entreverada	Qz+Sp+Py+Ccp+Tnt/Ttr	10 cm
VI-08-01-6916676-A	1	Cizalla	Antitaxial	Qz+Mo	1 mm
	2	Extensión	Antitaxial	Qz+Mo+Py± Ccp	11 mm
	3	Tensión	Antitaxial	Py+Qz±Ccp	2 mm
IV-08-01-6916724	1	Tensión	Antitaxial	Py±Ccp, Silicificacion	<1mm
VI-08-02-6916920-A	1	Vena de replazamiento	Antitaxial	Py	10 cm
	2	Brecha Hidrotermal	Disgregación (Jigsaw)	Ccp+Qz+Tnt/Ttr± Au±Clv±Sp±Gn±Flb± Gdf±AtnFbg+Mws	
VI-08-02-6916920-B	1	Vena de replazamiento entreverada	Antitaxial	Ccp+Qz+Tnt/Ttr± Au±Sp±Gn±Flb± Gdf±AtnFbg+Mws	< 3 cm
VI-08-02-6916941	1	Tensión	Antitaxial	Py+Qz±Ccp	< 1 mm
	2	Tensión	Antitaxial	Sp+Ccp+Py±Tnt/Ttr± Gn	1 cm
	3	Tensión	Antitaxial	Qz	< 1 mm
VI-08-03-6268151	1	Brecha Hidrotermal	Disgregación (Jigsaw)	Py+Ccp+Tnt-Ttr +Qz±Sp± ±Gn±Flb ±Kpc±Epl±Ttd	
VI-08-03-6268154	1	Tensión	Antitaxial	Py+Ccp+Qz	0.5 cm
	2	Cizalla	Antitaxial	Py+Qz±Ccp	< 1 mm
	3	Tensión	Antitaxial	Py+Qz±Ccp	1 mm
	4	Tensión	Antitaxial	Qz	< 0,1 mm
VI-08-03-6268251	1	Tensión	Antitaxial	Py+Spc±Au±Clv	21 cm
	2	Cizalla	Antitaxial	Ccp+Qz+Tnt/Ttr ±Sp±Gn	5 mm
VI-08-04-6268456	1	Extensión	Sintaxial	Qz+Mo+Py±Ccp± Sp	8 mm
	2	Cizalla/ Tensión	Antitaxial	Qz±Mo+Py±Ccp	3 mm
	3	Tensión/ Cizalla	Antitaxial	Py+Qz	< 1 mm
	4	Tensión	Antitaxial	Ank	< 1 mm

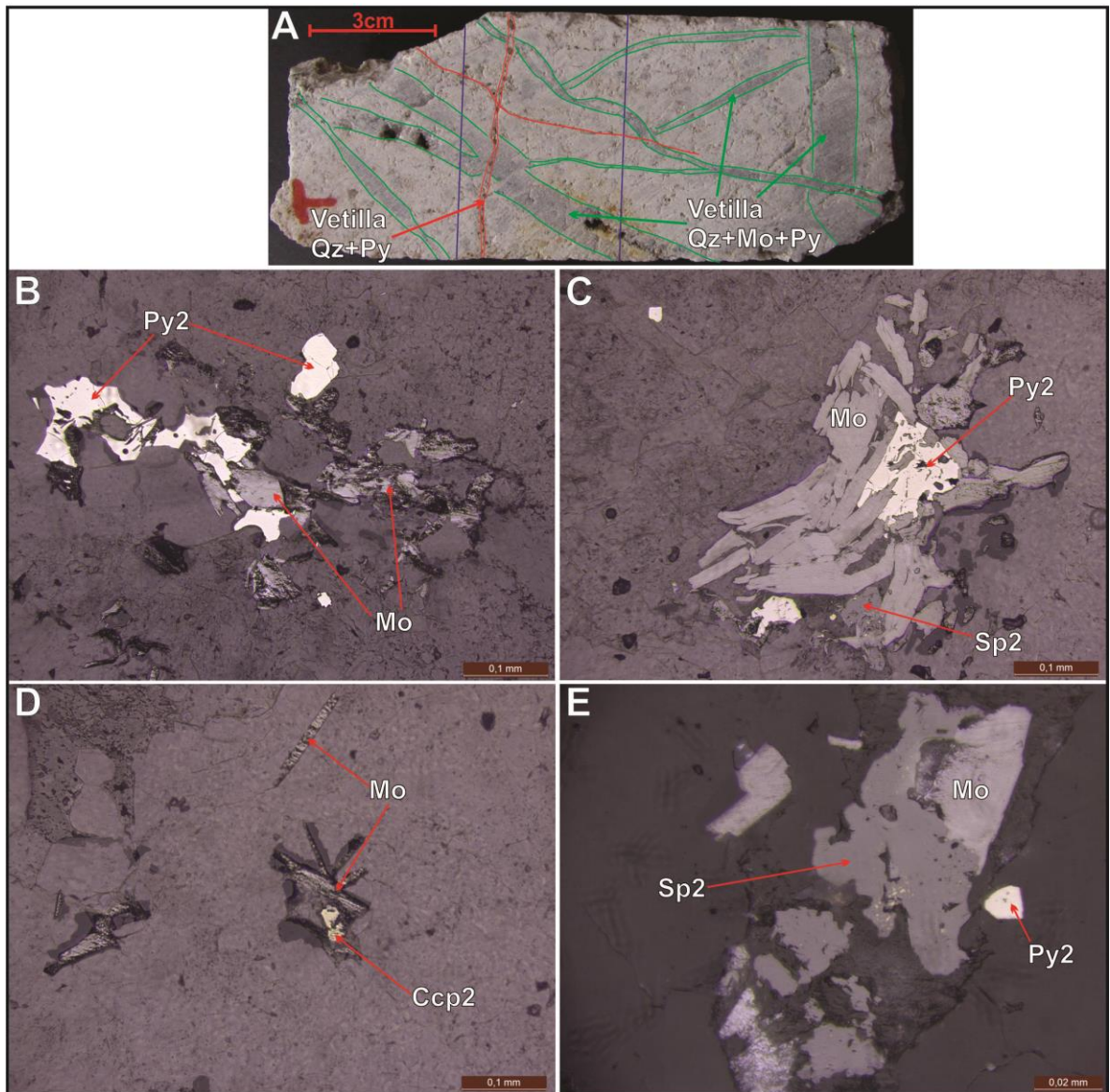
Se reconoció una **etapa de pre-mineralización** y es considerado el evento hidrotermal más antiguo registrado en este estudio (Figura 10). Esta etapa está representada por la Py1, Ccp1, Sp1, los cuales se encuentran de forma diseminada asociadas a la mineralogía de alteración hidrotermal. A este evento pre-mineralización se le asocia un grupo de vetillas antitaxiales de tensión sinuosas de clorita y se encuentra cortando las rocas graníticas. También se encuentran cristales de magnetita e ilmenita dentro de la roca porfirítica. Estos dos minerales también se asocian a la etapa pre-mineralización, además de que se encuentran como fragmentos dentro de las brechas freáticas. Otro evento de pre-mineralización está relacionado al proceso de silicificación de la roca caja, seguido por precipitación diseminada de pirita, asociada también a la alteración hidrotermal. La silicificación se encuentra en el testigo más profundo del pozo VI-08-01, a 527,1m de profundidad.

Se observa un grupo de vetillas sinuosas sintaxiales, de extensión, y que en algunos lugares presentan comportamiento de cizalla, con presencia de cuarzos con textura en mosaico, cuya composición es  $Qz+Mo+Py2\pm Ccp2\pm Sp2$ . Esta es considerada la **primera etapa mineralizante** (Figura 11), y presenta dos pulsos los cuales pueden ser diferenciados por la relación de corte que existe entre vetillas de igual composición y que se encuentran desplazando entre sí, además de que se observan dentro de algunas vetillas dos tamaños diferentes de Qz en mosaico, uno más pequeño hacia las paredes (0.05 mm – 0.375 mm) y uno de mayor tamaño (0.3 mm - 0.72 mm) hacia el centro. Este cambio está delimitado por la alineación de algunos cristales de Mo, que se encuentran exclusivamente hacia las paredes de las vetillas.

**Figura 10.** Etapa de pre-mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6964977 a 117m de profundidad, donde se observa vetillas de clorita y de cuarzo, con halos de epidota. **A1** y **A2.** Vista en sección delgada donde se muestra la precipitación diseminada de pirita (Py1), calcopirita (Ccp1) y esfalerita (Sp1) (con presencia de textura *disease*) asociada a la alteración hidrotermal de la roca caja. **B.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6916575 a 273m de profundidad, donde se presenta precipitación diseminada de minerales de óxidos asociados a la alteración hidrotermal. **B1.** Vista en sección delgada de la magnetita (Mag) y la ilmenita (Ilm) diseminadas en la roca caja. **C.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6916724 a 527,1m de profundidad (muestra más profunda del Pozo VI-08-01), donde se observa la silicificación de la roca caja, con precipitación de pirita granular dodecaédrica.



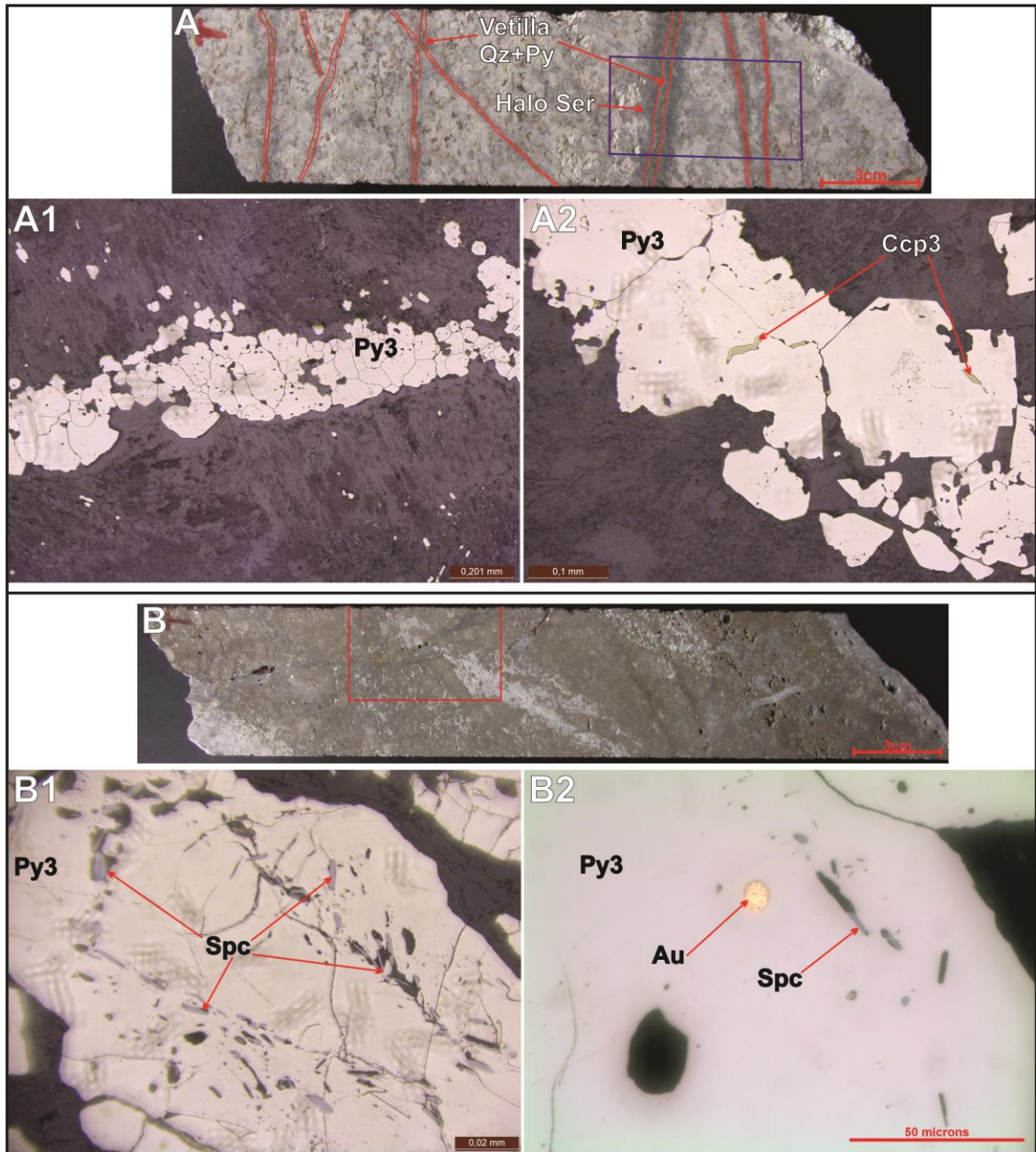
**Figura 11.** Primera etapa de mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-04-6268456 a 259,7m de profundidad, donde se observa las vetillas del primer evento de mineralización, el cual está compuesto de cuarzo, molibdenita, pirita, y en menor proporción, ocurrencias de calcopirita y esfalerita. **B.** Vista en sección delgada de la molibdenita (Mo) y la pirita (Py2), asociada a las paredes de las vetillas. **C.** Vista en sección delgada de la molibdenita y la pirita con presencia de esfalerita (Sp2). **D.** Vista en sección delgada de la molibdenita con su textura característica tabular, junto con calcopirita (Ccp2). **E.** Vista en sección delgada de la molibdenita y la pirita, junto con esfalerita que presenta exclusiones de calcopirita (textura *disease*).



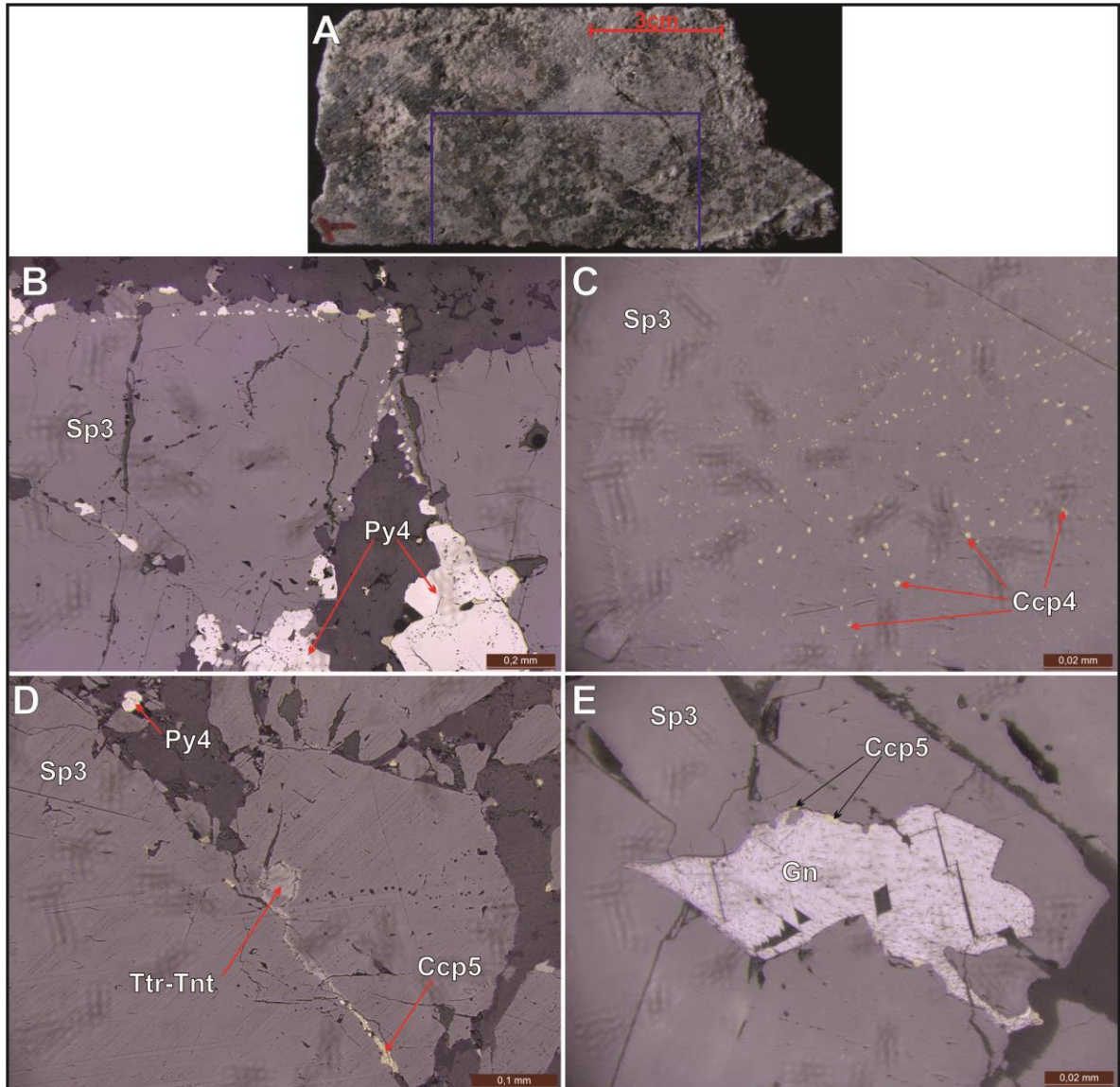
Se identificó otro grupo de vetillas de tensión con composición  $Py_3+Qz\pm Ccp_3\pm Spc$ , el cual se presenta también como venas antitaxiales de remplazamiento mineralizado, o venas entreveradas, de igual composición, las cuales exhiben ocasionalmente halos de alteración. Algunas de estas vetillas se encuentran rodeadas por halos de epidota y sericita, relacionadas principalmente a las vetillas que cortan el granito y que se asocian a la clorita, producto de la alteración hidrotermal de minerales máficos. Por el contrario, la mayoría de vetillas que cortan el pórfido riolítico presentan halos de alteración de solo sericita. Durante una etapa intermedia de formación de la  $Py_3$ , inició la cristalización de especularita ( $Spc$ ), siguiendo los bordes de las piritas, y posteriormente continuó la cristalización de pirita hasta el final de la etapa dando así una textura en atolón. Este tipo de vetillas se encuentra cortando a las vetillas del primer evento mineralizante, por lo tanto esta es considerada la **segunda etapa mineralizante** (Figura 12). Además se pudo determinar la presencia de oro nativo como inclusión en pirita de un posible evento anterior asociado a las vetillas de molibdenita.

Se observa también un grupo de vetillas, las cuales son antitaxiales, de tensión y que en algunos lugares se presenta como venas con mineralización diseminada, cuya composición es de  $Sp_3+Py_4+Qz$ , y es considerada la **tercera etapa mineralizante** (Figura 13). Este evento presenta galena relleno de espacios vacíos dentro de la esfalerita. Las venas de  $Py_3+Qz\pm Ccp_3$  y de  $Sp_3+Py_4+Qz$  se encuentran siendo brechadas y rellenas por un evento posterior compuesto de  $Ccp_5+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Clv\pm Au$ , el cual es clasificado como una brecha *Jigsaw*, y es considerada la **cuarta etapa de mineralización** (Figuras 14 y 15).

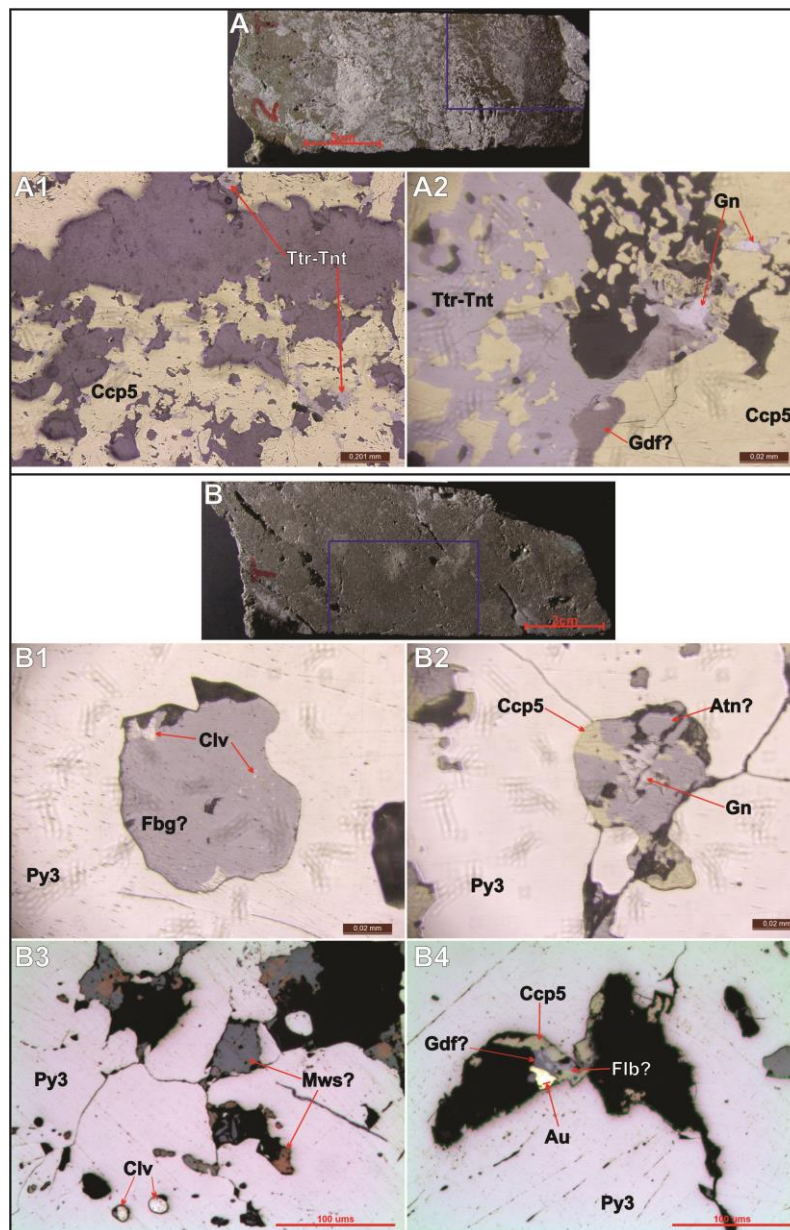
**Figura 12.** Segunda etapa de mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268154 a 273,8m de profundidad, donde se observa vetillas compuestas de cuarzo y pirita, con halos de sericita. **A1 y A2.** Vista en sección delgada donde se muestra las vetillas de pirita (Py3) y cuarzo, con ocurrencias de calcopirita (Ccp3) como inclusiones dentro de la pirita. **B.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268251 a 434,1m de profundidad, donde se presenta una vena de reemplazamiento de pirita, con una textura entreverada. **B1.** Vista en sección delgada de la pirita con presencia de sobrecrecimiento o nucleación de especularita (Spc) (textura en atolón), evidenciando dos etapas de crecimiento de los cristales de pirita, divididas por la precipitación de especularita en sus bordes. **B2.** Inclusiones de oro (Au) en la pirita, posiblemente asociadas a un evento mineralizante posterior como relleno de espacios vacíos.



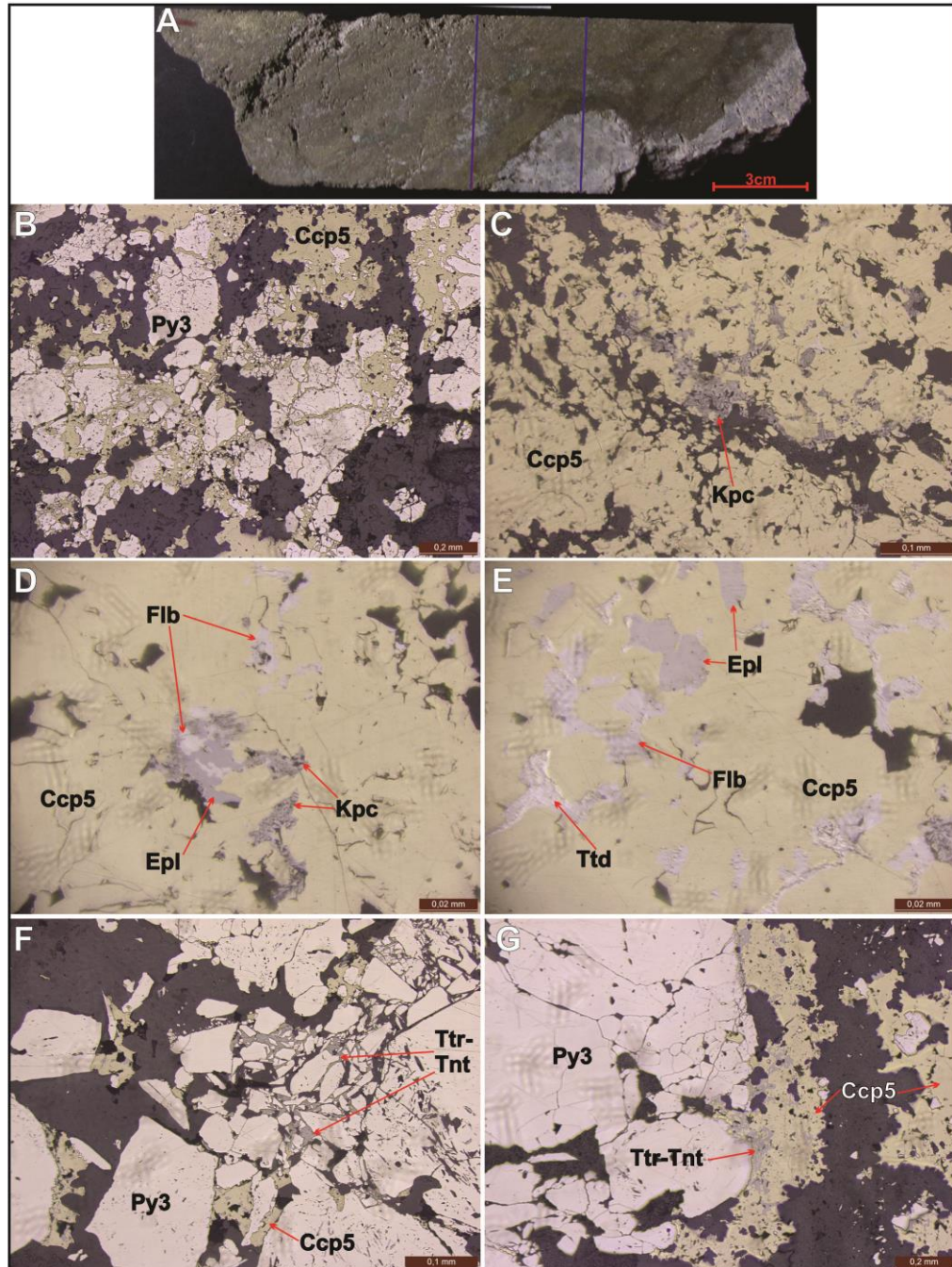
**Figura 13.** Tercera etapa de mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-01-6916594 a 307,8m de profundidad, donde se observa el tercer evento de mineralización, el cual está compuesto de esfalerita, junto con pirita y cuarzo, y que está siendo cortado por un evento posterior de calcopirita, tetraedrita-tennantita y galena. **B.** Vista en sección delgada de la esfalerita (Sp3) y la pirita (Py4), asociada a los borde de la esfalerita, representando una textura de nucleación o sobrecrecimiento. **C.** Textura *disease*, representada por la presencia de exclusiones de calcopirita (Ccp4) dentro de la esfalerita. **D.** Vista en sección delgada de la esfalerita con presencia de fracturas siendo rellenadas por un evento posterior de calcopirita (ccp5) y tetraedrita-tennantita (Ttr-Tnt). **E.** Vista en sección delgada de la esfalerita con rellenos de espacios vacíos en zonas de fractura, por un evento posterior de galena (Gn) y calcopirita.



**Figura 14.** Ilustración 1 de la cuarta etapa de mineralización del prospecto Violetal. **A.** Fragmento A del testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-02-6916920 a 351,6m de profundidad, donde se observa el cuarto evento de mineralización, el cual está compuesto por una brecha hidrotermal principalmente de calcopirita (Ccp5) y tetraedrita-tennantita (Ttr-Tnt). **A1** y **A2.** Vista en sección delgada de la calcopirita y tetraedrita-tennantita, con ocurrencias de galena (Gn) y goldfieldita? (Gdf) asociadas a la brecha hidrotermal. **B.** Fragmento B del testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-02-6916920, donde se presentan los minerales que componen la brecha hidrotermal fracturando y rellenando el evento de mineralización de pirita. **B1.** Vista en sección delgada de la freibergita? (Fbg) con exclusiones de calaverita (Clv), rellenando espacios vacíos dentro de la pirita (Py3). **B2.** Vista en sección delgada de la Calcopirita junto con argentotennantita (Atn) y galena rellenando espacios vacíos dentro de la pirita. **B3.** Vista en sección delgada de la mawsonita? (Mws) y de la calaverita rellenando espacios vacíos dentro de la pirita. **B4.** Vista en sección delgada de la calcopirita junto con goldfieldita?, feibertalita? (Flb) y oro (Au).



**Figura 15.** Ilustración 2 de la cuarta etapa de mineralización del prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268151 a 268,2m de profundidad, donde se observa el cuarto evento de mineralización, el cual está compuesto por una brecha hidrotermal principalmente de calcopirita y tetraedrita-tennantita. **B.** Vista en sección delgada de la brecha hidrotermal de calcopirita (Ccp5) cortando el evento anterior de mineralización de pirita, generando brechamiento y textura en rompecabezas (textura *Jigsaw*). **C, D y E.** Vistas en sección delgada de la brecha hidrotermal de calcopirita con presencia de kupcikita (Kpc), emplectita (Epl) y felbertalita (Flb). **F y G.** Vistas en sección delgada de la calcopirita y la tetraedrita-tennantita (Ttr-Tnt) fracturando y rellenando los espacios del evento anterior de mineralización de pirita (Py3).

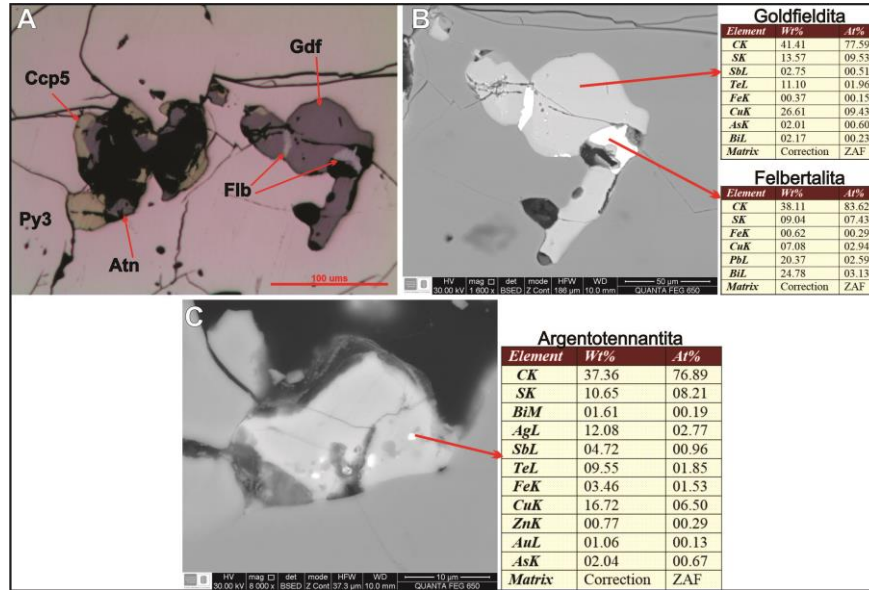


Asociados a la Ccp de este último evento, se presenta una serie de sulfosales de Ag y sulfuros de Te y Bi, los cuales pudieron ser caracterizados mediante el microscopio electrónico de barrido SEM. Acompañando a la Ccp5 que fractura y rellena los espacios vacíos de las venas de Py4, aparte de la tetraedrita-tennantita se identificaron sulfosales de Ag como la freibergita (Figura 18.B1.; con algunas exclusiones de calaverita) y argentotennantita (Figura 16.C.; con contenido de Bi y Te), así como goldfieldita (Figura 16.B.; Sulfosal de Bi y Te), felbertalita (Figuras 16.B. y 19. B1.; contenido de Bi y Te), oro y calaverita (contenido de Au y Te) (Figura 17), y la ocurrencia de mawsonita? (Figura 18.A1.; contenido de Sn). También se encontraron empletita y kupcikita (con contenido de Bi) (Figura 19.A1.), y tetradymita (Figura 19.B1.; contenido de Bi y Te) asociadas a la Ccp5 que funciona como cemento de las brechas hidrotermales.

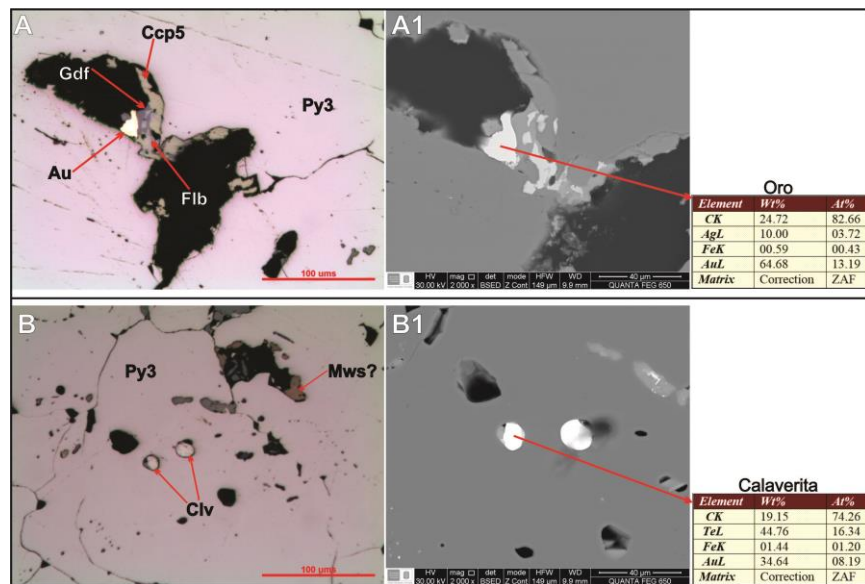
El oro nativo (con proporciones de Au de 86% y de Ag de 14%; Figura 17.A1.) se presenta como agregados cristalinos anhedrales con tamaños de 2.5µm – 27.5µm. Se encuentra relleno de espacios dentro de las piritas de la segunda etapa de mineralización y relleno de fracturas generadas por las brechas mineralizadas, asociado a la cuarta etapa de mineralización, cristalizando especialmente con minerales de Bismuto y Teluros, donde algunos de estos minerales tienen contenidos de Antimonio (Sb), el cual debe ser tenido en cuenta por ser uno de los principales cianocidos presentes en los minerales (Figura 20).

En algunos sectores este cuarto evento de mineralización es clasificado como una brecha tipo D ya que se encuentra arrastrando fragmentos de la roca caja. El cuarzo de origen hidrotermal que acompaña esta cuarta etapa de mineralización se presenta con textura en peine (Tipo *Comb*; Figura 9.B.).

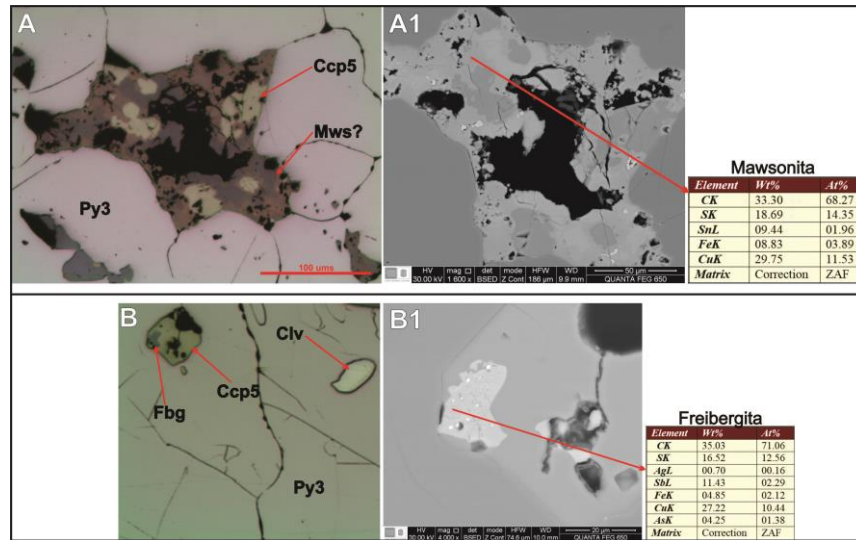
**Figura 16.** Ilustración 1 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. **A.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran rellenando espacios vacíos dentro de la Py3. **B.** Vista del SEM de la goldfieldita y felbertalita asociadas a la brecha hidrotermal de Ccp5. **C.** Vista del SEM de la argentotennantita con Te y Bi asociada a la brecha hidrotermal de Ccp5.



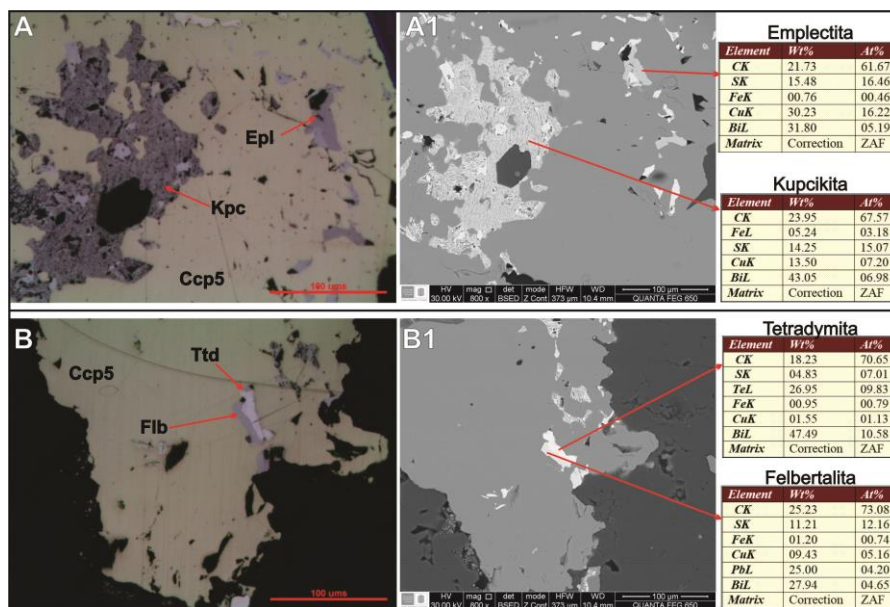
**Figura 17.** Ilustración 2 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. **A.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran rellenando espacios vacíos dentro de la Py3. **A1.** Vista del SEM del oro asociado a la brecha hidrotermal de Ccp5. **B.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran rellenando espacios vacíos dentro de la Py3. **B1.** Vista del SEM de la calaverita asociada a la brecha hidrotermal de Ccp5.



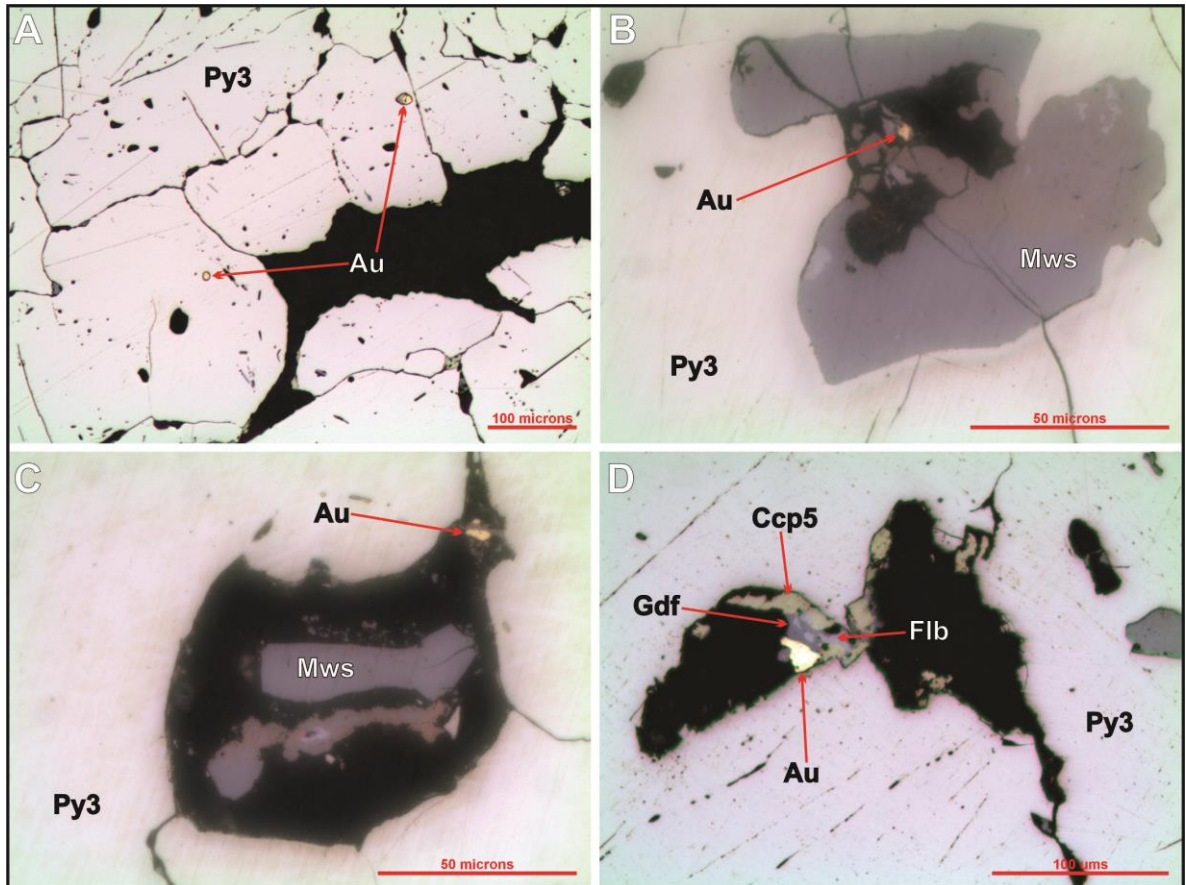
**Figura 18.** Ilustración 3 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) del fragmento A de la muestra VI-08-02-6916920. **A.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran rellenando espacios vacíos dentro de la Py3. **A1.** Vista del SEM de la mawsonita (Presencia de Sn) asociada a la brecha hidrotermal de Ccp5. **B.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran rellenando espacios vacíos dentro de la Py3. **B1.** Vista del SEM de la freibergita (con exclusiones de calaverita?) asociada a la brecha hidrotermal de Ccp5.



**Figura 19.** Ilustración 1 de los análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM) de la muestra VI-08-02-6268151. **A.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran como exclusiones de la Ccp5. **A1.** Vista del SEM de la emplectita y la kupcikita (con mayor contenido de Fe) asociadas a la brecha hidrotermal de Ccp5. **B.** Vista en sección delgada de los minerales que se encuentran como exclusiones de la Ccp5. **B1.** Vista del SEM de la tetradymita (Con Cu) y la feibertalita asociadas a la brecha hidrotermal de Ccp5.



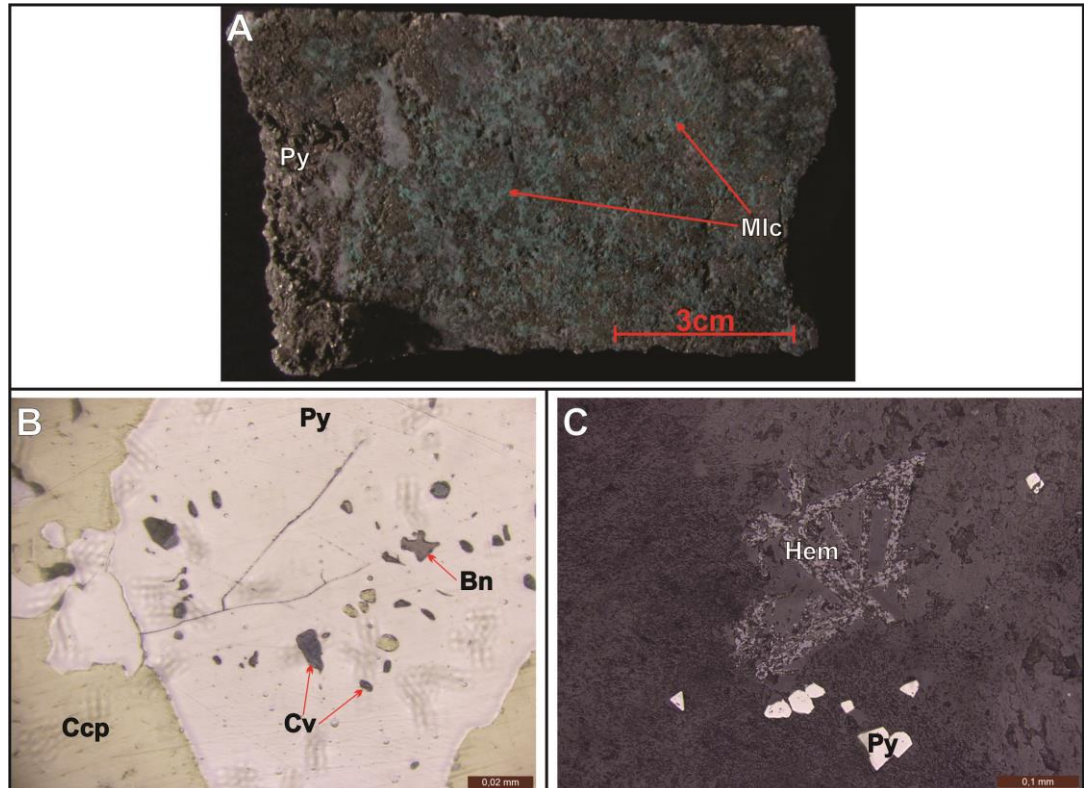
**Figura 20.** Imágenes de las ocurrencias del Au en las muestras del prospecto Violetal, asociado a la cuarta etapa de mineralización. **A.** Vista en sección delgada de la muestra VI-08-03-6268251, donde se observa el Au como inclusiones de la Py, como relleno de espacios vacíos. **B y C.** Vistas en sección delgada de la muestra VI-08-02-6916920-A, donde se observa el Au asociado a la Mws como relleno de espacios vacíos de la Py. **D.** Vistas en sección delgada de la muestra VI-08-02-6916920-A, donde se observa el Au asociado con Ccp, Gdf y Flb, como rellenos de espacios vacíos de la Py.



Se identificó un penúltimo grupo conformado por vetillas antitaxiales de tensión. Se observó que su composición es únicamente de Qz, y está cortando a todos los eventos anteriores. Sin embargo, no representa ningún evento de mineralización de menas. Posterior a estas, se encuentran vetillas sintaxiales de tensión con algo de comportamiento de cizalla, las cuales están compuestas por carbonatos (ankerita y dolomita) y se encuentra cortando y desplazando a los grupos de vetillas y venas anteriormente nombrados (Figura 8).

Finalmente se presenta un evento supérgeno caracterizado por la presencia de malaquita, bornita y covelina, producto de la alteración de sulfuros, y hematita como oxidación de biotitas y minerales máficos (Figura 21).

**Figura 21.** Etapa de mineralización supérgena reconocida en el prospecto Violetal. **A.** Testigo de núcleo de perforación de la muestra VI-08-03-6268244 a 422,8m de profundidad, donde se observa la precipitación de malaquita (Mlc) producto de los procesos de alteración supérgena que sufren los sulfuros de cobre presentes en la mineralización. **B.** Vista en sección delgada de la muestra VI-08-03-6268151, donde se observa la formación de bornita (Bn) y covelina (Cv) como resultado de la alteración supérgena de la calcopirita que se encuentra cortando y rellenando a la pirita. **C.** Vista en sección delgada de la muestra VI-08-01-6916578, donde se observa la presencia de hematita (Hem) como mineral de reemplazamiento de los fenocristales de la roca caja, posiblemente de biotitas, producto de la alteración supérgena que afecta las muestras.



En resumen, se identificaron 8 eventos paragenéticos (Figura 22) de formación de los minerales de mena para el área del prospecto Violetal, entre los cuales se presenta una etapa de pre-mineralización, seguida por cuatro etapas diferentes de

mineralización, dos etapas de post-mineralización, y una etapa de alteración supérgena que afecta los minerales de mena y ganga.

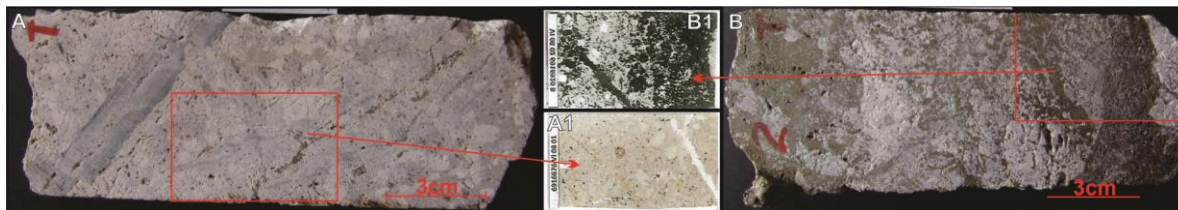
**Figura 22.** Secuencia Paragenética para la formación de los minerales de mena presentes en el Prospecto Violetal. La secuencia se caracteriza según cada mineral identificado en las diferentes etapas de mineralización, y de acuerdo a la composición las vetillas y brechas hidrotermales.

		Pre-mineraliz.	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	supérgeno
<b>MINERALES MENA</b>	<b>Pirita</b>			█	—				
	Pirita 1 (Fina cubica diseminada)	—							
	Pirita 2 (Dodecaédrica, Vetillas)		—						
	Pirita 3 (Venas y vetillas, Habito masivo)			█					
	Pirita 4 (xenomorfica, Sobrecrecimiento)				—				
	<b>Calcopirita</b>			- - - - -	- - - - -	█			
	Calcopirita 1 (Fina, xenomorfica, diseminada)	—							
	Calcopirita 2 (Vetilla Qz-Mol, cristales aislados)		- - - - -						
	Calcopirita 3 (Vetilla Py, dispersos)			- - - - -					
	Calcopirita 4 (Inclusión Sp (Disease))		- - - - -		- - - - -				
	Calcopirita 5 (Masiva, xenomorfica, Brecha)					█			
	<b>Esfalerita</b>								
	Esfalerita 1 (Fino, xenomorfico, diseminado)	—							
	Esfalerita 2 (Vetilla Qz-Mol, xenomorfico)		- - - - -						
	Esfalerita 3 (Masiva, xenomorfica, Venas)				█				
	<b>Molibdenita</b>		█						
	<b>Tetraedrita-Tennantita</b>						█		
	<b>Galena</b>						█		
	<b>Oro (Brechas, subangular)</b>						█		
	<b>Argentotennantita de (Te,Bi)</b>						█		
<b>Freibergita</b>						█			
<b>Goldfieldita</b>						█			
<b>Felbertalita</b>						█			
<b>Emplectita</b>						█			
<b>Kupcikita</b>						█			
<b>Tetradymita de Cu</b>						█			
<b>Mawsonita</b>						█			
<b>Calaverita</b>						█			
<b>Especularita</b>						█			
<b>Magnetita</b>	- - - - -			█					
<b>Ilmenita</b>	- - - - -								
<b>Covelina</b>									
<b>Malaquita</b>								█	
<b>Hematita</b>								- - - - -	
<b>Bornita</b>								- - - - -	
<b>VENAS Y BRECHAS</b>	<b>Chl</b>	—							
	<b>Qz</b>		—						
	<b>Qz+Mo+Py±Ccp±Sp</b>		█						
	<b>Qz+Py±Ccp±Spc</b>			█					
	<b>Sp+Py+Qz</b>				█				
	<b>Ccp+Qz+Tnt-Ttr±Au±Gn±Clv±Flb±</b>					█			
	<b>Gdf±Atn±Fbg±Mws</b>								
	<b>Ank</b>							█	

### 5.3. PETROGRAFÍA Y MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS

Para el desarrollo del análisis de inclusiones fluidas se realizaron secciones delgadas doblemente pulidas a dos de las muestras previamente estudiadas durante la etapa de petrografía, donde se enfatizó en la búsqueda de cristales de cuarzo de origen hidrotermal, que estuvieran relacionados a los principales eventos de mineralización en el área de estudio (Figura 23). Las muestras seleccionadas para el análisis de inclusiones fluidas fueron: 1) La muestra VI-08-01-6916676, donde se escogieron cristales de cuarzo con textura en mosaico asociados a las vetillas del evento  $\text{Mo}+\text{Py}\pm\text{Ccp}\pm\text{Sp}$ ; 2) El fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920, donde se escogieron los cristales de cuarzo con textura *comb* asociados a la mineralización de las brechas hidrotermales con  $\text{Ccp}+\text{Ttr}/\text{tnt}\pm\text{Gn}\pm\text{Au}\pm\text{Clv}$  con la presencia de las sulfosales de Ag y los minerales de Te y Bi.

**Figura 23.** Muestras escogidas para el análisis de inclusiones fluidas. **A** y **A1**. Testigo de núcleo de perforación y sección delgada doblemente pulida de la muestra VI-08-01-6916676. **B** y **B1**. Testigo de núcleo de perforación y sección delgada doblemente pulida del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920.



**5.3.1. Petrografía de Inclusiones Fluidas.** Para la caracterización petrográfica de las inclusiones fluidas se tuvo en cuenta diversos factores como los cristales hospedantes y su asociación paragenética según la metodología propuesta por Van Den Kerkhof and Hein (2001). También se tuvo en cuenta factores como su ubicación, génesis, componentes, tipo y forma de las inclusiones. En la tabla 5 se presenta un resumen con los factores tenidos en cuenta y sus códigos para la nomenclatura de las inclusiones.

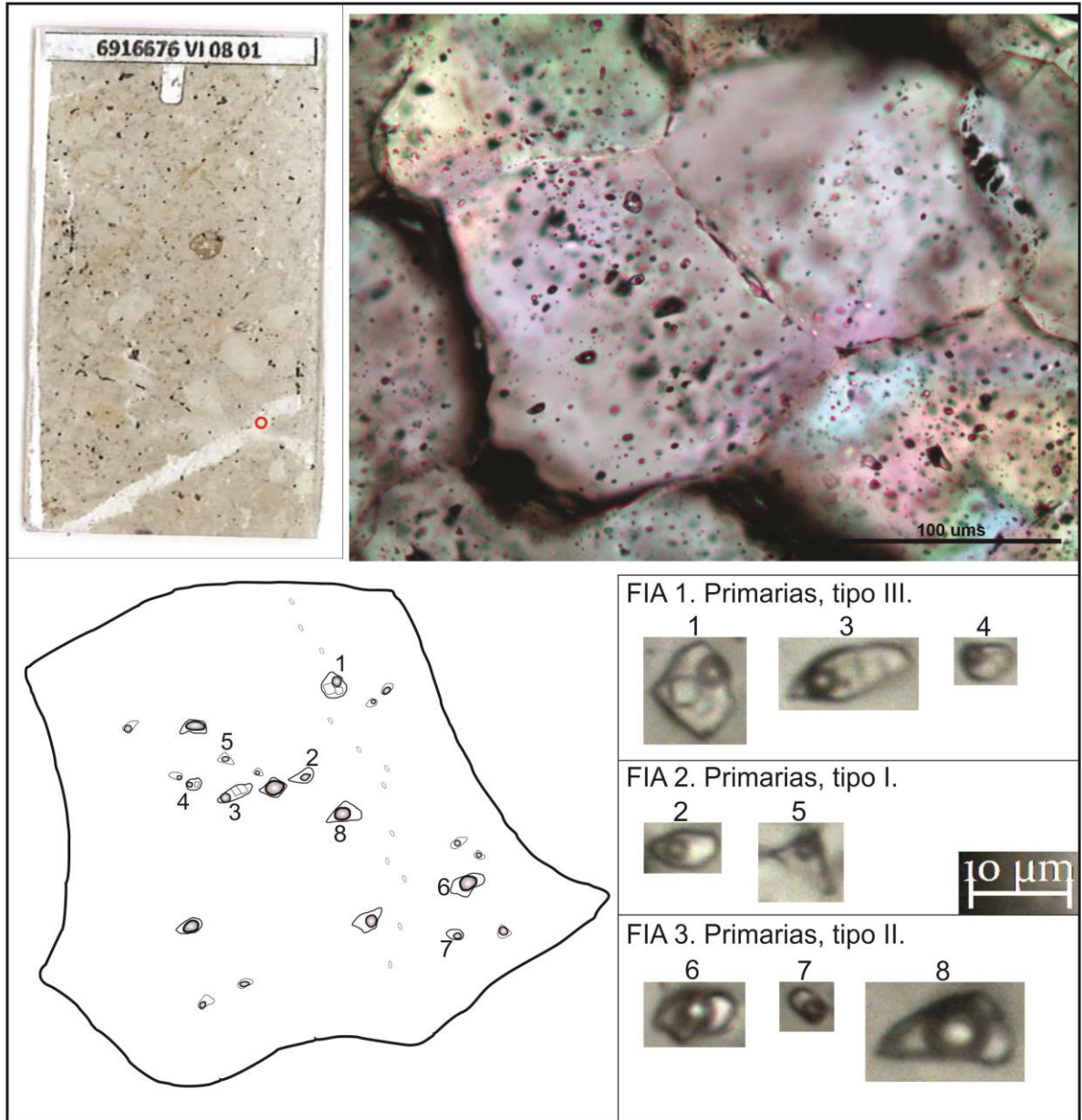
**Tabla 5.** Tabla de resumen que muestra los factores para la caracterización de las inclusiones fluidas del prospecto Violetal, con sus respectivos códigos de nomenclatura.

<b>Factor</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Muestra</b>	01	VI-08-01-6916676	Vetilla de Qz con textura en mosaico
	02	VI-08-02-6916920-B	Qz Comb en las paredes de los sulfuros
<b>Asociación Paragenética del Qz</b>	Mo(1)	Mo-Py±Ccp±Sp	Etapa 1 de mineralización
	Ccp	Ccp+Ttr/tnt±Gn±Au±Civ	Etapa 4 de mineralización
<b>Ubicación dentro del cristal de Qz</b>	N	Núcleo del cristal	
	B	Bordes de crecimiento del cristal	
	F	Planos de fractura del cristal	
<b>Génesis</b>	P	Primarias	Entrampadas durante la cristalización
	SC	Secundarias	Entrampadas después de la cristalización, asociadas a fracturas
	PS	Pseudo-secundarias	Alineadas, pero entrampadas durante la cristalización
<b>Componentes</b>	L	Líquido	
	S	Sólido	Principalmente Halita(?) - Anhidrita(?)
	V	Vapor	
<b>Tipo de Inclusiones Fluidas</b>	I	Líquido>Vapor	Ricas en líquido
	II	Líquido<Vapor	Ricas en Vapor
	III	Líquido>Vapor, Sólido	Presencia de cristales hijos
<b>Forma</b>		Circular, ovalada, alargada, irregular	

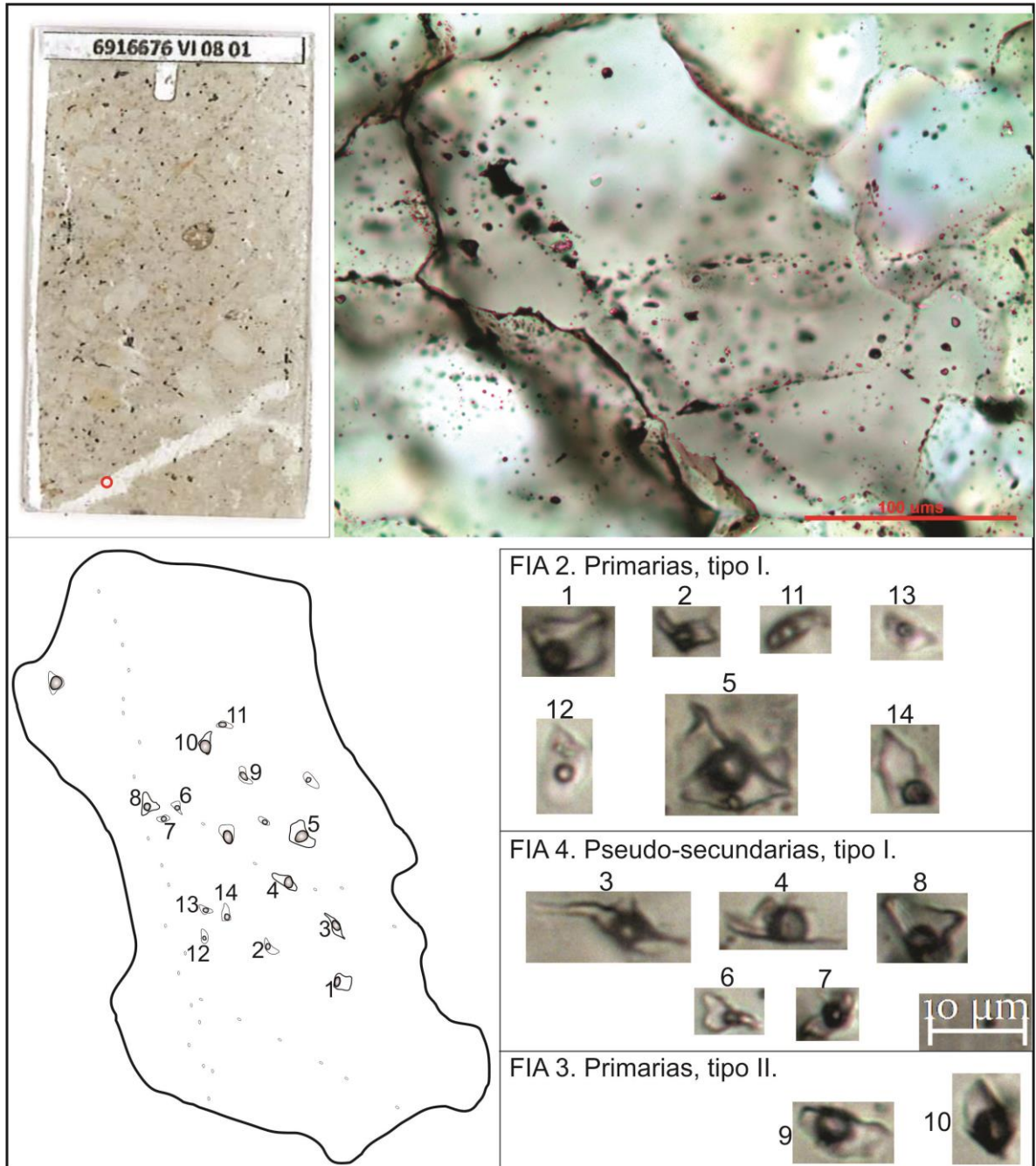
De acuerdo al estudio petrográfico de las muestras seleccionadas, se presentan 6 ensamblajes o asociaciones de inclusiones fluidas (FIAs), 4 FIAs reconocidas en la muestra VI-08-01-6916676, y 2 FIA reconocida para el fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920. Las asociaciones de inclusiones fluidas secundarias no fueron tenidas en cuenta, debido a que no representan información relacionada con la génesis de los cristales de Cuarzo estudiados.

Los cuarzos de la muestra VI-08-01-6916676, relacionados a la vetilla con  $Mo-Py \pm Ccp \pm Sp$  presentan inclusiones fluidas que en su mayoría son primarias (Figuras 24 y 25), y ocasionalmente se presentan pseudosecundarias (Figura 25). Las asociaciones identificadas fueron las siguientes: FIA 1) Inclusiones fluidas primarias, trifásicas (tipo III), donde se encontraron la fase sólida como cristales salinos (halita-anhidrita?), con tamaños de  $6\mu m$  a  $11\mu m$ , con formas ovaladas a alargadas, encontradas principalmente hacia los núcleos de los cristales; FIA 2) Inclusiones fluidas primarias, bifásicas (tipo I), con una proporción de líquido/vapor de aproximadamente de 80/20 a 60/40, con tamaños de  $4\mu m$  a  $15\mu m$ , con formas ovaladas a alargadas, ocasionalmente irregulares (con una posible evidencia de estiramiento o *Stretching*, y posible escape de componentes o *Leaking*), y que se presentan en los núcleos de los cristales, o en algunos casos hacia los bordes; FIA 3) Inclusiones fluidas primarias, bifásicas (tipo II), con una proporción de líquido/vapor de aproximadamente 40/60 a 30/70, con tamaños de  $5\mu m$  a  $10\mu m$ , con formas ovaladas a alargadas, encontrándose principalmente en los núcleos de los cristales; y FIA 4) Inclusiones fluidas pseudo-secundarias, bifásicas (tipo I), con una proporción de líquido/vapor de aproximadamente de 80/20 a 60/40, con tamaños de  $4\mu m$  a  $8\mu m$ , encontradas principalmente alineadas en planos dentro de los cristales, pero atrapadas durante sus etapas de formación.

**Figura 24.** Inclusiones fluidas asociadas a una vetilla de cuarzo con textura en mosaico de la muestra VI-08-01-6916676. El círculo rojo demarca el punto de observación en detalle del cristal, donde se observa la presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I, tipo II y tipo III, encontradas principalmente en el núcleo del cristal, y ocasionalmente hacia el borde.

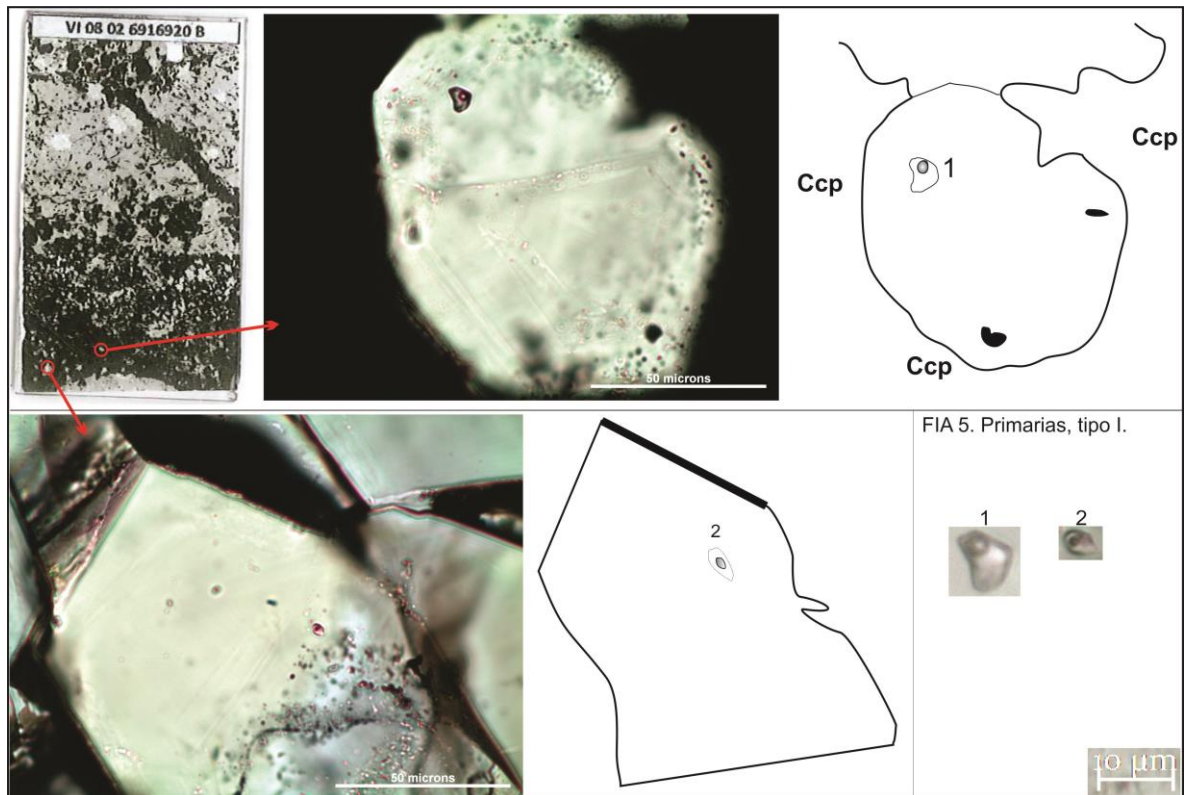


**Figura 25.** Inclusiones fluidas asociadas a una vetilla de cuarzo con textura en mosaico de la muestra VI-08-01-6916676. El círculo rojo demarca el punto de observación en detalle del cristal, donde se observa la presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I y de tipo II, encontradas principalmente en el núcleo del cristal, y de inclusiones fluidas pseudo-secundarias de tipo I, alineadas en planos del cristal, pero entrampadas durante su etapa de formación.

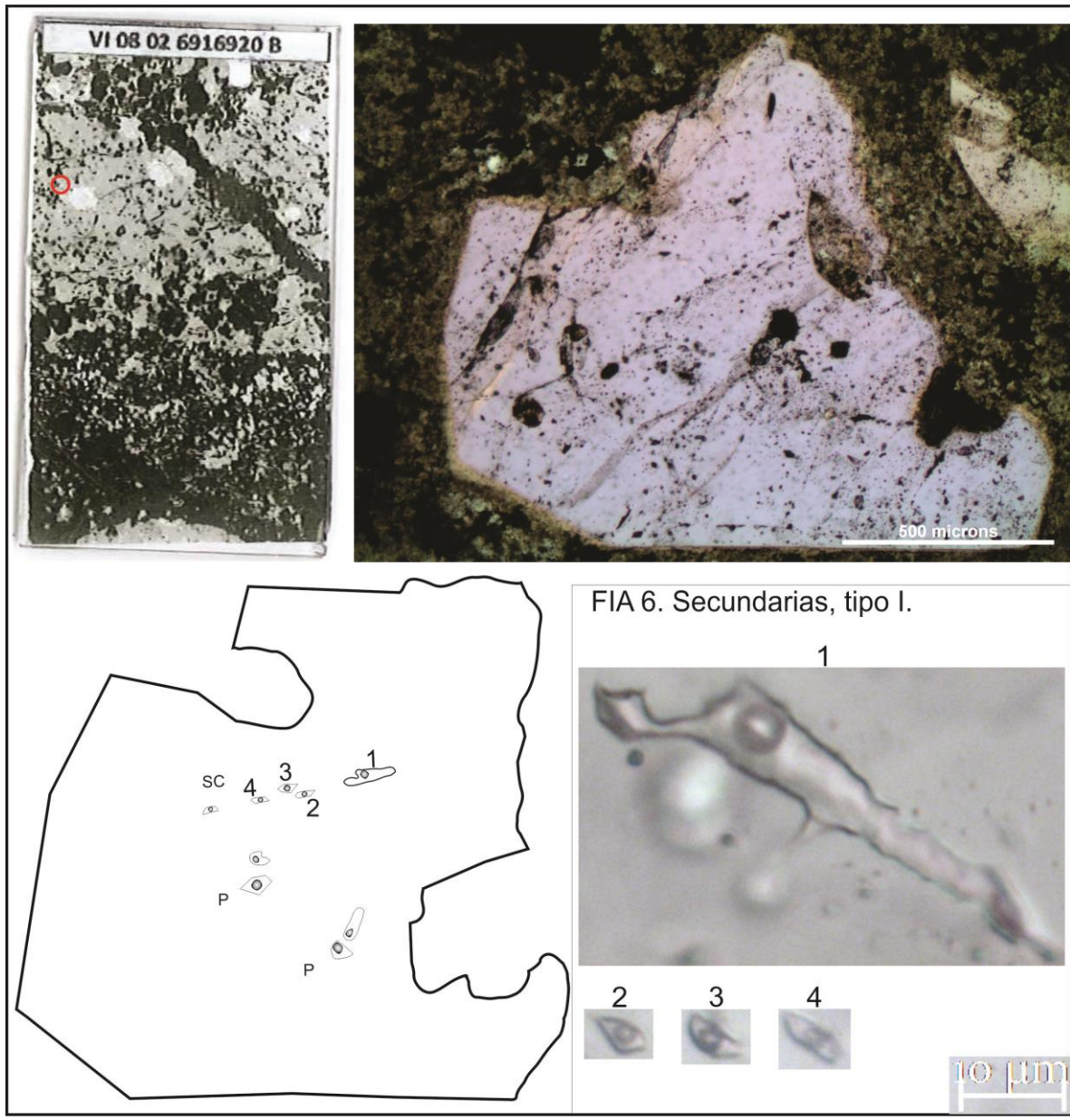


Los cuarzos del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920 están relacionados a cristales con textura en peine (*comb*) en contacto con los sulfuros del evento de mineralización de brecha hidrotermal, donde se presenta Ccp+Ttr/tnt±Gn±Au±Clv, las sulfosales de Ag y los minerales de Te y Bi. Estos cristales son escasos en inclusiones fluidas (Figura 26), presentándose únicamente una asociación (FIA 5) caracterizada por inclusiones fluidas primarias, ubicadas principalmente en los núcleos de los cristales, bifásicas (tipo I), con tamaños de 3µm a 6µm, y con formas ovaladas y alargadas, con una proporción de líquido/vapor de 70/30 aproximadamente.

**Figura 26.** Inclusiones fluidas asociadas a cuarzos con textura *comb* de la brecha hidrotermal del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920. El círculo rojo demarca el punto de observación en detalle del cristal, donde se observa la presencia de inclusiones fluidas primarias de tipo I, encontradas principalmente del núcleo hacia el borde de los cristales.



**Figura 27.** Inclusiones fluidas asociadas a los fenocristales de cuarzo del pórfido riolítico como roca caja de la brecha hidrotermal del fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920. El círculo rojo demarca el punto de observación en detalle del cristal, donde se observa la presencia de inclusiones fluidas secundarias de tipo I, encontradas principalmente en planos de fractura de los fenocristales de Cuarzo.



En esta muestra se lograron identificar inclusiones fluidas secundarias alineadas en planos de fracturas presentes en los fenocristales de cuarzo de la roca caja, cuya litología corresponde al pórfido riolítico (Figura 27). Se tuvieron en cuenta estas inclusiones con el fin de identificar alguna relación genética con las inclusiones fluidas primarias de los cristales de Cuarzo hidrotermal presentes en la muestra. Estas inclusiones se caracterizan por ser inclusiones bifásicas (tipo I), con tamaños de  $3\mu\text{m}$  a  $5\mu\text{m}$ , hasta una inclusión de  $37\mu\text{m}$ , con formas alargadas, y con una proporción de líquido/vapor de 70/30 a 80/20 aproximadamente.

**5.3.2. Microtermometría de Inclusiones Fluidas.** Para los análisis de microtermometría se tuvo en cuenta las inclusiones fluidas que bajo el microscopio se presentaban con una mejor visibilidad, con el fin de identificar óptimamente el comportamiento que presentaban las inclusiones. Esto permitió registrar las temperaturas a las cuales las inclusiones sufrían cambios de fases durante su enfriamiento y posterior calentamiento. Se tienen en cuenta la temperatura eutéctica ( $T_e$ ) o de primera fusión del hielo, que permite identificar la composición de los fluidos entrampados; la temperatura de fusión total del hielo ( $T_m$  ice) que se usa para medir la salinidad del fluido; y la temperatura de homogenización ( $T_h$ ), que representa la temperatura mínima de entrampamiento del fluido. Se estudiaron un total de 58 inclusiones fluidas entre las dos muestras analizadas, en las cuales se registraron estas tres temperaturas.

A partir de las temperaturas obtenidas en la práctica de microtermometría es posible calcular los valores de salinidad, densidad, presión de homogenización y profundidad de los fluidos que generaron las inclusiones fluidas (Tabla 6). Los datos de salinidad, densidad y presión de homogenización del fluido se obtuvieron mediante el software BULK del paquete FLUIDS desarrollado por Bakker, de licencia libre, que calcula automáticamente estos datos mediante ecuaciones

estándar para diferentes sistemas de composición de los fluidos. Se tuvo en cuenta las ecuaciones utilizadas para el sistema H<sub>2</sub>O-NaCl. El cálculo de la profundidad de entrapamiento de las inclusiones se realizó asumiendo condiciones de presión hidrostática, por lo que se emplea la ecuación:

$$P = \rho * g * h$$

Donde P es la presión de homogenización;  $\rho$  es la densidad de la inclusión,  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ ); y  $h$  es la profundidad a la cual la inclusión se formó. Entonces:

$$h[\text{m}] = \frac{P}{\rho * g}$$

**Tabla 6.** Tabla de resultados que muestra los datos obtenidos durante la práctica de microtermometría de inclusiones fluidas. Los datos de la muestra 01 (VI-08-01-6916676) están asociados a la primera etapa de mineralización, mientras que los datos de la muestra 02 (fragmento B de la muestra VI-08-02-6916920) están asociados a la cuarta etapa de mineralización.

Muestra	Asociación (FIA)	Génesis	Tipo de IF	Te (°C)	Tm ice (°C)	Wt. %NaCl	Th (°C)	Homogenización	Densidad (g/cc)	Presión (bar)	Profundidad (m)
01	2	P	I	-55,4	-14,5	18,22	262,1	L+V=L	0,95	44,42	486,53
01	3	P	II	-55,4	-20	22,38	490,5	L+V=L	0,71	596,98	8748,93
01	1	P	III	-55,4	-20	22,38	271,5	L+V+S=L	0,96	52,20	565,79
01	2	P	I	-53,2	-17,9	20,89	296,8	L+V=L	0,96	50,73	549,85
01	2	P	I	-53,2	-17,9	20,89	267,7	L+V=L	0,96	48,95	530,56
01	2	P	I	-53,2	-20	22,38	306,6	L+V=L	0,93	89,74	1004,05
01	2	P	I	-51,2	-23,4	24,59	470,2	L+V=L	0,77	508,86	6876,40
01	3	P	II	-51,2	-23,4	24,59	379,3	L+V=L	0,87	219,30	2622,85

01	1	P	III	-59,7	-43,5	39,64	293,4	L+V+S=L	1,03	73,95	747,06
01	2	P	I	-50,3	-23,5	24,65	307,8	L+V=L	0,94	91,28	1010,42
01	1	P	III	-59,7	-43,5	39,64	327,7	L+V+S=L	0,93	119,54	1337,47
01	1	P	III	-59,7	-43,5	39,64	293,4	L+V+S=L	0,72	73,95	1068,71
01	2	P	I	-50,3	-23,5	24,65	273,6	L+V=L	0,97	54,06	579,91
01	3	P	II	-50,3	-20,3	22,58	491,5	L+V=L	0,71	601,57	8816,20
01	3	P	II	-50,3	-20,3	22,58	448,9	L+V=L	0,78	426,21	5685,68
01	2	P	I	-51,6	-13,9	17,70	270,3	L+V=L	0,94	51,16	566,31
01	1	P	III	-51,6	-20,5	22,71	304,5	L+V+S=L	0,94	87,08	963,93
01	1	P	III	-51,6	-20,5	22,71	293,8	L+V+S=L	0,94	74,40	823,57
01	2	P	I	-45,5	-20,5	22,71	231,7	L+V=L	1,00	24,99	260,03
01	2	P	I	-45,5	-20,5	22,71	237,7	L+V=L	0,99	28,19	296,29
01	2	P	I	-48,6	-17,9	20,89	259,6	L+V=L	0,97	42,51	456,01
01	2	P	I	-48,6	-17,9	20,89	248	L+V=L	0,98	34,38	365,03
01	2	P	I	-42,2	-11,3	15,27	259,6	L+V=L	0,93	42,51	475,62
01	2	P	I	-42,2	-11,3	15,27	259,6	L+V=L	0,93	42,51	475,62
01	3	P	II	-54,9	-23,6	24,71	417,4	L+V=L	0,83	321,21	4026,84
01	3	P	II	-50,5	-20,4	22,64	501,5	L+V=V	0,70	648,73	9643,17
01	2	P	I	-50,5	-20,4	22,64	448,1	L+V=L	0,78	423,29	5646,73
01	3	P	II	-45	-20,4	22,64	435,2	L+V=L	0,79	378,10	4980,04
01	2	P	I	-45	-20,4	22,64	435,2	L+V=L	0,79	378,10	4980,04
01	2	P	I	-56,7	-25,8	26,07	272,2	L+V=L	0,98	52,81	560,72
01	2	P	I	-52,3	-23,6	24,71	276,9	L+V=L	0,97	57,07	612,20
01	2	P	I	-52,3	-23,6	24,71	309,7	L+V=L	0,94	93,75	1037,76
01	2	P	I	-62,9	-28,6	27,78	249,3	L+V=L	1,01	35,23	362,95
01	2	P	I	-55,5	-18,1	21,04	288,3	L+V=L	0,94	68,41	757,26
01	4	PS	I	-53,8	-21	23,05	319,4	L+V=L	0,92	107,12	1211,54
01	4	PS	I	-53,8	-21	23,05	352,5	L+V=L	0,89	162,42	1898,90
01	2	P	I	-53,8	-21	23,05	277,1	L+V=L	0,96	57,26	620,63
01	4	PS	I	-55,5	-18,1	21,04	267,3	L+V=L	0,96	48,61	526,88

01	4	PS	I	-55,5	-17,2	20,37	288,3	L+V=L	0,94	68,41	757,26
01	4	PS	I	-55,5	-18,1	21,04	267,3	L+V=L	0,96	48,61	526,88
01	3	P	II	-51,6	-8,3	12,05	398,1	L+V=L	0,69	266,34	4016,44
01	3	P	II	-51,6	-23,4	24,59	437,8	L+V=L	0,81	386,93	4970,51
01	2	P	I	-51,6	-23,4	24,59	354,1	L+V=L	0,90	165,50	1913,41
01	2	P	I	-51,6	-17,2	20,37	231,4	L+V=L	0,99	24,84	261,08
01	2	P	I	-51,6	-4,3	6,89	219	L+V=L	0,90	19,16	221,52
01	2	P	I	-48,2	-4,3	6,89	254,1	L+V=L	0,86	38,50	465,82
01	2	P	I	-52,4	-22,8	24,21	279,6	L+V=L	0,97	59,63	639,66
01	2	P	I	-48,7	-19,9	22,31	239,6	L+V=L	0,99	29,26	307,53
01	2	P	I	-53,6	-22,1	23,76	250,9	L+V=L	0,99	36,30	381,53
01	2	P	I	-48,7	-23,6	24,71	398,7	L+V=L	0,85	267,94	3279,99
01	2	P	I	-52,4	-27,1	26,86	264,7	L+V=L	0,99	46,49	488,63
01	2	P	I	-52,4	-27,1	26,86	244,2	L+V=L	1,01	31,99	329,57
01	2	P	I	-53,6	-19,9	22,31	368,8	L+V=L	0,87	195,65	2339,99
01	2	P	I	-53,6	-22,1	23,76	412,7	L+V=L	0,83	307,21	3851,33
02	5	P	I	-43,3	-8,6	12,39	147,4	L+V=L	0,99	4,79	50,34
02	5	P	I	-55,9	-5,2	8,14	212,6	L+V=L	0,92	16,68	188,65
02	5	P	I	-52	-6,2	9,47	190,8	L+V=L	0,95	10,26	112,38
02	6	S	I	-24,3	-3,8	6,16	219,8	L+V=L	0,89	19,50	227,98

## 6. DISCUSIÓN

En el área del prospecto Violetal se reconocieron tres tipos de litología. El primero de ellos corresponde a una roca de composición granítica, considerada como la roca caja hospedante de los eventos de mineralización de la zona. Mantilla *et al.* (2013) reporta unas rocas ígneas clasificadas como rocas intermedias (dioritas a granodioritas) de  $199.2 \pm 2.8/2.7$  Ma a  $198.4 \pm 2.4/-2.4$  Ma de edad que pueden ser correlacionadas con las presentes en el prospecto Violetal. Asociadas a estos cuerpos plutónicos Mantilla *et al.* (2013) reporta también la presencia de dos grupos de rocas denominadas como Alaskitas, de  $204.3 \pm 2.7/-3.3$  Ma a  $199.1 \pm 2.5/-2.6$  Ma de edad, y  $198.7 \pm 2.6/-2.9$  Ma a  $196.7 \pm 2.9/-2.8$  Ma de edad.

La segunda litología reconocida corresponde a un pórfido riolítico que corta la litología del granito, y el cual sería el responsable de la mineralización presente en la zona, como fuente de los fluidos hidrotermales que interactúan con la roca caja. Se han realizado varios estudios sobre las rocas porfiríticas del Distrito Minero Vetas - California (DMVC), que pueden ser correlacionadas con aquellas que se encuentran en el prospecto Violetal, donde se reportan edades de 8,5 Ma – 10,9 Ma por geocronología U-Pb LA-MC-ICPMS en circones. Estas rocas se encuentran cortando las rocas de composición intermedias de edad Triásico Tardío a Jurásico Temprano (Mantilla *et al.*, 2009; Mantilla *et al.*, 2011; Raley, 2012; Rodríguez, 2014).

El tercer grupo de rocas corresponde a brechas volcánicas. Este grupo fue dividido en dos subgrupos según la forma y composición de los clastos, y las características de su matriz. El primer subgrupo fue clasificado como una brecha magmático-hidrotermal debido a que presenta clastos subangulares a subredondeados de rocas porfiríticas, fragmentos de cuarzo, feldespato, muscovita, pirita, esfalerita y

muy escasamente de magnetita y calcopirita. Las brechas magmático-hidrotermales suelen estar cercanas al pórfido y se generan por la liberación de fluidos magmáticos sobrepresurizados, y comúnmente se forman durante las fases interminerales del pórfido (Sillitoe, 2010). El segundo subgrupo fue clasificado como una brecha freática (de niveles porfiríticos) la cual se caracteriza por tener fragmentos subredondeados a redondeados de cuarzo, magnetita, pirita, y fragmentos líticos de origen ígneo y algunos de origen sedimentario, posiblemente de areniscas (fragmentos polimícticos). Estas brechas son formadas durante un evento explosivo somero, el cual ocurre cuando la presión del gas, que se encuentra debajo de una barrera impermeable, supera la presión hidrostática y esto puede ser considerado como una diatrema (Corbet and Leach, 1997; Sillitoe, 2010). Según Sillitoe (2010), el vulcanismo extrusivo, particularmente de flujo de ceniza y formación de caldera volcánica, es normalmente incompatible con la formación de pórfidos de cobre y depósitos epitermales de oro adyacentes, debido a que los volátiles magmáticos se disipan durante las erupciones piroclásticas (formación de brechas) en lugar de estar retenidos y enfocados en su solo conducto, por lo que no es posible relacionar la mineralización del prospecto Violetal con lo reportado por Galvis (1996), quien sugirió la presencia de una caldera volcánica en el cerro Violertal.

### **6.1. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN EN EL PROSPECTO VIOLETAL**

Los ensambles minerales y las alteraciones hidrotermales se encuentran relacionados debido a que dependen del estado de sulfuración y el pH, como control principal de la alteración (Sillitoe,2010). Se tiene que tener en cuenta que la alteración hidrotermal es la respuesta mineralógica, textural y composicional de una roca a un cambio químico y de temperatura en presencia de un fluido (Henley and Ellis, 1983), por lo tanto es importante tener en cuenta que la composición de la roca

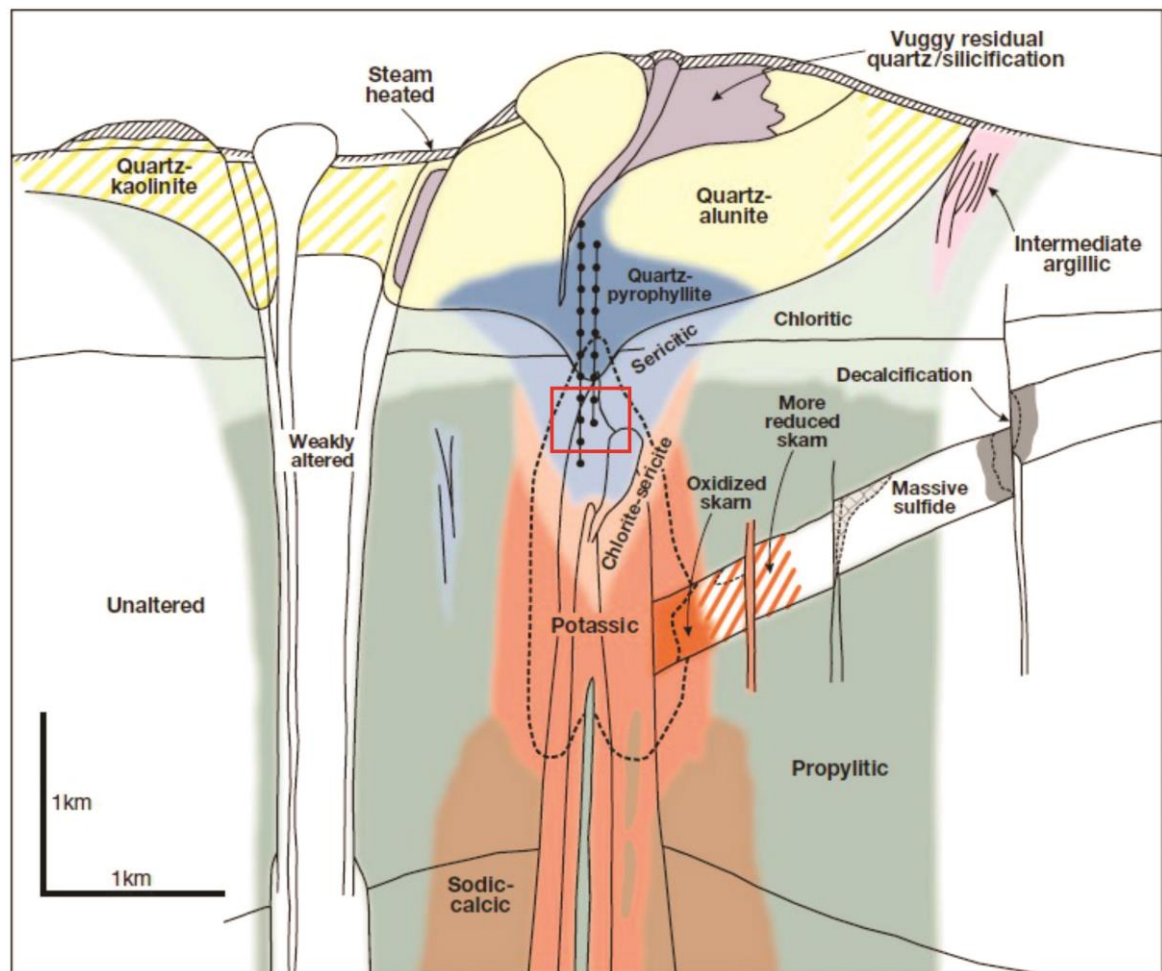
caja original y el fluido hidrotermal influyen en la generación de la mineralogía de alteración (Henley and Ellis, 1983; Pirajno, 2009).

En las muestras analizadas del área del prospecto Violetal se reconocieron dos tipos de alteración hidrotermal, las cuales pueden ser comparables con los ensamblajes de los sistemas de los depósitos de tipo pórfido (Figura 28), caracterizados y descritos por Sillitoe (2010) (Tabla 7). La alteración predominante corresponde a la alteración illita-sericita, la cual se encuentra afectando fuertemente las rocas porfíricas, pero conservando la estructura relícto de la roca. Los minerales de alteración illita-sericita se encuentran afectando, aparentemente, en menor medida las rocas del granito. También se reconocen halos de alteración de sericita generados por las vetillas que se encuentran cortando las rocas porfíricas. Este ensamblaje de alteración hidrotermal puede ser correlacionado con la alteración Sericítica (Sillitoe, 2010).

La alteración que presenta menor abundancia reconocida en el prospecto Violetal corresponde al ensamblaje de alteración de clorita-sericita, donde la clorita se encuentra afectando de manera restringida a las rocas del granito. Asociada a esta alteración se presenta epidota, pero únicamente como halo de alteración de las vetillas que cortan la roca granítica, y se genera a partir de los minerales máficos adyacentes a las paredes de las vetillas. Esta alteración puede ser relacionada con la alteración Clorita-Sericita mencionada en Sillitoe (2010), sin embargo, debido a que únicamente se encuentra afectando a las rocas graníticas, se podría inferir que lo que realmente se está evidenciado es la misma alteración sericítica, pero afectando rocas de composición intermedia, lo que genera que los minerales máficos se alteren a clorita y epidota. Con base en la idea de que la composición de la roca caja y del fluido hidrotermal influyen en la mineralogía de alteración (Henley and Ellis, 1983; Pirajno, 2009), se puede interpretar que la variación en el

ensamblaje mineral de alteración hidrotermal está relacionado principalmente al cambio composicional de la litología que es afectada por dicha alteración.

**Figura 28.** Patrón generalizado de la zonación de alteración-mineralización de los depósitos de tipo Pórfido de Cu. Los volúmenes de los diferentes tipos de alteración varían de acuerdo al depósito. La alteración Sericítica se puede proyectar verticalmente hacia abajo cortando la zona Potásica de forma central. La alteración Sericítica tiende a ser más abundante en depósitos porfíricos de Cu-Mo, mientras que la alteración de Clorita-Sericita se desarrolla preferencialmente en depósitos porfíricos de Cu-Au. En el cuadro rojo se demarca la zona de alteración hidrotermal que es evidenciada en las rocas del prospecto Violetal.



**Fuente:** Sillitoe (2010). Modificado por los autores.

**Tabla 7.** Características de los principales tipos de alteración hidrotermal y mineralización en los sistemas de Pórfidos de Cu. En los recuadros rojos se demarca el tipo de alteración que se puede correlacionar con la alteración evidenciada en las muestras del prospecto Violetal.

Tipo de Alteración (nombre alternativo)	Posición en el sistema (abundancia)	Minerales Clave	Posibles minerales secundarios	Asociaciones de sulfuros principales	Vetillas contemporáneas (designación)	Halos de las vetillas	Potencial económico
Sódico-cálcica	Profunda, incluyendo por debajo de los sistemas pórfido de Cu	Albita/oligoclasa, actinolita, magnetita	Diopsido, epidota, granate	Tipicamente ausente	Magnetita ± actinolita (tipo M)	Albita/oligoclasa	Normalmente estéril, localmente con menas
Potásica	Núcleos de los depósitos de pórfidos de Cu	Biotita, Feldespato K	Actinolita, epidota, sericita, andalusita, albita, carbonato, turmalina, magnetita	Pirita-calcopirita, calcopirita ± bornita, bornita ± digenita ± calcocita	Biotita (tipo EB), Feldespato K, cuarzo-biotita-sericita-feldespato K-andalusita-sulfuros (EDM/tipo T4), cuarzo-sulfuros ± magnetita (tipo A), cuarzo-molibdenita ± pirita ± calcopirita (sutura central, tipo B)	Tipo EDM con sericita ± biotita ± feldespato k ± andalusita + calcopirita ± bornita diseminada; las otras no presentan, excepto feldespato k alrededor de las tipo A y B	Principal contribuyente de menas
Propilítica	Partes marginales de los sistemas, debajo de las litocapas	Clorita, epidote, albita, carbonato	Actinolita, hematita, magnetita	Pirita ( ± esfalerita, galena)	Pirita, epidota		Estéril, excepto por vetillas sub-epitermales
Clorita-sericita (sericita-arcilla-clorita [SCC])	Partes superiores de los núcleos de los pórfidos (común, particularmente en depósitos ricos en Au)	Clorita, sericita/illita, hematita (martita, especlarita)	Carbonato, epidota, smectita	Pirita-calcopirita	Clorita ± sericita ± sulfuros	Clorita, sericita/illita	Común contribuyente de menas
Sericítica (fílica)	Partes superiores de los pórfidos de Cu	Cuarzo, sericita	Pirofilita, carbonato, turmalina, especlarita	Pirita ± calcopirita (pirita-enargita ± tennantita, pirita-bornita ± calcocita, pirita-esfalerita)	Cuarzo-pirita ± otros sulfuros (tipo D)	Cuarzo-sericita	Comúnmente estéril, pero puede tener menas
Argílica avanzada (Cuarcita secundaria en terminología rusa)	Por encima de los pórfidos de Cu, constituyentes de las litocapas (común)	Cuarzo (parte residual, vuggy), alunita, pirofilita, dickita, caolinita	Diasporo, andalusita, cincita, corindón, dumortierita, topacio, especlarita	Pirita-enargita, pirita-calcocita, pirita-covelina	Pirita-enargita ± sulfuros de Cu (incluye las venas)	Cuarzo-alunita, cuarzo-pirofilita/dickita, cuarzo-caolinita	Localmente constituye menas en litocapas y sus raíces

**Fuente:** Sillitoe (2010). Modificado por los autores.

Posterior a los eventos descritos, se presenta una etapa final de alteración hidrotermal evidenciada por la presencia de carbonatos (ankerita y dolomita) como vetillas que cortan todos los eventos anteriores de alteración hidrotermal, y como agregados masivos que se superponen a dichos eventos. La presencia de carbonatos cortando todas las alteraciones anteriores indica que las condiciones variaron al final de los procesos hacia un pH neutral-alkalino (Chinchilla *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta la relación de corte de las vetillas, venas y brechas hidrotermales evidenciadas en las muestras estudiadas, se identificaron 4 etapas importantes de mineralización de menas para la zona del prospecto Violetal, asociadas a eventos de origen magmático-hidrotermal. Todas estas etapas relacionadas genéticamente con la alteración Sericítica.

Previo a las principales etapas de mineralización de menas, se presentan eventos hidrotermales como la silicificación de la roca caja, y la precipitación de Py, Ccp y Sp diseminadas, asociadas a la alteración hidrotermal. También se presentan Mag e Ilm en las brechas freáticas. Estos agregados aislados de Mag dentro de las brechas en las zonas de alteración Sericítica posiblemente corresponden a remanentes de la Mag formada en las zonas de alteración Potásica, evidenciando el grado de superposición de los eventos hidrotermales (Sillitoe, 2010).

La primera etapa de mineralización está asociada a la presencia de vetillas de Qz granular con textura en mosaico, junto con mineralización de  $Mo+Py\pm Ccp\pm Sp$ , las cuales se pueden correlacionar como vetillas tipo B (Figura 29; pero sin halo de alteración de feldespatos potásicos). Estas vetillas representan una etapa temprana asociada a un evento importante de mineralización de molibdenita.

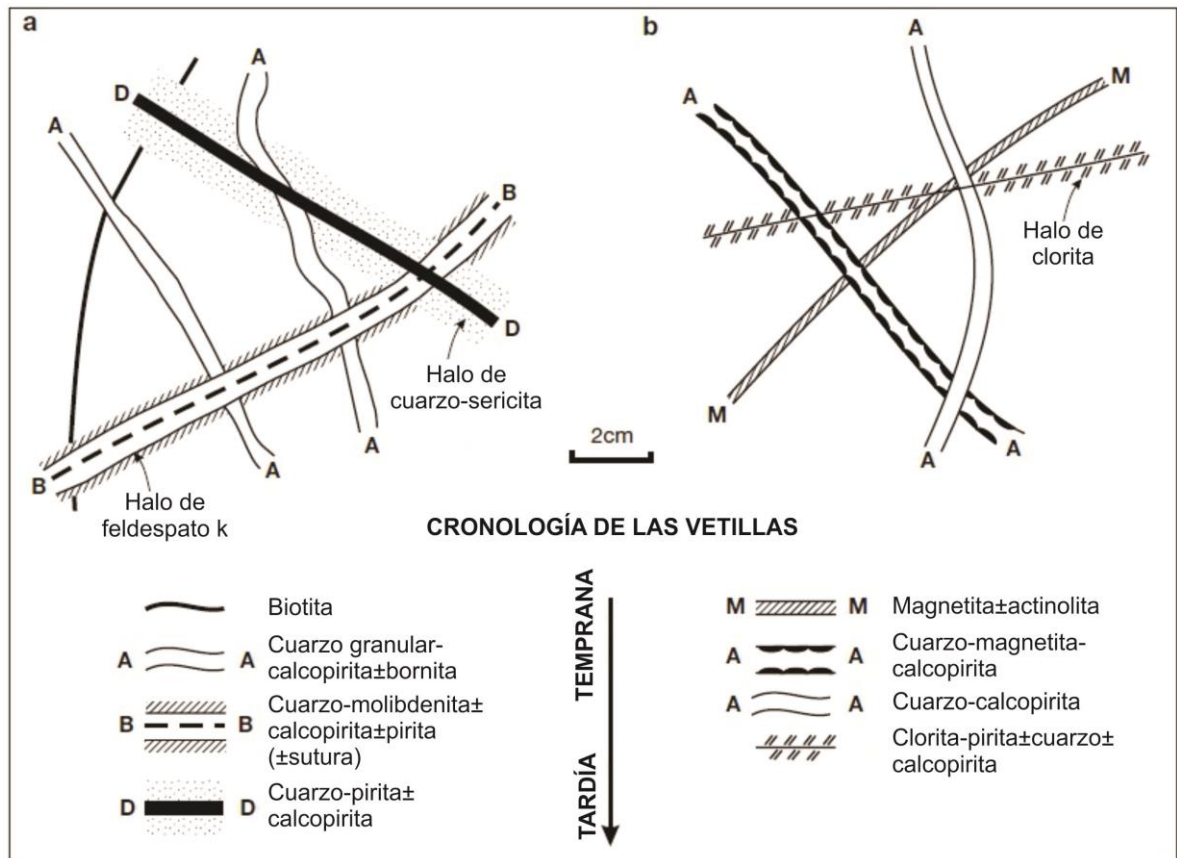
Estas vetillas están siendo cortadas por un evento compuesto de  $Py+Qz\pm Ccp\pm Sp$ , que representan la segunda etapa de mineralización, y se presentan en algunas zonas como vetillas con halos de sericita (vetillas tipo D; Figura 29), y en otras como venas de reemplazamiento de igual composición.

La tercera etapa de mineralización está compuesta por vetillas y venas con mineralización diseminada de  $Sp+Py+Qz$ , las cuales cortan a las vetillas y arrastran fragmentos de Py del evento anterior, que se remobilizan junto con la Sp.

Finalmente se presenta una cuarta etapa de mineralización, compuesta por un evento de  $Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  y la mineralización asociada a la Ccp de sulfosales de Ag como argentotennantia y freibergita, de sulfuros de Cu con Te y Bi

como la felbertalita, goldfieldita, kupcikita, emplectita y tetradimita, y de sulfuro de Cu y Sn como la mawsonita?, junto con Qz con textura en peine (*Comb*), la cual constituye el cemento de una brecha hidrotermal que se evidencia cortando los dos eventos inmediatamente anteriores de mineralización, generando el brechamiento con textura en rompecabezas (*Jigsaw*), y también fracturamiento y relleno de las fracturas. Esta brecha representa el evento de mineralización hidrotermal más tardío identificado en las muestras de la zona del prospecto Violetal.

**Figura 29.** Cronología esquemática de una típica secuencia de vetillas en **a.** Depósitos de Pórfidos de Cu-Mo, y **b.** Depósitos de Pórfidos de Cu-Au, asociados con intrusiones calco-alcalinas.

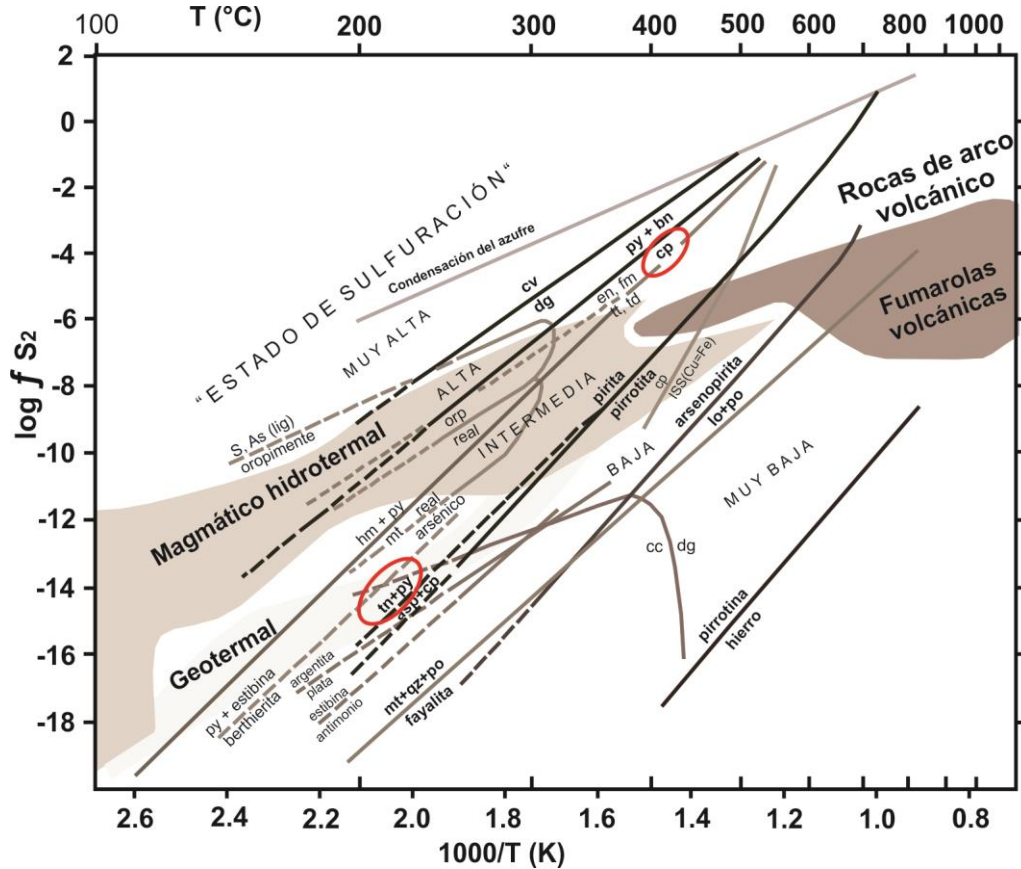


**Fuente:** Sillitoe (2010).

Los eventos de mineralización asociados a los depósitos magmático-hidrotermales, como los depósitos porfíricos y epitermales, representan la variación en los estados de oxidación y sulfidación de los fluidos hidrotermales que los formaron. En estos ambientes se genera la precipitación de minerales de mena de Cu de estados desde baja hasta alta sulfuración en venas, reemplazamientos masivos y en brechas con cemento de sulfuros, donde los sistemas tienden a presentar mayores estados de sulfuración con el descenso de la temperatura (Einaudi *et al.*, 2003).

Una característica común de las venas relacionadas a depósitos porfíricos es una etapa temprana de silicificación acompañada por abundante pirita como relleno de venas (Einaudi *et al.*, 2003), como la observada durante el evento de pre-mineralización en la zona de Violetal. Esta etapa temprana de cuarzo y pirita es seguida por la precipitación de Cu-Fe-As en vetillas o como la matriz de brechas. A medida que el sistema evoluciona, las menas de sulfuro se van incrementando en Cu, y van evidenciando transiciones en el estado de sulfuración (Einaudi *et al.*, 2003). Esta transición se evidencia en la superposición de los eventos: del evento  $Py+Qz\pm Ccp\pm Spc$  (Etapa 2), al evento  $Sp+Py+Qz$  (Etapa 3) y finalizando con  $Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  (Etapa 4), asociándose a la precipitación de los minerales de mena en un estado de intermedia sulfuración, debido a la abundancia de calcopirita y la serie tetraedrita-tennantita (Figura 30; Einaudi *et al.*, 2003), y también a las ocurrencias de galena y esfalerita pobre en Fe (traslucida), junto con la presencia de los Teluros que se precipitaron con la calcopirita (Tabla 8; Silltoe and Hedenquist, 2003).

**Figura 30.** Diagrama Log  $fS_2$  vs.  $1000/T$ , mostrando los estados de sulfuración de los fluidos de los sistemas hidrotermales activos a 1 bar. Los círculos rojos señalan los minerales indicadores del estado de intermedia sulfuración, y que se encontraron en la cuarta y última etapa de mineralización en la zona del prospecto Violetal., caracterizada por la ensamble de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv.



**Fuente:** Einaudi *et al.* (2003). Modificado por los autores.

Es llamativo en la zona del prospecto Violetal la presencia en cantidades significativas de minerales con contenidos de Teluro y Bismuto, así como sulfosales con contenidos de Ag, asociados a la mineralización de Au que se precipitaron en los eventos de brechas hidrotermales de estado de sulfuración intermedia. Muchos sistemas magmático-hidrotermales se presentan altamente enriquecidos en teluros, que en adición a la presencia de oro nativo, representan importantes portadores de metales preciosos. Una gran variedad de sistemas indican una transición entre los ambientes pórfido-epitermal, caracterizados por presentar asociaciones entre

minerales claves como Teluros ricos en Cu y Ag, Teluros de Bi, Sulfosales de Bi y Sulfuros de Teluro, así como la presencia de trazas de Au, Ag, Sn y Mo (Voudouris, 2006). Estas asociaciones fueron evidenciadas en la etapa más evolucionada de mineralización del prospecto Violetal, con presencia de Au nativo y Teluros de Au como la calaverita, sulfosales ricas en Ag como la freibergita y la argentotennantita, sulfosales de Te como la goldfieldita, Teluros de Bi como la tetradymita, sulfuros de Bi como la emplectita, kupcikita y felbertalita (con Pb), y ocurrencias de mawsonita (sulfuro Cu y Sn). La presencia de Teluros y oro nativo es común a lo largo de todo el sistema epitermal de alta e intermedia sulfuración, y están espacialmente asociados a sistemas porfiríticos de Cu-Mo (Voudouris, 2006).

**Tabla 8.** Características de las mineralizaciones de tipo Epitermal. En el recuadro rojo se ilustran las características de los depósitos epitermales de intermedia sulfuración, que son correlacionables con la tercera y cuarta etapa de mineralización evidenciadas en las muestras del prospecto Violetal.

	Alta Sulfuración	Intermedia Sulfuración	Baja Sulfuración	
	Magma Oxidado		Magma Subalcalino	Magma Alcalino
Ejemplo	El Indio, Chile	Baguio, Filipinas	Midas, Nevada	Emperor, Fiji
Rocas volcánicas relacionadas generalmente	Andesita a riodacita	Andesita-riodacita a riolita	Basalto a riolita	Basalto alcalino a traquita
Minerales de alteración proximal	Cuarzo-alunita, Al-fosfatos sulfatos, pirofillita	Sericita, adularia desconocido	Illita / Smectita adularia	Roscoelita-Illita-adularia
Ganga de Silice	Silice masiva-vuggy	Cuarzo crustiforme y en peine rellenando venas	Cuarzo crustiforme y calcedonia rellenando venas	Cuarzo crustiforme y calcedonia rellenando venas
Ganga de carbonatos	Ausente	Común	Presente, menor	Abundante
Otras Gangas	Barita común	Barita presente	Barita no común	Barita, Fluorita común
Especies claves de sulfuros	Enargita, luzonita famatinita, covelina	Esfalerita, galena tetraedrita tennantita calcopirita	Poca arsenopirita± pirrotita; poca esfalerita, galena, tetraedrita/tennantita, calcopirita	
Metales principales	Au, Ag, Cu, As, Sb, Zn, Pb, Bi, Mo, Sn	Ag, Au, Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb	Au ± Ag, Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb	
Abundancia de teluros	Común	Común	Póco	Abundante

**Fuente:** Sillitoe and Hedquist (2003). Modificado por los autores.

La presencia de una gran cantidad de minerales de Bi sugiere condiciones favorables para la mineralización de Au, debido a su gran afinidad. Sin embargo, las asociaciones de minerales de Bi en depósitos con precipitación de Au usualmente son más complejas, incluyendo minerales de sulfuros y telurios (Tooth *et al.*, 2008). Aunque las principales correlaciones que presentan el Bi y el Au se han evidenciado en sistemas asociados a depósitos de Au relacionados a intrusiones (*intrusión related* – IRG), y a depósitos de tipo Skarn, Tooth *et al.* (2008) afirma que para los sistemas magmático-hidrotermales, el proceso donde los fluidos acuosos que interactúan con fluidos polimetálicos ricos en Bi representa uno de los mecanismos más representativos de enriquecimiento de Au, donde el Bi actúa como un colector de Au, elevando sus concentraciones.

La secuencia paragenética y evolución de las etapas de mineralización que se evidenciaron en las muestras del prospecto Violetal sugieren que la precipitación de los minerales de mena se presentó bajo un ambiente de transición de un sistema de pórfido Cu-Mo, caracterizado por la presencia de vetillas tipo B (Etapa 1; Qz+Mo+Py±Ccp±Sp) siendo cortadas por vetillas tipo D (etapa 2; Py+Qz±Ccp±Spc) (Figura 29) bajo una zona dominada por la alteración Sericítica (illita-sericita±clorita), a un sistema epitermal Au-Ag y metales base de intermedia sulfuración, caracterizado por la mineralización en venas de Sp+Py+Qz (Etapa 3) y en brechas hidrotermales de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv junto con sulfosales de Ag y sulfuros de Cu con contenidos de Te y Bi (Etapa 4).

## **6.2. MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS**

Los análisis de microtermometría de inclusiones fluidas fueron realizados en cuarzos con textura en mosaico relacionados con la primera etapa de mineralización caracterizada por la precipitación de Mo+Py±Ccp±Sp, y en cuarzos con textura en

peine (*comb*) asociados a las paredes de los sulfuros de Cu relacionados con la cuarta y última etapa de mineralización, caracterizada por la presencia en brechas hidrotermales de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv con las sulfosales de Ag y Sulfuros de Cu con Te y Bi. El análisis petrográfico mostró la presencia de inclusiones fluidas primarias y pseudosecundarias, entrampadas al mismo tiempo de cristalización de los cuarzos, por ello se consideran representativas para analizar las condiciones del fluido.

Las inclusiones fluidas de la primera etapa de mineralización se caracterizan por presentar relaciones variables de sus componentes principales (Líquido/Vapor), caracterizándose como asociaciones de inclusiones fluidas tipo I (ricas en su fase líquida) o de inclusiones fluidas tipo II (ricas en su fase de vapor). También se evidencia ocasionalmente la presencia de inclusiones trifásicas, con la presencia de una fase sólida hipersalina (tipo III). Además se observaron algunas inclusiones fluidas primarias que sufrieron posiblemente procesos de difusión y deformación post-entrampamiento (*leakage, necking down*). La coexistencia de inclusiones fluidas de tipo I, tipo II y tipo III, genéticamente correlacionadas al mismo evento de formación del cuarzo asociado a esta etapa de mineralización, las cuales presentan evidencias claras de cambios en las proporciones líquido/vapor, son típicas de fluidos compuestos de una fase de vapor y una líquida como es el caso de los fluidos que sufren procesos de ebullición y mezcla, y que evidencian un entrampamiento heterogéneo (Wilkinson, 2001).

Los cuarzos hidrotermales asociados a la cuarta y última etapa de mineralización son escasos en inclusiones fluidas, sin embargo, se lograron identificar inclusiones primarias, generalmente de tipo I, asociadas al evento hidrotermal de formación del cuarzo. También se encontraron inclusiones fluidas secundarias en los planos de

fractura de los fenocristales de cuarzo de la roca caja, los cuales podrían estar relacionados a este mismo evento hidrotermal.

Los rangos de la temperatura eutéctica (Te) o de primera fusión se encuentran en su mayoría entre -56°C y los -48°C, los cuales evidencian una composición para las inclusiones fluidas dentro de los sistemas salinos de H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O-MgCl<sub>2</sub>-CaCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O-KCl-CaCl<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O-CaCl<sub>2</sub> (Tabla 9).

**Tabla 9.** Temperaturas del punto eutéctico para diferentes sistemas salinos-acuosos (a 1 atm). El recuadro rojo demarca los sistemas salinos de acuerdo a los valores de Te que revelaron los estudios de microtermometría de inclusiones fluidas para la primera y cuarta etapa de mineralización.

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

**Fuente:** Velasco (2004).

Los datos de las inclusiones fluidas de la primera etapa de mineralización presentan variaciones en los valores obtenidos para salinidades y temperaturas de homogenización. El rango de salinidades se encuentra generalmente entre 15 Wt.%NaCl y 26 Wt.%NaCl, con algunos valores de 39 Wt.%NaCl asociados a inclusiones trifásicas hipersalinas (tipo III), y valores aislados de 7 Wt.%NaCl. El rango de temperaturas de homogenización varía generalmente entre 220°C y 435°C para las inclusiones fluidas ricas en líquido (tipo I). Las inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo II) presentan mayores rangos de temperatura de homogenización, entre 379°C y 500°C.

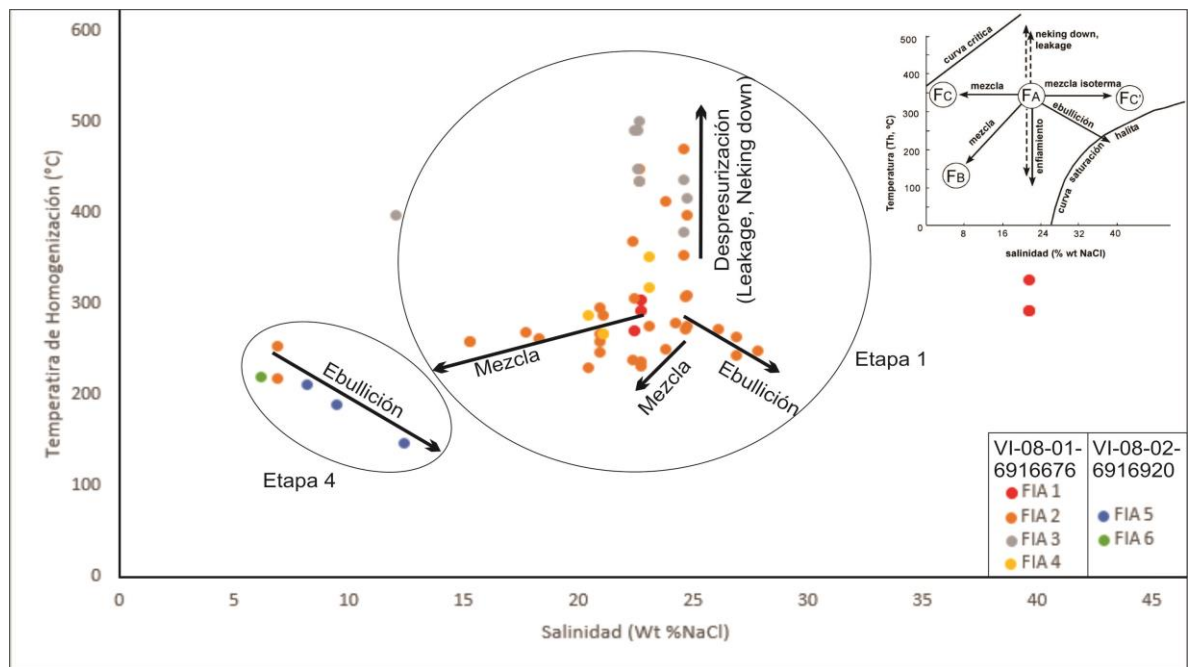
Se puede notar una clara diferencia con relación a las inclusiones fluidas de la cuarta etapa de mineralización, donde los valores de salinidades y temperaturas de homogenización suelen ser menores. En esta etapa se registraron inclusiones fluidas con salinidades entre 6 Wt.%NaCl y 12 Wt.%NaCl, y temperaturas de homogenización entre 147°C y 219°C.

Las densidades de las inclusiones fluidas pertenecientes al primer evento de mineralización presentan variación entre 0,71 – 1,03 (g/cc). A diferencia de estas, las densidades de las inclusiones fluidas pertenecientes al cuarto evento de mineralización no presentan una variación significativa, con valores entre 0,89 – 0,99 (g/cc).

Wilkinson (2001) propone que los datos de temperatura de homogenización y de salinidad indican información acerca de los mecanismos más importantes de generación de los fluidos que precipitan minerales de mena. Según los datos de plotados en el diagrama de temperatura de homogenización vs. Salinidad, las inclusiones fluidas del primer evento de mineralización reflejan procesos de

ebullición y mezcla de fluidos como los principales mecanismos de precipitación de los minerales de mena, con algunos datos dentro de la zona de procesos secundarios de despresurización (*Leakage* y *Neking Down*). Las inclusiones fluidas del cuarto evento de mineralización evidencian principalmente procesos de ebullición (Figura 31). Según Wilkinson (2001), los procesos de separación de fluidos o ebullición, y de mezcla de fluidos son los mecanismos más importantes que generan la concentración de minerales de mena.

**Figura 31.** Diagrama esquemático que muestra las tendencias típicas de salinidad – temperatura de homogenización para los procesos de evolución de los fluidos hidrotermales que formaron las inclusiones fluidas presentes en las muestras de las etapas de mineralización 1 y 4 del prospecto Violetal.



**Fuente:** Autores. Basado en Velasco (2004).

El mecanismo de ebullición ocurre cuando un sistema salino produce una fase de vapor como resultado de un incremento de la temperatura, una disminución de la presión, o combinación de ambas. Cuando ocurre la ebullición se produce vapor y

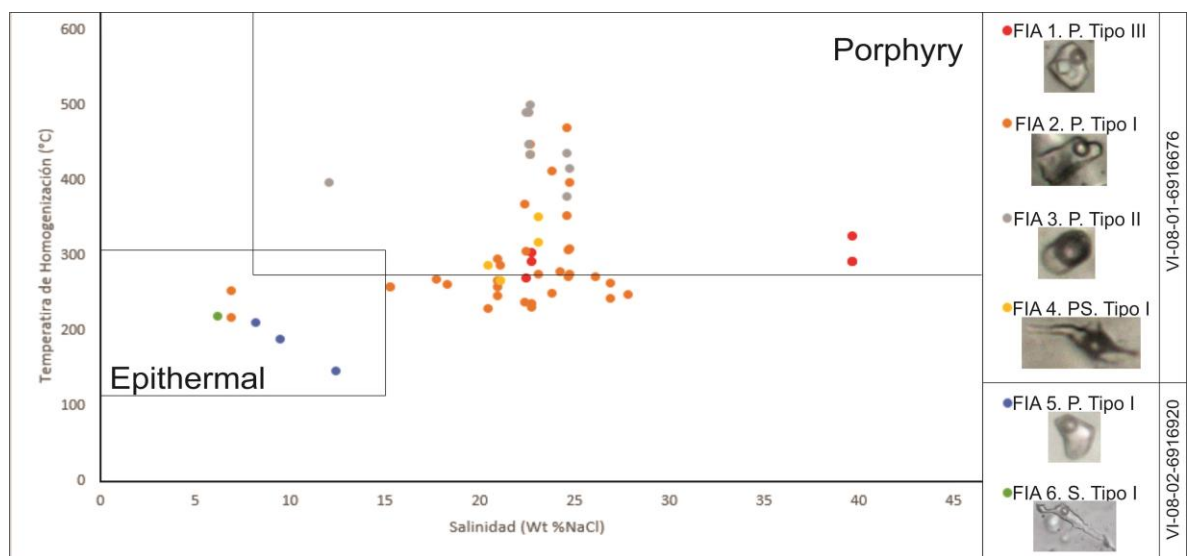
ocurre una fuerte partición de sales hacia la fase líquida, haciendo que el fluido residual se haga más salino. Los procesos de continua ebullición evidencian variaciones significativas en la salinidad de los fluidos. Sin embargo, estas variaciones son más propensas a ser controladas por el mecanismo de mezcla de fluidos, donde la salinidad puede ser fácilmente modificada por la adición o sustracción de agua (Wilkinson, 2001). Modelos termodinámicos multicomponentes muestran que las zonas ricas en oro (bonanzas) dentro de sistemas hidrotermales se pueden formar debido a una selectiva remoción de H<sub>2</sub>S gaseoso de la fase de vapor, mientras la ebullición comienza a cierta profundidad por debajo de la paleotabla de agua. La pérdida del H<sub>2</sub>S de la fase de vapor lleva a la descomposición de los complejos de bisulfato de oro, resultando en una sobre saturación y eficiente precipitación de oro en las venas (Heinrich, 2007).

De acuerdo con Wilkinson (2011), la relación que presenta la salinidad y la temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas evidencian también el ambiente del depósito, propuesto en base a los amplios datos publicados y compilados por Roeder (1984). Según esto, las inclusiones fluidas que pertenecen a la primera etapa de mineralización, caracterizada por la paragénesis Qz+Mo+Py±Ccp±Sp, evidencian un ambiente de tipo Pórfido, con tendencias de bajas temperaturas, las cuales podrían representar un ambiente transicional entre el sistema Porfirítico (de bajas temperaturas) y el sistema Epitermal (con altas salinidades). Por otro lado, las inclusiones fluidas que pertenecen a la cuarta y última etapa de mineralización, caracterizada por la paragénesis Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv con las sulfosales de Ag y sulfuros de Cu con Te y Bi, evidencian un ambiente de tipo Epitermal (Figura 32).

De manera generalizada, los depósitos de pórfido de Cu se presentan en rangos de temperatura entre 200 – 700°C y salinidades entre 0 – 70 Wt.%NaCl. Quizá la más

distintiva característica es la ocurrencia de altas salinidades con contenidos de cristales de halita dentro de las inclusiones fluidas (Wilkinson, 2001), como las observadas en los cuarzos de la etapa de mineralización de Mo+Py±Ccp±Sp, presentando salinidades hasta de 40 Wt.%NaCl.

**Figura 32.** Diagrama de salinidad – temperatura de homogenización que ilustra los rangos típicos de los tipos de depósito para las inclusiones fluidas muestreadas de la primera etapa de mineralización (VI-08-01-6916676) y la cuarta etapa de mineralización (VI-08-02-6916920) evidenciadas en el prospecto Violetal.



**Fuente:** Autores. Basado en Wilkinson (2001).

Estudios realizados por Roedder (1971) y otros investigadores (compilado por Roedder, 1984) determinaron que en la mayoría de depósitos porfiríticos hay una etapa temprana de un líquido hipersalino (>500°-700°C, y 40-60 Wt.%NaCl) comúnmente coexistiendo con un vapor de baja densidad. En contraste, en la parte tardía de la evolución de la mayoría de los sistemas pórfido, un líquido de baja temperatura (<300°C), y baja salinidad (5-20 wt% NaCl equiv) causa la superposición de la alteración Fílica (Beane, 1983; Reynolds and Beane, 1985; en Hedenquist and Richards, 1998).

Las temperaturas de homogenización en los sistemas epitermales son aproximadas a las verdaderas temperaturas de entrapamiento debido a que la presión de entrapamiento son generalmente bajas (Wilkinson, 2001). Los depósitos de alta sulfuración presentan rangos de temperatura de homogenización de 100-345°C y rangos de salinidades de 0 – 23 Wt.%NaCl. Para los depósitos de intermedia sulfuración se encuentran rangos de temperaturas de homogenización desde 140-310°C y salinidades de 0-12 wt% NaCl. De acuerdo a la mineralogía característica, y complementando con los datos que se encontraron para las inclusiones fluidas de los cuarzos de la etapa de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv, esta se puede caracterizar mejor como un evento de mineralización epitermal de intermedia sulfuración, con temperaturas entre 147°C y 219°, y salinidades de 6 – 12 Wt.%NaCl.

## 7. CONCLUSIONES

Las manifestaciones hidrotermales que se presentan en el área del prospecto Violetal se evidencian en una roca ígnea de composición granítica con presencia de minerales máficos como biotitas y anfíboles, las cuales sirven como roca caja de cuerpos porfiríticos de composición riolítica más jóvenes, que intruyen este cuerpo plutónico, y que son responsables de los eventos de mineralización presentes en la zona.

Asociada a la actividad hidrotermal se presentan brechas magmático-hidrotermales las cuales están espacialmente asociadas a las rocas porfiríticas, representando eventos de sobrepresurización de los fluidos magmático-hidrotermales que ocurre entre las etapas de mineralización de la zona. Se presentan también brechas freáticas (de niveles porfiríticos) con presencia de clastos polimícticos, asociadas a eventos subvolcánicos explosivos. Estos eventos de brechamiento pueden estar relacionados a la formación de una diatrema.

En el área del prospecto Violetal se reconoció una alteración hidrotermal Sericítica, dentro de un ambiente de tipo Pórfido, caracterizada por la presencia de dos asociaciones minerales, cuya variación depende principalmente del cambio composicional de la litología que afecta. La primera asociación se caracteriza por la presencia de clorita-sercita, donde la Clorita se restringe únicamente a la litología del granito, como resultado de la alteración de los minerales máficos presentes en la roca caja, como biotitas y anfíboles. Junto con esta asociación se encuentra la formación de epidota como halos de alteración de las vetillas que cortan a la roca granítica. La segunda asociación, y la más abundante, se caracterizan por la presencia de illita-sercita, la cual afecta en mayor medida al pórfido riolítico. Se

presenta una etapa final de alteración hidrotermal caracterizada por la presencia de carbonatos (ankerita y dolomita) como vetillas que cortan todos los eventos anteriores de alteración hidrotermal, y como agregados masivos que se superponen a dichos eventos.

Se reconocieron cuatro etapas principales de mineralización en el área del prospecto Violetal. La secuencia paragenética y evolución de las etapas sugieren que la precipitación de los minerales de mena se presentó bajo un ambiente de transición de un sistema de pórfido Cu-Mo, caracterizado por la presencia de vetillas tipo B (Etapa 1;  $Qz+Mo+Py\pm Ccp\pm Sp$ ) siendo cortadas por vetillas tipo D (etapa 2;  $Qz+Py\pm Ccp\pm Spc$ ) bajo una zona dominada por la alteración Sericítica (illita-sericita-clorita), a un sistema epitermal Au-Ag y metales base de intermedia sulfuración, caracterizado por la mineralización en venas de  $Sp+Py+Qz$  (Etapa 3) y en brechas hidrotermales de  $Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  junto con sulfosales ricas en Ag como la freibergita y la argentotennantita (con Te y Bi), sulfosales de Te como la goldfieldita, telurios de Bi como la tetradymita, sulfuros de Bi como la emplectita, kupcikita y felbertalita (con presencia de Pb), y ocurrencias de sulfuros de Cu y Sn como la mawsonita (Etapa 4).

La presencia significativa de agregados aislados de Mag dentro de las brechas freáticas en las zonas de la alteración Sericítica, posiblemente corresponden a remanentes de la Mag formada en zonas más profundas, asociadas a la alteración Potásica, evidenciando el grado de superposición de los eventos hidrotermales dentro del prospecto Violetal.

La presencia de una gran cantidad de minerales de Bi dentro de la etapa epitermal de intermedia sulfuración sugiere condiciones favorables para la mineralización de

Au, donde los mecanismos de interacción de fluidos acuosos con fluidos polimetálicos ricos en Bi representan significativamente procesos de enriquecimiento de Au, donde el Bi actúa como un colector de Au, elevando sus concentraciones y extensión en la zona. La alta presencia de minerales de Bi puede estar asociada a los altos tenores de Au reportados para los depósitos del Distrito Minero Vetas – California, que se encuentran espacialmente relacionados a la zona del prospecto Violetal.

Los análisis de microtermometría de inclusiones fluidas de la primera y cuarta etapa de mineralización sugieren que fluidos que generaron estas mineralizaciones dentro del prospecto Violetal están compuestos por sistemas acuosos-salinos de H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O-MgCl<sub>2</sub>-CaCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O-KCl-CaCl<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O-CaCl<sub>2</sub>.

Las inclusiones fluidas de la primera etapa de mineralización, caracterizada por la paragénesis Qz+Mo+Py±Ccp±Sp, presentan temperaturas de homogenización de 220°C a 435°C para las inclusiones fluidas ricas en líquido (tipo I), y de 379°C a 500°C para las inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo II). Los valores de salinidad se encuentra generalmente entre 15 Wt.%NaCl y 26 Wt.%NaCl, con algunos valores de 39 Wt.%NaCl asociados a inclusiones trifásicas hipersalinas (tipo III). Las densidades presentan variación entre 0,71 – 1,03 (g/cc). La variación de los datos en los diagramas de salinidad y temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas de esta etapa de mineralización sugieren que los principales mecanismos de formación de los fluidos mineralizantes fueron los procesos de ebullición y mezcla de fluidos. Estos diagramas también evidencian que esta etapa se formó bajo condiciones de un ambiente porfirítico, sugiriendo una etapa de transición hacia el ambiente epitermal.

Las inclusiones fluidas de la cuarta y última etapa de mineralización, caracterizada por la paragénesis  $Qz+Ccp+Tnt-Ttr\pm Gn\pm Au\pm Clv$  junto con sulfosales de Ag y sulfuros de Cu con contenidos de Te y Bi, presentan temperaturas de homogenización de 147°C a 219°C para inclusiones fluidas ricas en líquido (tipo I). Los valores de salinidad se encuentra generalmente entre 6 Wt.%NaCl y 12 Wt.%NaCl. Las densidades presentan variación entre 0,89 – 0,99 (g/cc). La variación de los datos en los diagramas de salinidad y temperatura de homogenización de las inclusiones fluidas de esta etapa de mineralización sugieren que el principal mecanismo de formación de los fluidos mineralizantes fue la ebullición. Estos diagramas también evidencian que esta etapa se formó bajo condiciones de un ambiente de tipo epitermal.

La composición de las diferentes etapas de mineralización de menas que se presentan en las muestras estudiadas del prospecto Violetal sugiere que en el área se presenta un sistema transicional de depósito de tipo Pórfido de Cu-Mo, a depósito epitermal de Au-Ag de intermedia sulfuración, y la superposición de estas etapas sugiere que posiblemente el sistema se encuentra abierto, y en mayor profundidad se pueda encontrar la zona de mayor bonanza de Cu, caracterizada por la presencia de una alteración potásica.

## 8. RECOMENDACIONES

Realizar una etapa de re-logueo con todos los núcleos de perforación existentes para el área del prospecto de Violetal, con el fin de realizar un modelamiento del depósito.

Realizar un análisis estructural en la zona de estudio, con el fin de reconocer las principales estructuras que controlan el estilo de mineralización del prospecto Violetal.

La realización de estudios en isotopos estables para determinar la proveniencia de los fluidos que originaron la mineralización en el prospecto de Violetal.

La realización de análisis de petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas en las venas o minerales correspondientes a los demás eventos reconocidos dentro del área del prospecto Violetal, a diferentes profundidades, para así poder tener una mejor comprensión de la evolución de los fluidos mineralizantes.

## BIBLIOGRAFÍA

BARBOSA, S.T. 2016. EVOLUCIÓN DEL SISTEMA HIDROTHERMAL DEL PROSPECTO LA PLATA, DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA. Tesis de grado Geología, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Físico-Química, Escuela de Geología.

BEANE, R.E. 1983. The magmatic–meteoric transition. Geothermal Resources Council, Special Report 13, 245–253.

CEDIEL, F., SHAW, R.P. and CACERES, C. 2003. Tectonic assembly of the northern Andean block. In: Bartolini, C., Buffler, T., Blickwede, J. (Eds.), The Circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics. AAPG Memoir, 79: 815-848.

CHINCHILLA, D., RODRIGEZ, A., PIÑA, R., ORTEGA, L., LUNAR, R., QUESADA, C. and VALVERDE, A. 2012. A mineralogical and fluid inclusion study of the Patricia Zn-Pb-Ag Deposit (Paguanta, NE Chile). 3 p.

CORBET, G. and LEACH, T. 1997. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization. Short Course Manual. 318 p.

CRUZ, N., CARRILLO, J. y MANTILLA, L.C. 2014. Consideraciones Petrogenéticas y Geocronología de las Rocas Ígneas Porfíricas Aflorantes en la Quebrada Ventanas (Municipio Arboledas, Norte de Santander, Colombia): Implicaciones Metalogenéticas. Boletín de Geología, 36(1): 103 – 118.

DENGO, C. and COVEY, M. 1993. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 77: 1315-1337.

EINAUDI, M., HEDENQUIST, J. and INAN, E. 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *SEG Special Publication* 10. 50 p.

GALVIS, V. J. 1998. Una Caldera Volcanica en el macizo de Santander, Colombia. *Revista Academica Colombiana de Ciencias*, 22(84): 355-362.

GARCÍA, C. y RÍOS, C. 1999. Metamorfismo y metalogénia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe final Proyecto de Investigación 1102-05-083-95 Colciencias-Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga), pp. 1-191.

GOLDSMITH, R., MARVIN, R. and MEHNERT, H. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 750-D: 41-49.

HEDENQUIST, J.W. and RICHARDS, J.P. 1998. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits: *Reviews in Economic Geology*, 10: 235–256

HENLEY, R.W. and ELLIS, A.J. 1983. Geothermal systems ancient and modern: a geothermal review. *Earth Sciences Review*, 19: 1-50.

HODGSON, C. 1989. The Structure of Share-Related, Vein-Type Gold Deposits: A Review. *Ore Geology Reviews*, 4: 231-273.

INESON, P.R. 1989. Introduction to Practical Ore Microscopy. Longman Scientific & Technical. Longman Earth Science Series. 171p.

JULIVER, M. 1959. Geología de la Vertiente W del Macizo de Santander en el sector de Bucaramanga. Boletín de Geología, 3: 15-34.

MANTILLA, L., VALENCIA, V., BARRA, F., PINTO, J., y COLEGIAL, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del Distrito aurífero de Vetas-California (Departamento de Santander, Colombia). Boletín de Geología, 31(1): 31-43.

MANTILLA, L., MENDOZA, H., BISSIG, T. y CRAIG, T. 2011. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Mioceno en el Distrito Minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, 33(1): 43-58.

MANTILLA, L., BISSIG, T., COTTLE, J. and HART, C. 2012. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). Journal of South American Earth Sciences, 38: 1-12.

MANTILLA, L., BISSIG, T., VALENCIA, V. and HART, C. 2013. The Magmatic History of the California-Vetas Mining District, Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. Journal of South American Earth Sciences, 45: 235-249.

MANTILLA, L., GARCÍA, C.A. y VALENCIA, V. 2016. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en zircones detríticos. Boletín de Geología, 38(1): 33-47

MENDOZA, H. y JARAMILLO, L. 1979. Geología y geoquímica del área de California, Santander. Boletín Geológico Ingeominas, 22 (2): 3-52.

PINILLA, O.J. y REYES, S.A. 2013. Estudio del Magmatismo Miocénico en el Distrito Minero de Vetas-California (Departamento de Santander, Colombia). Tesis de grado Geología, Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad Fisico-Química, Escuela de Geología.

PIRAJNO, F. 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Geological Survey of Western Australia, Perth, WA, Australia, 1273 p.

RALEY, C. 2012. Mineralogical characterization of sulfide mineralization, alteration and microthermometry of related fluid inclusions of the Plata prospect, Colombia. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of bachelor of Science (honours) in the faculty of science. University of British Columbia (Vancouver). 75 p.

RAMDOHR, P. 1969. The Ore Minerals and Their Intergrowths. Pergamon Press, London. 1179 p.

REYNOLDS, T.J. and BEANE, R.E. 1985. Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit: Economic Geology, 80: 1328 – 1347.

RÍOS, C., GARCÍA, C. and TAKUSA, A. 2003. Tectono-metamorphic evolution of the Silgara Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences, 16: 133-154.

RODRIGUEZ, L. 2014. Geology, alteration, mineralization and hydrothermal evolution of the La Bodega - La Mascota deposits, California-Vetas Mining District, Eastern Cordillera of Colombia, Northern Andes. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the faculty of

graduate and postdoctoral studies (Geological Sciences). University of British Columbia. 471 p.

ROEDDER, E. 1971. Fluid Inclusion Studies on the Porphyry-Type Ore Deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. *Economic Geology*, 66: 98 – 120.

ROEDDER, E. 1984. Fluid Inclusions, Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy*, 12, 644 pp.

ROYERO, J.M. y CLAVIJO, J. 2001. Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bucaramanga, 91p.

SCHWARTZ, G.M. 1951. Classification and Definitions of Textures and Mineral Structures in Ores. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, 46: 578-591

SILLITOE, R. 2010. Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologists, *Economic Geology*, 105: 3-41.

SILLITOE, R. and HEDENQUIST, J. 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. *SEG Special Publications*, 10: 315-343.

TOOTH, B., BRUGGER, J., CIOBANU, C. and LIU, W. 2008. Modeling of gold scavenging by bismuth melts coexisting with hydrothermal fluids. *The Geological Society of America. Geology*, 36: 815-818.

TSCHANZ, C., MARVIN, R., CRUZ, B., MEHNERT, H. and CEBULLA, C. 1974. Geologic Evolution of Sierra Nevada de Santa Martha, Northerastern Colombia. Geological Society of American Bulletin, 85: 273-284.

VAN DEN KERKHOFF, A.M. and HEIN, U.F. 2001. Fluid inclusions petrography. Lithos, 55: 27-47.

VAN DER HILST, R. and MANN, P. 1994. Tectonic implication of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. Geology, 22: 451–454.

VELASCO, F. 2004. Introducción al Estudio de las Inclusiones Fluidas. Departamento de Mineralogía y Petrología Universidad del País Vasco (España). 98 p.

VILLAGÓMEZ, D., SPIKINGS, R., MORA, A., GUZMÁN, G., OJEDA, G., CORTÉS, E. and VAN DER LELIJ, R. 2011. Vertical tectonics at a continental crust-oceanic plateau plate bounday zone: fission Track thermochronology of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Tectonics, 30: 1-18.

VOUDOURIS, P. 2006. A comparative mineralogical study of Te-rich magmatic-hydrothermal systems in northeastern Greece. Mineralogy and Petrology, 87: 241 – 275.

WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J. y RESTREPO, H. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Boletín de Geológico Ingeominas 21: 1-132.

WHITNEY, D.L. and EVANS, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming mineralas. American Mineralogist, 95: 185 – 187.

WILKINSON, J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55, 229 – 272.

## ANEXOS

A. Lista de los núcleos de perforación; Formatos de logueo de los 31 núcleos de perforación del prospecto Violetal; Resumen de las características de las vetillas presentes en las muestras.\*

B. Formato de Caracterización con el Terraspec de los 31 Núcleos de Perforación del prospecto Violetal.\*

C. Formatos de Petrografía de 15 secciones delgadas pulidas del prospecto Violetal.\*

D. Formatos de Caracterización con el microscopio electrónico de barrido (SEM) de 2 secciones delgadas pulidas del prospecto Violetal.\*

E. Formatos de petrografía y microtermometría de 2 secciones delgadas doblemente pulidas del prospecto Violetal.\*

\*Ver anexos en la carpeta adjunta