

DETERMINACIÓN MINERALÓGICA Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL  
PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA (DMVC),  
SANTANDER, COLOMBIA.

JAVIER EDUARDO HERNÁNDEZ BOBADILLA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2017

DETERMINACIÓN MINERALÓGICA Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL  
PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA (DMVC),  
SANTANDER, COLOMBIA.

JAVIER EDUARDO HERNÁNDEZ BOBADILLA

Trabajo de grado para optar al título de  
Geólogo

Director

JULIÁN ANDRÉS LÓPEZ ISAZA  
Geólogo Magister en Ciencias-geología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2017

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi padre, a mi madre y a mi hermana, por ser mi constante apoyo en los momentos de grandes dificultades durante mi carrera. A mis abuelitas por todo el apoyo que me han dado en cada instante. Y por último a todas aquellas personas que me han acompañado en este largo camino.

En memoria de Camilo Alfonso Ríos Pinzón

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Msc. Julián López, por sus enseñanzas, su paciencia, consejos y demás aportes a lo largo de mi carrera y en especial en este trabajo.

A la empresa Eco Oro Minerals, quien, con su ayuda con las muestras y los datos geoquímicos, permitieron que este proyecto se desarrollara. En especial un agradecimiento a el Ingeniero Rafael Ardila y al Geólogo Alfonso Silva

Al Profesor Msc. Juan Carlos Molano, quien con su apoyo me permitió desarrollar parte del trabajo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Al profesor Ph.D. Carlos Alberto Ríos Reyes, y al Laboratorio de Microscopía del Parque Tecnológico Guatigará 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.

A los geólogos Leonardo Santacruz, Andrés González, Ricardo Molano, quienes con sus indicaciones se completó el estudio de las inclusiones fluidas.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>22</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>23</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>24</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>26</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>30</b>
5.1 FASE DE ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y ESTUDIO DE MICROTERMOMETRÍA .....	30
5.2 FASE DE INTERPRETACIÓN .....	33
<b>6. GENERALIDADES</b> .....	<b>34</b>
6.1 LOCALIZACIÓN.....	34
6.2 VÍAS DE ACCESO .....	34
6.3 FISIOGRAFÍA Y CLIMA.....	35
6.4 HIDROLOGÍA.....	35
<b>7. GEOLOGÍA</b> .....	<b>38</b>
7.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	38
7.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	41
7.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	44
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
8.1 PETROGRAFÍA .....	46
8.1.1 Composición litológica y asociación de minerales indicadores de alteración hidrotermal.....	46
8.1.2 Litología .....	47

8.1.3	Minerales de alteración hidrotermal.....	53
8.1.3.1	Alteración Clorita – Epidota.....	53
8.1.3.2	Alteración Clorita – Sericita.....	55
8.1.3.3	Alteración Illita – Sericita.....	57
8.1.3.4	Alteración Ankerita.....	59
8.1.3.5	Alteración supergena.....	60
8.1.4	Mineralogía de Mena.....	60
8.1.5	Textura de la mineralogía de mena.....	65
8.1.6	Textura del cuarzo hidrotermal.....	67
8.1.7	Vetillas y brechas.....	69
8.1.8	Secuencia paragenética.....	70
8.2	ESPECTROMETRIA RAMAN Y MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS.....	83
8.2.1	Petrografía de inclusiones fluidas.....	85
8.2.2	Adquisición y procesamiento de datos de microtermometría.....	95
8.2.3	Espectrometría Raman de Inclusiones Fluidas.....	103
8.3	GEOQUÍMICA.....	107
8.3.1	Análisis estadístico.....	107
<b>9.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>115</b>
9.1	ALTERACIONES HIDROTERMALES.....	115
9.2	MICROTERMOMETRIA Y MICRORAMAN DE INCLUSIONES FLUIDAS.....	118
9.3	ANALISIS MULTIELEMENTEAL DE SUELOS.....	124
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>127</b>
<b>11.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>130</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>131</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización general del área de estudio.....	36
<b>Figura 2.</b> Vías de acceso para llegar al cerro Violetal .....	37
<b>Figura 3.</b> Geología del área de estudio. ....	44
<b>Figura 4.</b> Fallas que delimitan al cerro Violetal. ....	45
<b>Figura 5.</b> Imágenes del pórfido riolítico de la muestra VI-08-01 6916598.....	50
<b>Figura 6.</b> Muestra VI-08-01 6964977 correspondiente a un granito .....	51
<b>Figura 7.</b> Muestra VI-08-04 6916574 que corresponde a una brecha tectónica.....	56
<b>Figura 8.</b> Alteración clorita – Epidota.....	55
<b>Figura 9.</b> Alteración clorita – sericita. ....	56
<b>Figura 10.</b> Alteración illita – Sericita .....	58
<b>Figura 11.</b> Alteración Ankerita .....	59
<b>Figura 12.</b> Texturas del cuarzo hidrotermal.....	68
<b>Figura 13.</b> Imágenes de la muestra VI-08-01 6916680 .....	72
<b>Figura 14.</b> Imágenes de la muestra VI-08-01 6916679.....	74

<b>Figura 15.</b> Imagen de la muestra VI-08-01 6916676.....	76
<b>Figura 16.</b> Imagen de la muestra VI-08-03 6268154.....	78
<b>Figura 17.</b> Imagen de la muestra VI-08-04 6268456.....	80
<b>Figura 18.</b> Imagen de la muestra VI-08-01 6916536.....	81
<b>Figura 19.</b> Imagen de la muestra VI-08-01 6964995 .....	82
<b>Figura 20.</b> Muestras analizadas en la técnica de microtermometría .....	84
<b>Figura 21.</b> Secciones doblemente pulidas para microtermometría .....	89
<b>Figura 22.</b> Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.....	90
<b>Figura 23.</b> Resultado de la espectrometría Raman, para la Muestra VI-08-04 6268456, chip 3, FIA 1, inclusión 1. ....	105
<b>Figura 24.</b> Espectros Raman y longitudes de onda, para las diferentes clases de gases en inclusiones fluidas .....	106
<b>Figura 25.</b> Zonación de alteraciones presentes en el sistema pórfido .....	116
<b>Figura 26.</b> Temperaturas eutecticas de sistemas agua-sal, para sistemas mas comunes en las inclusiones fluidas .....	119

**Figura 27.** Esquema de temperatura – salinidad, donde se observan los rangos de salinidad y temperatura para los diferentes depósitos. .... 120

**Figura 28.** Esquema de temperatura – salinidad, donde se observan los rangos de salinidad y temperatura para los diferentes depósitos. .... 121

**Figura 29.** Sección esquemática mostrando tres regímenes de evolución del fluido ..... 123

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Muestras analizadas en el desarrollo de este trabajo .....	52
<b>Tabla 2.</b> Resumen de la mineralogía de mena, para el prospecto Violetal, identificados en las secciones delgadas pulidas .....	61
<b>Tabla 3.</b> Eventos mineralizantes identificados en las muestras del prospecto Violetal .....	69
<b>Tabla 4.</b> Tabla con los minerales de la secuencia paragenéticas. ....	83
<b>Tabla 5.</b> Descripción de las características de las inclusiones fluidas en las muestras del prospecto Violetal. ....	85
<b>Tabla 6.</b> Tablas con las descripciones de las inclusiones fluidas analizadas en las muestras VI-08-03 6268154 y VI-08-04 6268456. ....	97
<b>Tabla 7.</b> Datos estadísticos para cada uno de los elementos analizados, que permitieron el desarrollo de los mapas de anomalías. ....	109
<b>Tabla 8.</b> Tablas con los datos los intervalos de las anomalías, para los elementos estudiados del prospecto Violetal. ....	110
<b>Tabla 9.</b> Contenido promedio de los elementos químicos en suelos. ....	124

## LISTA DE ANEXOS

**ANEXO 1.** Lista de las muestras de núcleos extraídas por la empresa eco-oro minerals corporation (EOM), en el cerro de Violetal.

**ANEXO 2.** Especificaciones microscopio Leica DM75OP.

**ANEXO 3.** Montaje del equipo de inclusiones fluidas, utilizado en este trabajo.

**ANEXO 4.** Montaje del equipo utilizado en el estudio de micro-Raman.

**ANEXO 5.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 6.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 7.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 3, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 8.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 3, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 9.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 4, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 10.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 4, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 11.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 2, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico.

**ANEXO 12.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 3, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito. La ubicación del cristal dentro del chip es en el centro del mismo. Las inclusiones analizadas se encuentran en hacia el exterior del cristal.

**ANEXO 13.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 3, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 14.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 3, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 15.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 2, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 16.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 2, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 17.** Inclusión fluida presente en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 18.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 19.** Inclusión fluida presente en el cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-03 6268154 que corresponde a un granito.

**ANEXO 20.** Resultado micro-Raman para muestra vi-08-04 6268456, chip 3, FIA 3, inclusión 1

**ANEXO 21.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 5, FIA 1, inclusión 1

**ANEXO 22.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 5, FIA 2, inclusión 1

**ANEXO 23.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 7, FIA 1, inclusión 2

**ANEXO 24.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 7, FIA 3, inclusión 2

**ANEXO 25.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 8, FIA 1, inclusión 1

**ANEXO 26.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-04 6268456, chip 8, FIA 2, inclusión 1

**ANEXO 27.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-03 6268154, chip 3, FIA 1, inclusión 2

**ANEXO 28.** Resultado micro-Raman para muestra VI-08-03 6268154, chip 3, FIA 2,

**ANEXO 29.** Mapa base con puntos de muestras de suelos para elementos

**ANEXO 30.** Mapa de anomalías de suelos para Au

**ANEXO 31.** Mapa de anomalías de suelos para Al

**ANEXO 32.** Mapa de anomalías de suelos para As

**ANEXO 33.** Mapa de anomalías de suelos para Ba

**ANEXO 34.** Mapa de anomalías de suelos para Bi

**ANEXO 35.** Mapa de anomalías de suelos para Ca

**ANEXO 36.** Mapa de anomalías de suelos para Cd

**ANEXO 37.** Mapa de anomalías de suelos para Co

**ANEXO 38.** Mapa de anomalías de suelos para Cr

**ANEXO 39.** Mapa de anomalías de suelos para Fe

**ANEXO 40.** Mapa de anomalías de suelos para K

**ANEXO 41.** Mapa de anomalías de suelos para Mg

**ANEXO 42.** Mapa de anomalías de suelos para Mn

**ANEXO 43.** Mapa de anomalías de suelos para Mo

**ANEXO 44.** Mapa de anomalías de suelos para Na

**ANEXO 45.** Mapa de anomalías de suelos para Ni

**ANEXO 46.** Mapa de anomalías de suelos para Pb

**ANEXO 47.** Mapa de anomalías de suelos para S

**ANEXO 48.** Mapa de anomalías de suelos para Sb

**ANEXO 49.** Mapa de anomalías de suelos para Sr

**ANEXO 50.** Mapa de anomalías de suelos para Ti

**ANEXO 51.** Mapa de anomalías de suelos para Ga

**ANEXO 52.** Mapa de anomalías de suelos para W

**ANEXO 53.** Mapa de anomalías de suelos para Zn

**ANEXO 54.** Mapa de anomalías de suelos para U

**ANEXO 55.** Mapa de anomalías de suelos para Th

**ANEXO 56.** Mapa de anomalías de suelos para P

**ANEXO 57.** Mapa de anomalías de suelos para La

**ANEXO 58.** Mapa de anomalías de suelos para B

**ANEXO 59.** Mapa de anomalías de suelos para Sc

**ANEXO 60.** Mapa de anomalías de suelos Se.

**ANEXO 61.** Mapa de anomalías de suelos para Ag

**ANEXO 62.** Mapa de anomalías de suelos para Cu

**ANEXO 63.** Mapa de correlación As-Au

**ANEXO 64.** Mapa de correlación Ag-Au

**ANEXO 65.** Mapa de correlación As-Ag

**ANEXO 66.** Mapa de correlación As-Cu

**ANEXO 67.** Mapa de correlación Ba-Ag

**ANEXO 68.** Mapa de correlación Ba-Pb

**ANEXO 69.** Mapa de correlación Ba-Zn

**ANEXO 70.** Mapa de correlación Mn-Co

**ANEXO 71.** Mapa de correlación Mn-Cu

**ANEXO 72.** Mapa de correlación Mn-Ni

**ANEXO 73.** Mapa de correlación Mo-Cu

**ANEXO 74.** Mapa de correlación Sb-Au

**ANEXO 75.** Mapa de correlación Se-S

**ANEXO 76.** Mapa de correlación Zn-Ag

**ANEXO 77.** Mapa de correlación Zn-Pb

**ANEXO 78.** Formato de descripción de secciones delgadas pulidas.

NOTA: Los Anexos se encuentran adjuntos en el CD y pueden ser visualizados en la base de datos de biblioteca, en la Universidad Industrial de Santander.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DETERMINACIÓN MINERALÓGICA Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL PROSPECTO VIOLETAL, DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA (DMVC), SANTANDER, COLOMBIA\*.

**AUTOR:** Javier Eduardo Hernández Bobadilla\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Prospecto, inclusiones fluidas, sistema pórfido, anomalías.

El distrito minero de Vetas – California (DMVC), representa una zona de interés minero, ya que, en la historia geológica del sector, se han presentado eventos magmáticos de gran importancia que pueden ser los precursores de formación de yacimientos minerales. Para el prospecto Violetal, ubicado en la parte central del distrito minero, se han reconocido mediante análisis petrográficos en muestras de núcleos facilitados por la empresa Eco Oro Minerals Corporation, 4 alteraciones hidrotermales; de las cuales la más abundante, es la alteración sericitica.

Esta alteración se encuentra en rocas de composición graníticas, siendo estas cortadas por unas rocas porfiríticas; las cuales son fuente de los fluidos magmáticos que aportan la mineralización del prospecto. Los eventos reconocidos en el prospecto Violetal, corresponden a depositación de menas de Cobre, plomo y molibdeno. Mediante análisis de asociaciones de inclusiones fluidas de algunos eventos del prospecto, se evidenciaron temperaturas de homogenización (250°C - >400°C) y salinidades superiores a 15 Wt% NaCl, asociadas a un sistema pórfido; por otro lado, se evidenciaron temperaturas de homogenización inferiores a 250° con bajas salinidades, asociadas a un sistema epitermal. Estas temperaturas dan cuenta, de que las muestras del prospecto Violetal, se encuentran en una zona de transición entre un sistema de tipo pórfido a un sistema de tipo epitermal, además se cuentan con evidencias de otros estudios que así lo demuestran.

Adicionalmente se realizaron análisis de concentración de elementos, en muestras de suelos recolectadas en Violetal y sus alrededores. Estas concentraciones de elementos fueron tratadas estadísticamente para determinar anomalías, mostrando que para el área de Violetal, hay altas concentraciones de Cu, Mol, Ag y Au; y que pueden ser correlacionados con los análisis petrográficos de otros autores para el prospecto Violetal.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director Julián Andrés López Isaza Geólogo Msc.

## ABSTRACT

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

**AUTHOR:** Javier Eduardo Hernández Bobadilla\*\*

**KEY WORDS:** Prospect, Fluid Inclusions, Porphyry System, Anomalies.

The mining district of Vetás - California (DMVC), represents an area of mining interest, because, in the geological history of the sector, there have been magmatic events of great importance that may be the precursors of formation of mineral deposits. For the Violetal prospect, located in the central part of the mining district, 4 hydrothermal alterations have been recognized through petrographic analyzes and core samples provided by the company Eco Oro Minerals Corporation; Of which the most abundant, is the sericitic alteration.

This alteration is found in rocks of granitic composition, being these cut by porphyritic rocks; Which are source of the magmatic fluids that seek the mineralization of the prospect. The events recognized in the Violetal prospect, correspond to a deposit of copper, lead and molybdenum ores. (250 ° C -> 400 ° C) and salinity greater than 15% by weight of NaCl, associated with a porphyry system; On the other hand, homogenization temperatures were lower than 250 ° with low salinities, associated to an epithermal system. These account temperatures, from the Violetal prospect samples, are in a transition zone between a porphyry type system to an epithermal type system. In addition, there is evidence of other studies that demonstrate this.

Additionally, element concentration analysis was performed on soil samples collected in Violetal and surroundings. These concentrations of elements were treated statistically to determine anomalies, showing that for the Violetal area, there are high concentrations of Cu, Mo, Ag and Au; and this can be correlated with the petrographic analysis of other authors for the Violetal prospect.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director Julián Andrés López Isaza Geologist MSc

## INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo, modalidad trabajo de investigación, es determinar mineralógicamente y caracterizar geoquímicamente el prospecto Violetal, ubicado en el cerro que lleva el mismo nombre en el Distrito Minero de Vetas y California (DMVC), enfatizando en las asociaciones minerales, el control estructural de las mineralizaciones en las rocas, tipos de alteración y composición del fluido de emplazamiento en las estructuras presentes.

Este estudio pretender aportar al conocimiento geológico, con énfasis en yacimientos minerales, que permitirá según los resultados, el desarrollo a futuro de operaciones mineras en Violetal. El interés académico de desarrollar este trabajo, se da para tener un mejor conocimiento de los procesos magmáticos-hidrotermales, que han tenido lugar en la zona de la cuchilla, además de conocer como estos procesos pudieran haber desarrollado un yacimiento mineral en la zona. Por otra parte, también hay un interés profesional, que permita establecer la viabilidad de un proyecto minero, por parte de la compañía patrocinante de este proyecto.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el desarrollo del presente trabajo, se busca responder a las siguientes preguntas de investigación que están relacionadas con las litologías y sus estilos de mineralización reportadas en los trabajos de los últimos años del área. ¿Cuáles son los tipos de alteraciones presentes en las rocas? ¿Qué tipo de estructuras (Vetillas, venas, brechas) se encuentran en la roca? ¿Cuáles son las asociaciones mineralógicas cristalizadas en las estructuras? ¿Cómo fue el proceso de cristalización de los minerales a partir del fluido mineralizante? ¿Qué elementos de interés se encuentran incluidos en las estructuras?, De acuerdo con lo anterior, este trabajo pretende determinar asociaciones mineralógicas y caracterización geoquímica de anomalías de superficie en el prospecto Violetal, con el fin de resolver estas preguntas y aportar información base que fundamente el desarrollo de futuras labores de exploración en el prospecto.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el DMVC, ha sido objetivo de diferentes estudios enfocados al reconocimiento de las diferentes litologías, y los procesos tectónicos y magmáticos que han tenido lugar en la historia geológica. (Mantilla<sup>1,2,3</sup>). A pesar de que estos estudios han tenido un gran valor en el conocimiento del DMVC y en temas relacionados a la exploración minera, son trabajos muy generales que no dan un enfoque puntual en áreas de gran interés para explotación minera. Para las zonas circundantes al cerro Violetal se tienen trabajos cartográficos, estructurales y petrológicos que permiten determinar ciertas características de interés (litologías mineralizadas, anomalías de suelos, identificación de minerales) y por tanto sugieren que la zona de Violetal puede convertirse en un Target de gran interés. Dando respuesta a cada una de las preguntas planteadas del problema, se podrá soportar la idea de Violetal como un gran prospecto minero.

---

<sup>1</sup> MANTILLA, Luis; VALENCIA, Víctor; BARRA, Fernando; PINTO, Jorge; COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfíricos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). Boletín de geología. 2009. Vol. 31.

<sup>2</sup> MANTILLA, Luis; MENDOZA, Hernando; BISSIG, Thomas; CRAIG, Hart. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia) Boletín de geología Vol. 33, N°1, enero-junio 2011. Universidad Industrial de Santander.

<sup>3</sup> MANTILLA, Luis; BISSIG, Thomas; VALENCIA, Víctor; CRAIG, Hart. The magmatic history of the Vetas-California mining district, Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. Journal of South American Earth Sciences. 2013. Vol 45.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la determinación mineralógica y geoquímica del prospecto Violetal, estudiando las asociaciones minerales en estructuras, así como texturas y alteraciones en muestras micro y macroscópicas.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinación de asociaciones minerales en secciones delgadas pulidas.
- Caracterización de los fluidos de las mineralizaciones a través de estudios de microtermometría en las inclusiones fluidas del prospecto Violetal.
- Realizar mapas de anomalías de muestras de suelos multielementales.
- Plantear de manera preliminar un modelo del depósito.

#### 4. ESTADO DEL ARTE

En el Distrito minero de Vetas-California se ha realizado en el transcurso de los últimos años gran cantidad de trabajos, los primeros en realizar estudios allí fueron el de La morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga<sup>4</sup>, el cual primeramente reporto rocas graníticas y gneises, reportando que las principales rocas que componen el macizo de Santander son las rocas cristalinas y de las cuales las rocas ígneas (granitoides) son relacionadas a cuerpos intrusivos.

Para principios de los 70's, se reportó cerca del área de Vetas y California, la presencia de tonalitas y granodioritas dentro de lo que Ward<sup>5</sup> denominó plutón de Paramo Rico (que hace parte del denominado grupo plutónico de Santander, con los cuerpos ígneos de Rionegro, Santa Bárbara, Mogotes, Pescadero), predominando la roca tonalítica hacia la parte de Vetas y California, la tonalita tiene composición de plagioclasa, hornblenda, biotita, cuarzo y feldespato potásico; con minerales accesorios como esfena, apatito y óxido de hierro (Ward<sup>6</sup>).

Posteriormente con Evans<sup>7</sup> Geólogo del Servicio Geológico estadounidense y el Instituto Nacional de Investigaciones geológico-mineras (INGEOMINAS), determinaron que las rocas que se encuentran componiendo el macizo de Santander comprenden edades desde el Precámbrico hasta el Cretácico, describiendo el gneis de Bucaramanga como un conjunto de rocas compuestas por esquistos micáceos, esquistos cuarzo-feldespáticos y anfibolitas. Además de

---

<sup>4</sup> La morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga, Colombia, Sudamérica. [Anónimo] Universidad Industrial de Santander Boletín de geología, Vol 1. 1958

<sup>5</sup>WARD, Dwight; GODLSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; RESTREPO, Hernán. Mapa geológico de Colombia, Cuadrángulo H-12 Bucaramanga, planchas 109 Rionegro – 120 Bucaramanga. Cuadrángulo H-13 Pamplona planchas 110 Pamplona – 121 Cerrito. Instituto nacional de Investigaciones Geológico – Mineras. 1973

<sup>6</sup> Ibíd

<sup>7</sup> EVANS, James. Geological and geochemical reconnaissance in the central Santander massif, departments of Santander and Norte de Santander, Colombia. U.S. Geological survey. 1977

identificar cuerpos intrusivos clasificados como cuarzo-monzonitas y alaskitas ricas en cuarzo en las rocas metamórficas del gneis de Bucaramanga, en parte localizados en los alrededores del distrito de Vetas.

Años más tarde León<sup>8</sup> determinaron la paragénesis de los principales yacimientos de oro presentes en el DMVC, reportando Pirita, Galena, Esfalerita, Calcopirita, Marcasita, Oro y Plata; minerales que se encontraban en filones mineralizados presuntamente en un evento Post-tectónico, asociados además a minerales ganga como cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos.

Para Restrepo<sup>9</sup> las rocas del Gneis de Bucaramanga, están compuestas de una asociación de cuarzo-plagioclasa-biotita-andalusita-cordierita±sillimanita o cuarzo-plagioclasa-biotita-silimanita-feldespatos potásicos±granate, lo cual indica un alto grado de metamorfismo. Que en términos generales da una idea de origen sedimentario. Adicionalmente aplicaron estudios de geocronología a dos muestras de gneis anfibolítico mediante el método Ar, las cuales mostraban una pérdida de argón a los -200 Ma. Debido a los espectros obtenidos, estas rocas pudieran tener una edad de 800-900 Ma aproximadamente y además son relacionadas con las rocas Oronoquienses del Macizo de Garzón (Restrepo<sup>10</sup>).

Una descripción de mineralogía de mena más local hacia el distrito minero de California, desarrollada por Mathur<sup>11</sup> identificó en algunas muestras de la zona, la mineralogía correspondiente a un sistema de alta sulfuración (enargita

---

<sup>8</sup> LEÓN, Luis; ZAMBRANO, Jorge; GARCÍA, Hernando. Paragénesis y evaluación de los yacimientos de oro en el distrito minero de Vetas, Boletín de geología Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 1995

<sup>9</sup> RESTREPO, Pedro; RUIZ, Joaquin; GEHRELS, George; COSCA, Michael. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. Earth and Planetary Science Letters 150 (1997) 427-441. 1997

<sup>10</sup> Ibíd

<sup>11</sup> MATHUR, Ryan; RUIZ, Joaquin. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. Journal of South American Earth Sciences 15 (2003) 815-821. 2003

principalmente) con sulfuros de Cu, Cu-Bi, también telurios (Te-Au, Au-Ag-Te, Te nativo) y una asociación de alteración que consiste de cuarzo-alunita y un enriquecimiento de elementos tales como Au, Cu, Ag, Te, Bi, As, Sb y muy localmente W. Mediante estudios de isotopos de Re-Os para muestras de minas activas en el distrito minero de California, Mathur<sup>12</sup> determino una edad de 57 Ma  $\pm$  10 Ma que sugieren que la mineralización de este distrito se pudo haber originado en el vulcanismo del Cretácico tardío al Terciario temprano, además de determinar que la fuente de los metales de la mineralización es cortical.

En relación con lo descrito anteriormente a la edad de las mineralizaciones datadas por Mathur<sup>13</sup>, Mantilla<sup>14</sup> mediante dataciones de circones por el método U-Pb, reconoció un evento magmático de edad 8.4 $\pm$ 0.2 Ma y 9.0 $\pm$ Ma (Mioceno Tardío) el cual es mucho más joven que el descrito anteriormente por el método de Re-Os, y con lo cual es posible sugerir según Mantilla<sup>15</sup>, una relación de las rocas porfiríticas con las mineralizaciones para el área de La baja, Móngora y Violetal en el DMVC. Estas rocas porfiríticas que describe el autor, son aquellas que se encuentran en lo que Galvis<sup>16</sup> denominó una caldera volcánica, que tiene un área circular de 9-10 km cuadrados, además describió rocas con composición de fenocristales de cuarzo bipiramidal y matriz gris (Galvis<sup>17</sup>; Mantilla<sup>18</sup>). A los alrededores de este sector en las zonas de menos meteorización se encuentran rocas sedimentarias, así como depósitos volcánicos (Galvis<sup>19</sup>) y otra clase de pórfido en la cual Mantilla<sup>20</sup> determina una posible relación mediante dataciones U-Pb que es del Vulcanismo del Mioceno Tardío.

---

<sup>12</sup> Ibid.

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit

<sup>15</sup> Ibid

<sup>16</sup> GALVIS-VERGARA, Jaime. Una caldera volcánica en el macizo de Santander, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(84): 355-362. ISSN 0370-3908. 1998

<sup>17</sup> Ibid

<sup>18</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit

<sup>19</sup> GALVIS Op. Cit.

<sup>20</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit.

Mantilla<sup>21</sup> determino nuevas evidencias a las rocas anteriormente descritas, a partir de la identificación de cuerpos ígneos (principalmente diques), en lugares aledaños a la zona de estudio del presente trabajo, las rocas clasificadas como porfiríticas-faneríticas y porfiríticas afanítica de composición andesítica hasta riodacitas (Mantilla<sup>22</sup>), arrojan edades de  $10.1 \pm 0.2$  Ma y  $10.9 \pm 0.2$  Ma, con lo cual las rocas descritas en su trabajo del sector de Hato-viejo, indican que el DMVC fue afectado por un evento magmático de una duración de 2.5 Ma con una relación en los estilos de mineralización allí presentes. (Mantilla <sup>23</sup> y<sup>24</sup>).

Para Mantilla<sup>25</sup> las mineralizaciones que se presentan a partir del magmatismo del Mioceno superior ( $10.9 \pm 0.2$  Ma y  $8.4 \pm 0.2$  Ma) coinciden temporalmente con la reactivación de la falla Bucaramanga - Santa Marta, que probablemente se encuentra relacionada con la acreción del bloque Chocó en el Noroccidente Colombiano.

---

<sup>21</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit.

<sup>22</sup> *Ibíd*

<sup>23</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit.

<sup>24</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit.

<sup>25</sup> MANTILLA *et al* Op. cit.

## **5. METODOLOGIA**

Para poder cumplir con los objetivos y responder las preguntas de este proyecto se llevaron a cabo las siguientes fases y de las cuales se describirán brevemente las fases tres y cuatro:

- Fase de consulta bibliográfica.
- Fase de análisis petrográfico y estudio de microtermometría.
- Fase de interpretación.
- Fase de elaboración de informe final.

### **5.1 FASE DE ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y ESTUDIO DE MICROTERMOMETRÍA**

Para la fase de análisis petrográfico, fueron descritas catorce (14) muestras de núcleos que fueron extraídas por la empresa Eco Oro Minerals Corp. (EOM), en el cerro Violetal (Anexo A). Para el trabajo de descripción macroscópica de muestras se contó con una base de datos, que proporciona información sobre relaciones de corte en las muestras, así como una clasificación de las estructuras y su distribución en la roca. Adicionalmente se realizaron secciones delgadas pulidas de las muestras en los laboratorios de Minerlab Ltda. (Bogotá D.C.); con el ánimo de realizarles descripciones petrográficas utilizando un microscopio (Leica DM750P, Anexo B) facilitado por EOM, así como un microscopio Olympus CX31 en los laboratorios de la Universidad Nacional sede Bogotá. En la descripción de las muestras se utilizó un formato petrográfico de secciones que posibilitó identificar y describir las asociaciones minerales de las menas, así como también texturas y alteraciones. En la toma de fotografías de las secciones delgadas pulidas se utilizó un microscopio Olympus BX-41, con una cámara adaptada en la parte superior de este, que permite tomar imágenes en luz reflejada y transmitida.

En el trabajo de inclusiones fluidas se escogieron dos muestras de secciones delgadas pulidas de las catorce muestras adquiridas por EOM; para seleccionar las mejores muestras se tuvieron en cuenta la secuencia paragenética de cada una de las muestras y a su vez aquellas que tuvieran los eventos más importantes del prospecto. Posteriormente se identificaron los cuarzos más representativos de los eventos y las asociaciones de inclusiones fluidas (FIA's) con las inclusiones más sobresalientes de los cuarzos, las inclusiones se seleccionaron teniendo en cuenta el tamaño, así como su relación líquido-vapor. El fin de este estudio de inclusiones es identificar apropiadamente las características del fluido mineralizante, para ello se identifica la temperatura de homogenización, salinidad y composición.

La preparación de las secciones doblemente pulidas, fue en la empresa MinerLab LTDA. en la ciudad de Bogotá. Teniendo ya las muestras y después de haber hecho la petrografía de inclusiones, se dejaron las dos muestras sumergidas en acetona por un tiempo de 24 horas (tiempo mínimo para que la acetona disuelva la resina de la muestra). Al cabo de las 24 horas se retiraron las muestras de la acetona y se procedió a separar con cuidado las muestras del vidrio para al final obtener los chips de roca, los Chips tenían un área no mayor a 1 cm<sup>2</sup> puesto que un área mayor impedía que entrara en el crisol de cuarzo.

El estudio de microtermometría para inclusiones fluidas se realizó en el laboratorio de "Microscopia y Microtermometría" del departamento de geociencias de la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá; mediante la utilización de un microscopio petrográfico Zeiss AXIO adaptado con una platina de calentamiento THMS600 Limkam (Anexo C), además de una cámara AXIO y manejado desde el computador por un software Lynks32, que permite controlar la fuente de temperatura y por tanto el flujo de nitrógeno a la platina. Usando los objetivos de 10X, 50X y 100X se realizaron las mediciones en las inclusiones fluidas iguales o superiores a un tamaño de 2 µm.

Cada etapa de medición se llevó a cabo descendiendo la temperatura hasta  $-180^{\circ}\text{C}$  y con una máxima de calentamiento de  $550^{\circ}\text{C}$ , durante este intervalo se anotaban las temperaturas eutécticas, fusión inicial de la burbuja, fusión final del hielo, fusión del sólido y temperatura de homogenización; el proceso de enfriamiento se realizaba varias veces en una sola asociación de inclusiones fluidas (FIA's), puesto que algunas inclusiones fluidas se encontraban en diferentes planos del cristal. Debido al tamaño de algunas inclusiones fue difícil medir las temperaturas en la fase de congelamiento, por esto se hizo necesario complementar el análisis de microtermometría con análisis de microRaman, esto con el objetivo de tener una mayor certeza en la composición de la inclusión fluida.

Como se comentó anteriormente se aplicaron a los chips el método de microRaman, para verificar mediante este la composición de las burbujas de las inclusiones, método cualitativo que apoya el cuantitativo de la microtermometría. Los espectros, resultados del trabajo de microRaman, fueron cotejados con la literatura para identificar los compuestos.

Por último, se graficó mediante ArcGis 10.3 un mapa de anomalías en superficie para los 32 elementos de interés, a partir de los datos de muestreo de suelos adquiridos por la empresa EOM en la zona del prospecto Violetal. Los mapas de anomalías geoquímicas se desarrollaron a partir de un análisis geoestadístico de los datos, y que permitieron determinar el background, umbral, fondo regional y diferentes clases de anomalías. Ya con los intervalos de las anomalías definidas se procedió a mapear. Una vez finalizado el ploteo de las anomalías se correlacionaron los valores promedios de los elementos en suelos (*Clarck*), reportados por Hawkes and Webb<sup>26</sup>, para determinar qué tan altas son las concentraciones de los elementos.

---

<sup>26</sup> HAWKES, Herbert, & WEBB, James. Geochemistry in mineral exploration. Harper & Row. 1962

## **5.2 FASE DE INTERPRETACIÓN**

Una vez se obtuvieron los resultados de la petrografía, inclusiones fluidas y geoquímica, se realizó la discusión de acuerdo a los aportes realizados para el área y se discute un modelo para el prospecto Violetal.

## 6. GENERALIDADES

### 6.1 LOCALIZACIÓN

El Distrito Minero de Vetas-California (DMVC, Figura 1); se encuentra ubicado en la región meridional del Macizo de Santander; el cual a su vez forma parte de la cordillera Oriental, distribuida en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Huila, Tolima, Cesar, Guajira, Caquetá, Meta, Casanare, Arauca, Santander y Norte de Santander. Se encuentra además a una distancia de 66 km de la ciudad capital del departamento de Santander, Bucaramanga, y a 3 km de la cabecera municipal de California en el mismo departamento.

En un contexto geológico, el Macizo de Santander hace parte del domino de la subplaca de Maracaibo (Cediel<sup>27</sup>) y está limitado por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, falla de Oca y falla de Boconó (Tschanz<sup>28</sup>, Van der Hilst y Mann<sup>29</sup>) además de pequeñas fallas interiores del macizo que tienen en su mayoría dirección N-S (Geología de la vertiente W del macizo de Santander, en el sector de Bucaramanga<sup>30</sup>).

### 6.2 VÍAS DE ACCESO

---

<sup>27</sup> CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert; CACERES, Carlos. Tectonic assembly of the northern Andean block, in Bartolini C.; Buffler T.; and Blickwede J.; eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*; AAPG Memoir 79, p. 815-848.

<sup>28</sup> TSCHANZ, Charles; MARVIN, Richard; CRUZ, Jaime; MEHNERT, Harald. and CEBULLA, Gerald. *Geologic Evolution of Sierra Nevada de Santa Marta, Northerastern Colombia*, Geol. Soc.Am. Bull., 85: 273-275 1974

<sup>29</sup> VAN DER HILST, Rob, and MANN, Paul. Tectonic implication of tomographic images subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology* 22: 451-454. 1994

<sup>30</sup> Geología de la vertiente W del macizo de Santander, en el sector de Bucaramanga. [Anónimo] Boletín de geología, Vol. 3. Universidad Industrial de Santander. 1959

Para llegar a la cuchilla Violetal, se puede realizar de dos maneras (ver figura 2). La primera de ellas consiste en tomar la carretera desde la ciudad de Bucaramanga, saliendo por el norte de la ciudad, pasando por los municipios de Matanza, Suratá hasta llegar a California. Este trayecto se encuentra alrededor de 54.4 km del punto de partida.

El segundo trayecto consiste en tomar la vía nacional, Bucaramanga – Cúcuta, y realizar un desvío en el municipio de Berlín, pasando por el municipio de Vetas hasta llegar a California. Este trayecto tiene una distancia aproximada de 88 Km.

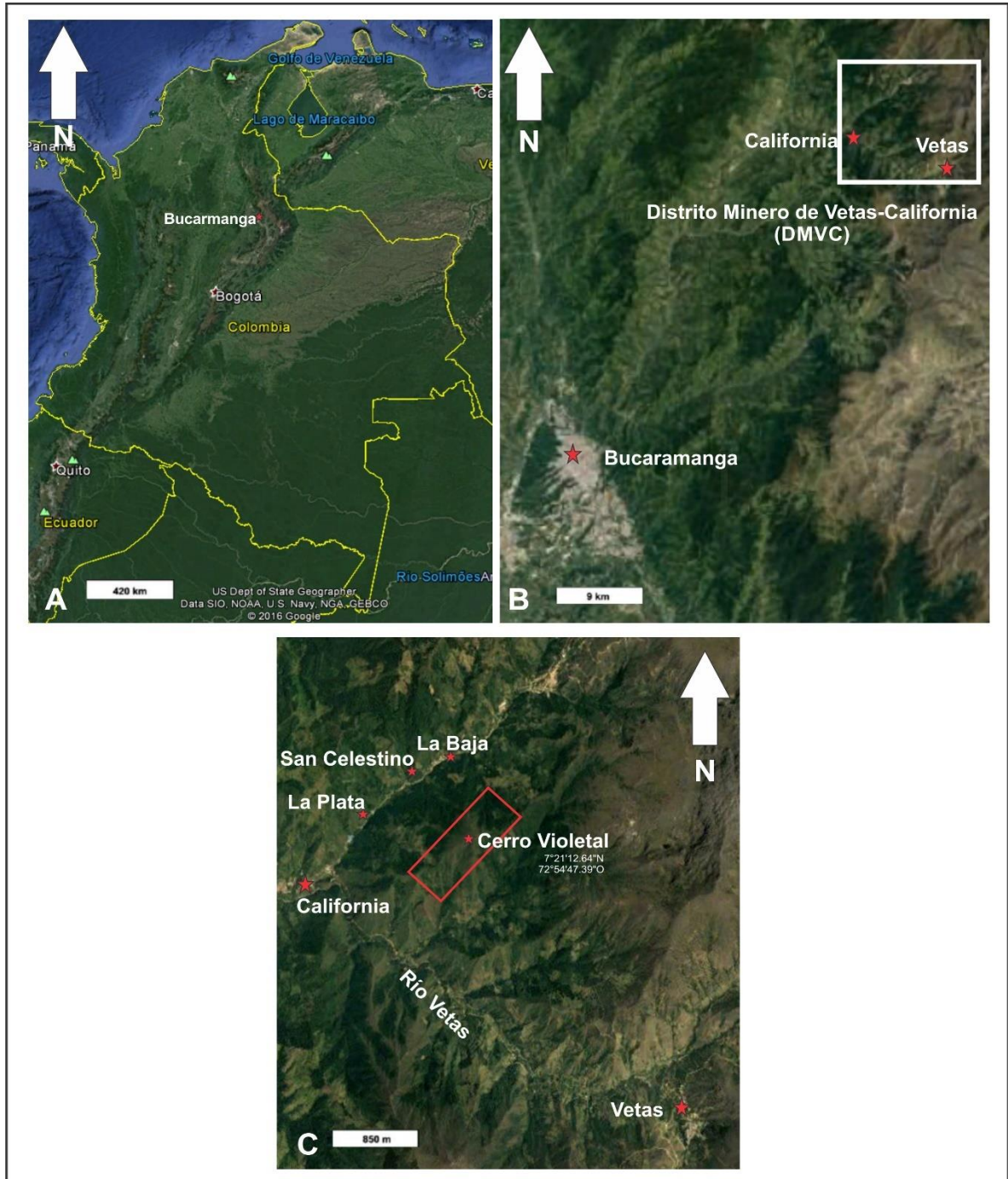
### **6.3 FISIOGRAFÍA Y CLIMA**

En la zona de estudio, resalta el relieve de tipo montañoso, con pendientes superiores a 60°, la principal cobertura vegetal de la zona, son arbustos y rastrojos altos. En algunas zonas de máxima pendiente (~>65°), la ausencia de vegetación deja al descubierto sectores de escarpes. En general el municipio presenta rangos de temperatura de 13°C a 20°C, por tanto, presentando alta humedad.

### **6.4 HIDROLOGÍA**

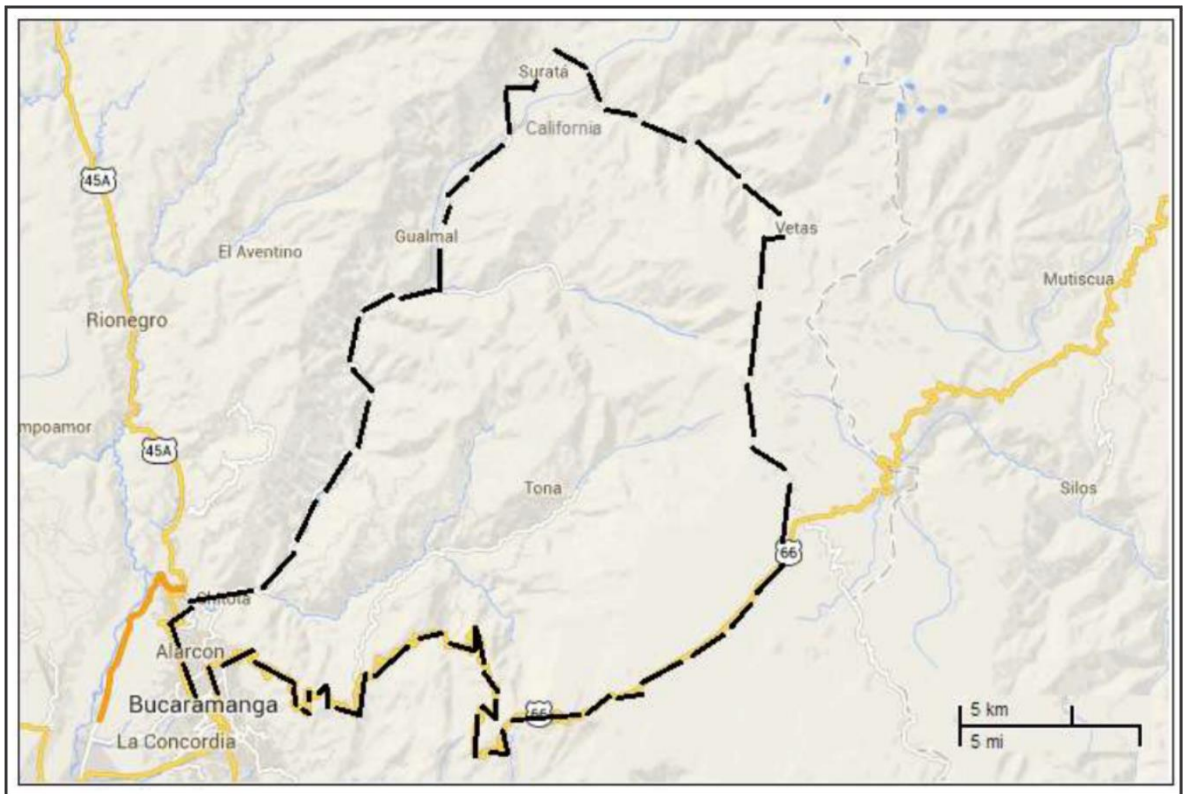
El municipio y sus alrededores pertenecen a la cenca superior del Río Lebrija, subcuenca Río Surata, microcuenca del Río Vetas. Su principal corriente de agua es la Quebrada la Baja la cual pasa por la zona norte de la cuchilla Violetal, con afluentes menores como la quebrada Angosturas, Páez, San Juan, Agua Limpia, entre otros. Todo el sistema de drenaje vierte el agua, hacia el río Vetas.

**Figura 1.** Localización general del área de estudio del presente proyecto. A) Localización de la ciudad capital Bucaramanga ubicada a 66 Km del área de estudio en Santander, Colombia. B) localización del distrito minero de Vetas – California, donde se ubica el cerro Violetal, con respecto a la capital de Santander. C) Localización de los diferentes depósitos con respecto a la cabecera municipal de los municipios de California y Vetas dentro del distrito minero.



**Fuente:** Tomado y modificado de Google earth.

**Figura 2.** Vías de acceso para llegar al cerro Violetal.



**Fuente.** Tomado de Sarmiento y Pérez (2013)

## 7. GEOLOGÍA

### 7.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El distrito minero de Vetas-California (DMVC), ubicado en la cordillera Oriental de Colombia, de acuerdo a Cediel<sup>31</sup> constituyente del dominio de la subplaca de Maracaibo, la cual está limitada en su parte occidental por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, hacia el nororiente por la falla de Boconó y hacia el norte por la falla de Oca; en esencia a Restrepo<sup>32</sup> el macizo de Santander hace parte del terreno Chibcha la cual limita hacia el suroriente con el escudo Amazónico, hacia el sur con el terreno Andaquí, hacia el occidente y noroccidente con el terreno Tahami y al oriente con la frontera Venezolana; sin embargo para Van der Lelij<sup>33</sup> los términos “terreno Chibcha” y terreno “Mérida” son engañosos debido a que fueron identificados en base a datos geocronológicos ambiguos que implican un origen alóctono para las rocas del basamento.

De acuerdo a lo anterior, se debe tener en cuenta que Colombia y por tanto el DMVC son producto de una serie de eventos de acreción de una serie de terrenos alóctonos, así como de diferentes eventos tectono-magmáticos propios de una configuración geodinámica de una zona orogénica. La gran diversidad litológica es resultado de estos eventos que están distribuidos en el tiempo geológico desde el Proterozoico, hasta el Cuaternario.

La gran riqueza litológica con la que cuenta el DMVC y más regionalmente el Macizo de Santander, se distribuye en diferentes unidades la cuales son (en orden

---

<sup>31</sup> CEDIEL *et al.* Op. cit.

<sup>32</sup> RESTREPO, Jorge. Evolución geológica de Colombia. 1993

<sup>33</sup> VAN DER LELIJ, Roelant. Reconstruction north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. UNIVERSITÉ DE GENÈVE, Département de Minéralogie. 2013.

cronológico), el gneis de Bucaramanga (Ward<sup>34</sup>) definida como una unidad compuesta por rocas de alto grado de metamorfismo, que consisten de paraneises, esquistos y pequeñas cantidades de gneises calcáreo y hornbléndico además de anfibolitas (Ward<sup>35</sup>). El gneis de Bucaramanga a su vez se encuentra infrayaciendo a la Formación Silgará compuesta por pizarras, filitas, meta-areniscas, meta-grawacas y en menor cantidad mármoles (Ward<sup>36</sup>; Proterozoic Formation Silgará, Cordillera oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites<sup>37</sup>; García and Ríos<sup>38</sup>; Ríos<sup>39</sup>; Mantilla<sup>40</sup>), la Formación Silgará alcanzó su pico metamórfico en las facies esquistos verdes y se determinó una edad de protolito entre  $906,5 \pm 10,5$  Ma y  $1.610,3 \pm 9,8$  Ma en circones detríticos, los cuales vislumbran una edad de depositación en el Neoproterozoico (Mantilla<sup>41</sup>). Estudios recientes muestran que la Formación Silgará presenta diferentes unidades en cuanto a edades y litologías, por lo cual se hizo necesario dividirla en tres unidades: 1) esquistos del Silgará, 2) esquistos del Chicamocha y 3) filitas de San Pedro (Mantilla<sup>42</sup>); el pico para las dos primeras unidades se relaciona con la orogenia Fammatiniana mientras que las filitas de San Pedro se relacionan con el evento menor de la orogenia Fammatiniana (Mantilla<sup>43</sup>).

Más joven a la Formación Silgará se encuentra la unidad Ortoneis, la cual la esta intruyendo. Esta unidad está compuesta por diorita, tonalitas, granodioritas y quizás

---

<sup>34</sup> WARD *et al.* Op. cit

<sup>35</sup> *Ibíd*

<sup>36</sup> *Ibíd*

<sup>37</sup> Proterozoic Formation Silgará, Cordillera oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites. [Anonymous] Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I H.3-6, 531-546. 1998

<sup>38</sup> GARCÍA, Carlos; RÍOS, Carlos. 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. 1999

<sup>39</sup> RÍOS, Carlos; GARCÍA, Carlos; TAKUSA, Akira. Tectono-metamorphic evolution of the Silgara's Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences 16, 133-154. 2003

<sup>40</sup> MANTILLA *et al.*, Op. cit

<sup>41</sup> MANTILLA, Luis; GARCÍA, Carlos; VALENCIA, Víctor. PROPUESTA DE ESCISIÓN DE LA DENOMINADA "FORMACIÓN SILGARÁ" (MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA), A PARTIR DE EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS. Bol.geol. vol.38 no.1 Bucaramanga Mar. 2016.

<sup>42</sup> *Ibíd*

<sup>43</sup> *Ibíd*

por más rocas de tipo félsicas (Mantilla<sup>44</sup>). Las rocas del Ortoneis son de textura masiva, así como foliación y lineación definida, con contenido de hornblenda y anfíbol, como columnas de rocas meta-sedimentarias (Ward<sup>45</sup>), para esta unidad se ha datado una edad de  $1057 \pm 28$  Ma, mediante la técnica U-Pb SHRIMP, utilizada en cristales de circones (Cordani<sup>46</sup>; Mantilla<sup>47</sup>). La edad de esta unidad es aproximadamente de  $450 \pm 80$  Ma mediante determinación radiométrica Rb/Sr, lo que sugiere una edad del Ordovícico (Ward<sup>48</sup>). Todas las unidades descritas anteriormente, componen el basamento cristalino del macizo de Santander, donde se localiza el área de estudio.

Para el periodo de finales del Triásico y principios del Jurásico, se dieron una serie de pulsos magmáticos en un pequeño intervalo de tiempo, que formaron los batolitos mayores, agrupados en lo que se denomina “Grupo Plutónico de Santander” y del que hacen parte el batolito de Rionegro, batolito de Santa Bárbara, granito de Pescadero, batolito de Mogotes y Plutón de Paramo Rico, el cual este último es cercano a la zona de estudio (Ward<sup>49</sup>). Las principales litologías de estos cuerpos ígneos son 1) granito rosado y cuarzomonzonita y 2) cuarzomonzonita gris granodiorita, tonalita y diorita (Ward<sup>50</sup>).

Ya para el periodo Cretácico, se encuentra una unidad sedimentaria siliciclástica, que se encuentran en discordancia con las rocas ígneas y metamórficas, compuestas principalmente de areniscas y areniscas conglomeráticas

---

<sup>44</sup> MANTILLA, Luis; BISSIG, Thomas; COTTLE, Jhon; CRAIG, Hart. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). En: Journal of South American Earth Sciences. 2012. Vol. 38, p. 1-12. 2012

<sup>45</sup> WARD *et al.* Op. cit

<sup>46</sup> CORDANI, Umberto; CARDONA, Agustín. Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: Tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A., Leat, P., Pankhurst, R. (eds), Terrane Processes at Margins of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, vol. 246, pp. 329-349. 2005.

<sup>47</sup> MANTILLA *et al.* Op. cit

<sup>48</sup> WARD *et al.*, Op. cit

<sup>49</sup> Ibíd

<sup>50</sup> Ibíd

pertencientes a la Formación Tambor (Mantilla<sup>51</sup>) hoy en día denominada Formación Los Santos.

Hasta hace algunos años se consideraba que las rocas ígneas más jóvenes del macizo y que por tanto contenían las mineralizaciones, eran pertenecientes al periodo post-Cretácico inferior (Ward<sup>52</sup>; Mantilla<sup>53</sup>). Sin embargo, en los últimos años, mediante dataciones de algunas rocas ígneas en estructuras tales como diques superficiales, y que a su vez intruyen las rocas sedimentarias; se determinó que hubo un evento magmático en el Mioceno Tardío con rocas de edades  $10.9 \pm 0.2$  Ma y  $8.4 \pm 0.2$  Ma. (Mantilla<sup>54</sup>). Por tanto, la mineralización presente en el área de estudio se encuentra ligada al pulso magmático del Mioceno, relacionado a la reactivación del sistema de fallas de Bucaramanga – Santa Marta quizás debido a la acreción del bloque Chocó y rápido levantamiento de la cordillera oriental (Mantilla<sup>55</sup>). Aunque las rocas más antiguas (Pre-devónico y Juratriásico) también tienen mineralizaciones.

## 7.2 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio del presente trabajo, se localiza en el cerro de Violetal, en el sector centro-occidental del Distrito minero de Vetas-California (DMVC), a su vez ubicado al suroccidente del proyecto Angostura de la empresa EOM, y al occidente de la zona conocida como Mongora. En el cerro de Violetal afloran (en orden cronológico) el gneis de Bucaramanga, la cual es la unidad basamento que infrayace las demás unidades y principalmente aquellas que contienen la mineralización, las rocas aflorantes que hacen parte del gneis de Bucaramanga son

---

<sup>51</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

<sup>52</sup> WARD *et al.* Op Cit

<sup>53</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

<sup>54</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

<sup>55</sup> MANTILLA *et al.*, Op.cit

gneises biotíticos, gneises migmatíticos, gneises anfibólicos y en una menor medida cuarcitas (Galvis<sup>56</sup>; Mantilla<sup>57</sup>); posterior a ella vienen las rocas del Triásico tardío al Jurásico temprano, que fueron agrupadas (de la más antigua a la más joven) por Mantilla<sup>58</sup>, denominadas por el autor como Alaskitas I, las cuales tienen edad Triásica, otras rocas con composición tonalítica a granodiorítica, las cuales tiene edad próxima al límite Triásico-Jurásico (TJ) y un último grupo compuesto por rocas denominadas Alaskitas II. Mantilla<sup>59</sup>; define el termino Alaskita como aquellas rocas ígneas que tienen afinidad granítica, con contenidos muy bajos de minerales máficos (<5%). En el área no afloran las rocas sedimentarias descritas en la anterior sección, por el contrario, afloran unas rocas más jóvenes de edad Miocénica (10.9 Ma – 8.4 Ma ó más jóvenes); que son las rocas descritas por Galvis<sup>60</sup>, ubicadas en un área con estructura anular de 9-10 Km<sup>2</sup> de diámetro (Galvis<sup>61</sup>, Mantilla<sup>62</sup>) que pudieron posiblemente servir como un canal de flujo para el ascenso de material que permitiera la formación de rocas Miocénicas de tipo porfirítico.

La zona de estudio, en donde se encuentra la estructura anular, tiene como roca aflorante una brecha volcánica, con fragmentos de roca de variada composición, entre las cuales abundan algunas rocas sedimentarias (Galvis<sup>63</sup>). Aunque principalmente la estructura anular se encuentra compuesta por la brecha, también se pueden encontrar aflorando una roca porfirítica de composición riodacítica, de matriz clara y fenocristales bipiramidales de cuarzo (Galvis<sup>64</sup>) y como se había mencionado anteriormente tiene una edad de  $8.4 \pm 0.2$  Ma (Mantilla<sup>65</sup>). Es de resaltar que no solo las mineralizaciones en el DMVC y en especial en el área de

---

<sup>56</sup> GALVIS Op.cit

<sup>57</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

<sup>58</sup> *Ibíd*

<sup>59</sup> *Ibíd*

<sup>60</sup> GALVIS Op.cit

<sup>61</sup> *Ibíd*

<sup>62</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

<sup>63</sup> GALVIS Op.cit

<sup>64</sup> GALVIS Op.cit

<sup>65</sup> MANTILLA *et al.* Op.cit

estudio, no se encuentran solo en las rocas Miocénicas, sino que también en rocas Pre-Devónicas y en las rocas ígneas del Jurásico-Triásico, evidencias que fueron dadas por la alteración hidrotermal presentes en las rocas. (Mantilla<sup>66</sup>).

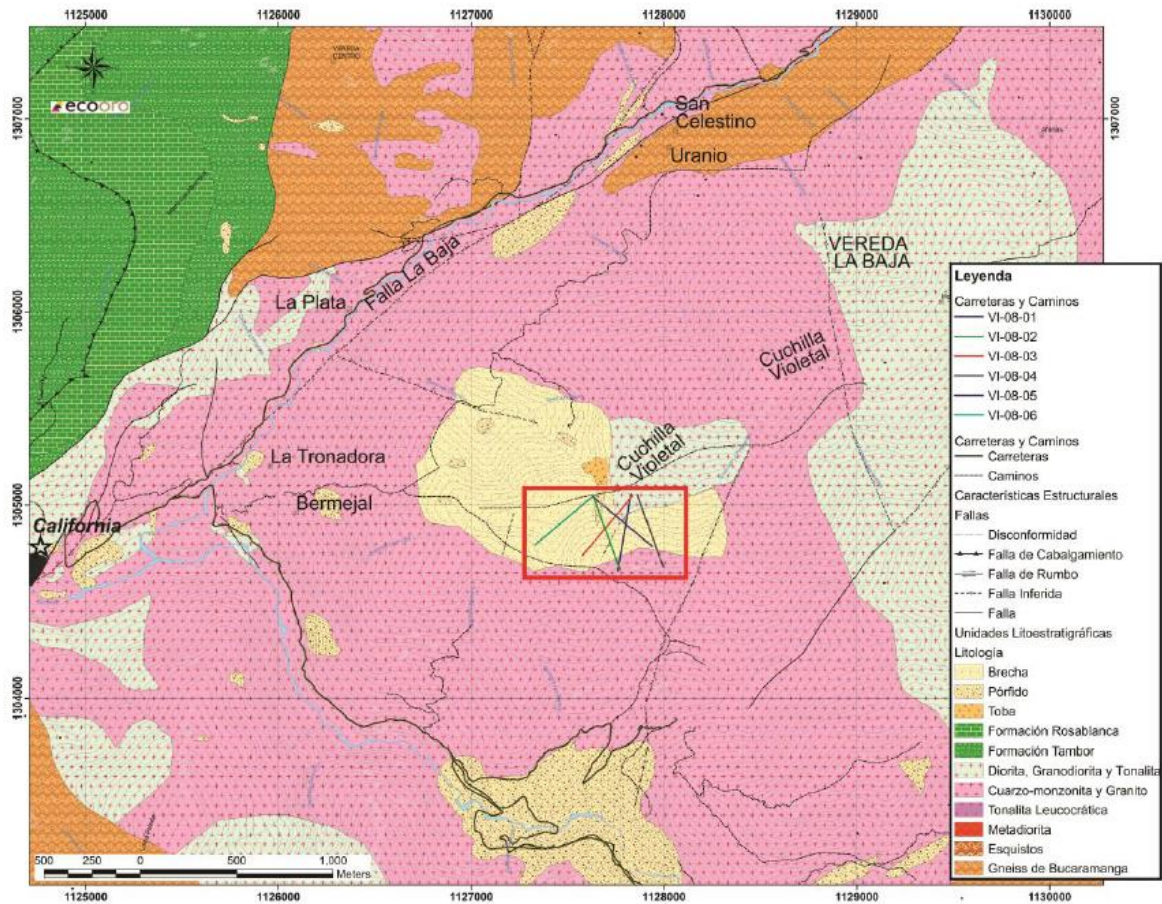
Por ultimo las rocas más jóvenes (hasta la fecha) que se han mapeado en el área corresponden a tillitas, las cuales son abundantes en las zonas más altas topográficamente del cerro Violetal. (Galvis<sup>67</sup>).

**Figura 3.** Geología del área de estudio.

---

<sup>66</sup> MANTILALLA *et al.* Op.cit

<sup>67</sup> GALVIS Op.cit



**Fuente.** Mapa geológico de la zona del proyecto de investigación. Tomado de Acevedo y Hernández (2016).

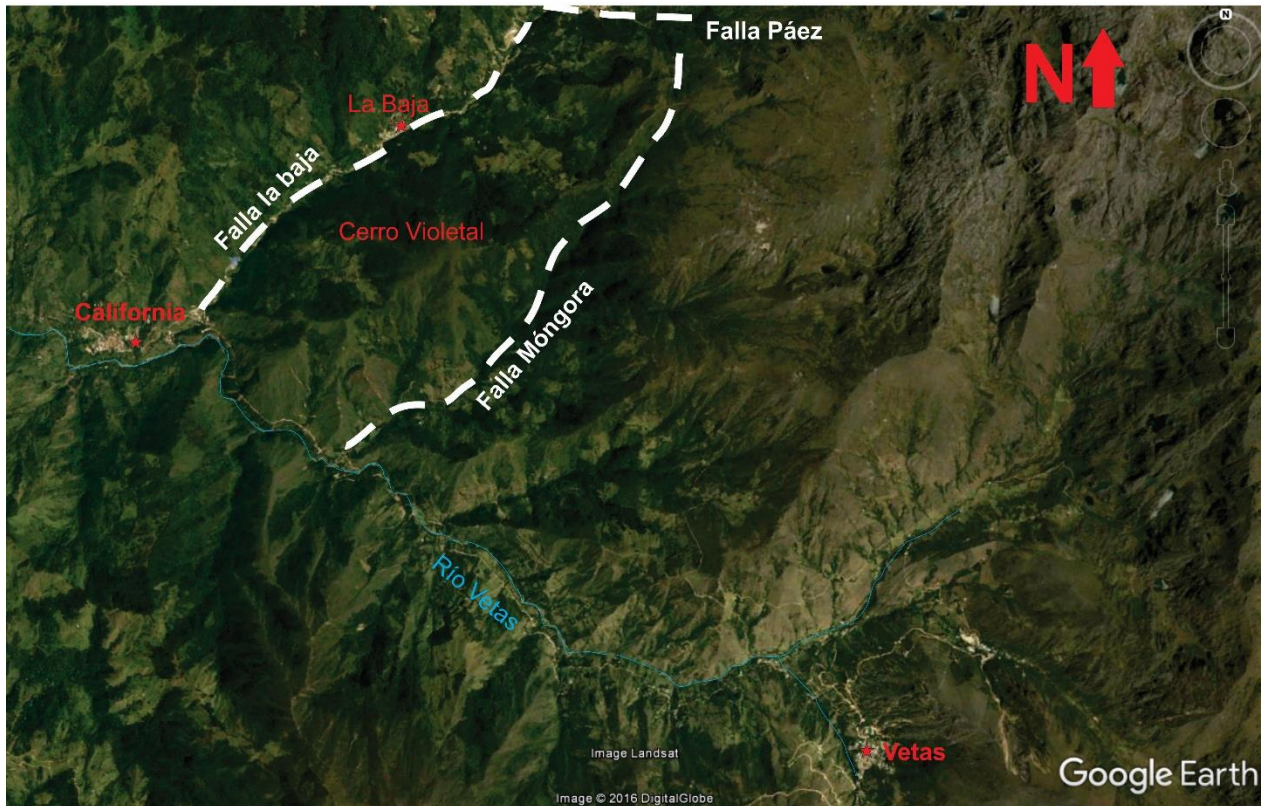
### 7.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

El cerro Violetal se encuentra delimitado por una serie de fallas, con 3 tipos diferentes de dirección y que para su identificación se hace necesario la utilización de imágenes satelitales. Como se ha descrito anteriormente el DMVC hace parte de la subplaca de Maracaibo (Cediel<sup>68</sup>), delimitado al norte por la falla de Oca, al nor-orientado por la falla Bucaramanga-Santa Marta y al nor-occidente por la falla de

<sup>68</sup> CEDIEL *et al.* Op.cit

Boconó. A partir de la falla Bucaramanga – Santa Marta, es necesario nombrar el sistema de fallas del Rio Surata y Cucutilla, con dirección NE (Rojas<sup>69</sup>).

**Figura 4.** Fallas que delimitan al cerro Violetal.



**Fuente:** google earth, modificada por el autor.

Localmente el prospecto Violetal en el DMVC, se encuentra delimitado hacia el noroccidente por la falla La baja y hacia el sur-oriente por la falla Mongora, las cuales tienen ambas una dirección NE-SW (Rojas<sup>70</sup>) como se observa en la figura 4. En conclusión, el DMVC se encuentra controlado estructuralmente por diferentes fallas, que afectan la mineralización del prospecto Violetal.

<sup>69</sup> ROJAS, Javier. Estudio de los procesos de alteración hidrotermal en el tunel veta de barro. Tesis de pregrado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad Fisicoquímicas, Escuela de Geología 2014.

<sup>70</sup> Ibíd

## 8. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos, de la revisión petrografía, microtermometría, espectrometría Raman y geoquímica de suelos. A partir de estos se compararán con la bibliografía de autores que han trabajado en la zona del prospecto Violetal, para explicar de la mejor manera lo que se encuentra en las muestras de los núcleos, así como en las muestras de suelos, para al final discutir un modelo para el prospecto Violetal.

### 8.1 PETROGRAFÍA

**8.1.1 Composición litológica y asociación de minerales indicadores de alteración hidrotermal.** Para poder establecer las composiciones litológicas de las muestras fue necesario realizar un logueo de los núcleos y posteriormente una descripción petrográfica de secciones delgadas pulidas. Estas descripciones se complementaron con la técnica del terraspec que fue llevada a cabo por Acevedo y Hernández<sup>71</sup> en las muestras de interés.

A partir de las 14 muestras analizadas se llegó a determinar la presencia de 3 tipos de litologías, además de la identificación de diferentes eventos mineralizantes que contienen los diferentes sulfuros de mena. Debido a cada uno de los eventos mineralizantes, las muestras se encuentran con una alteración hidrotermal moderada a fuerte, así como las muestras que tienen

---

<sup>71</sup> ACEVEDO, Juan; HERNÁNDEZ, Anthony. Caracterización mineralógica, textural y de microtermometría del prospecto Violetal, Distrito Minero Vetas – California (DMVC), Santander, Colombia. Tesis de grado Geología, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad Físico-Química, Escuela de Geología. 2016.

ausencia de eventos, también están alteradas debido a que se encuentran en las zonas de alteración de los eventos. Debido a la fuerte alteración de las muestras se hizo difícil la clasificación y por tanto se recurrió a cotejar lo reportado en la literatura de la zona.

**8.1.2 Litología.** La primera litología que se identificó es un pórfido riolítico (Streckeisen<sup>72</sup>), el cual presenta textura porfirítica, compuesto de fenocristales de cuarzo, feldespato K y plagioclasa. La matriz de la roca es de textura afanítica. En la matriz de la roca se identificaron cristales de moscovita, caolinita, sericita e illita producto de la alteración hidrotermal. Los porcentajes de cuarzo son de 47%, feldespato 36% y 17% de plagioclasa. En general la roca presenta una alteración hidrotermal fuerte. La roca tiene tonalidades grisáceas a blancas.

En sección delgada se observan cristales de cuarzo con un tamaño en general de 0.003 mm a 2 mm, y cristales subhedrales a anhedrales. Los cristales de feldespato K, se muestran con un tamaño de 0.005 mm a 1.2 mm, son cristales euhedrales a subhedrales, los cuales en su mayoría se encuentran alterando. Por último, los cristales de plagioclasa, se presentan como cristales euhedrales a subhedrales, con tamaños que oscilan entre 0.007 mm a 1mm. Los cristales de plagioclasa presentan macla polisintética. Ver Figura 5.

La segunda litología corresponde a un granito (Streckeisen<sup>73</sup>), el cual presenta textura fanerítica, compuesto en su mayoría por cuarzo, feldespato y en menor medida plagioclasa, esta última alterando fuertemente a sericita. Junto a estos minerales se presentan las alteraciones de clorita, illita-sericita, y de ankerita.

---

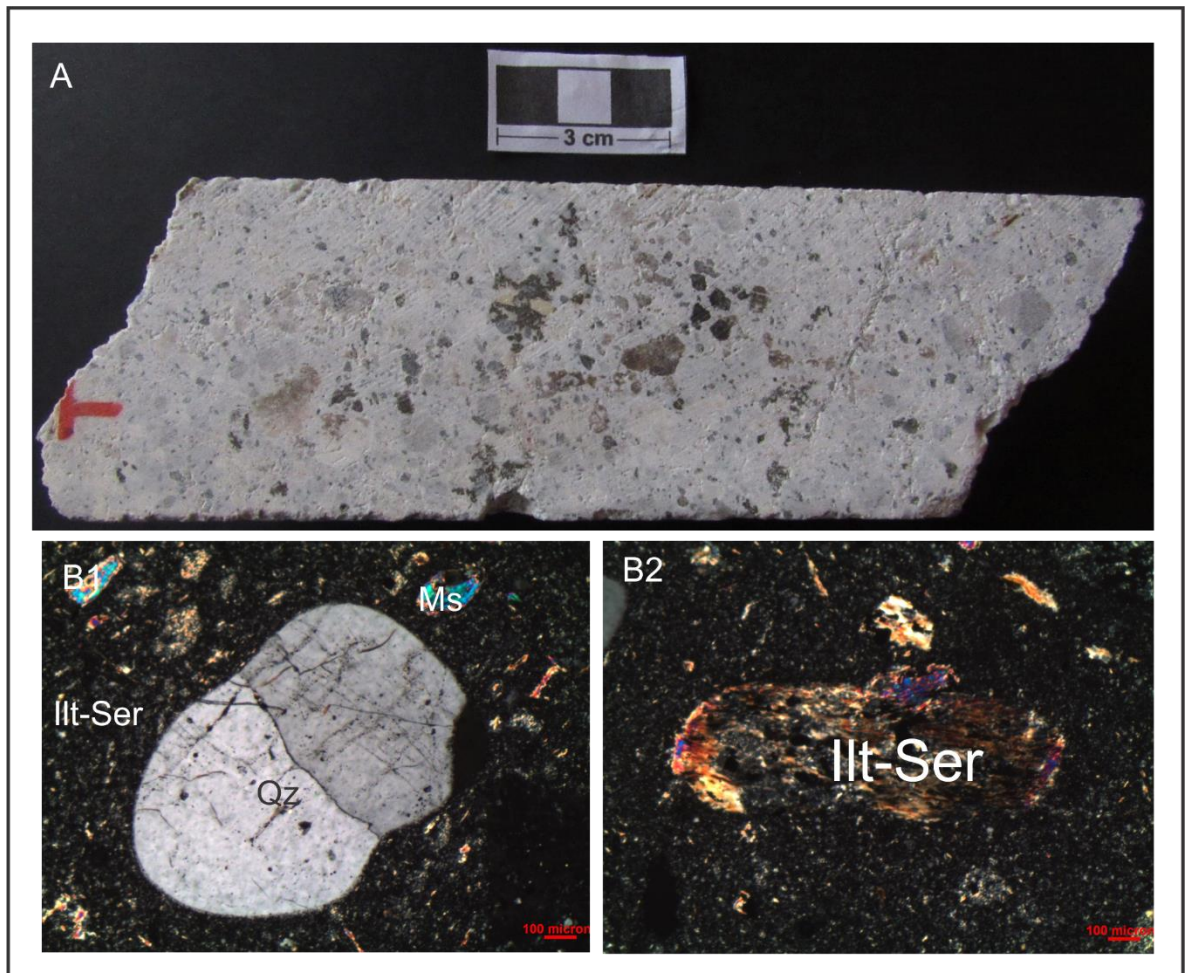
<sup>72</sup> STRECKEISEN, Albert. Classification of the common igneous rocks by means of the chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1976, H. 1, 1-15. 1976

<sup>73</sup> Ibíd

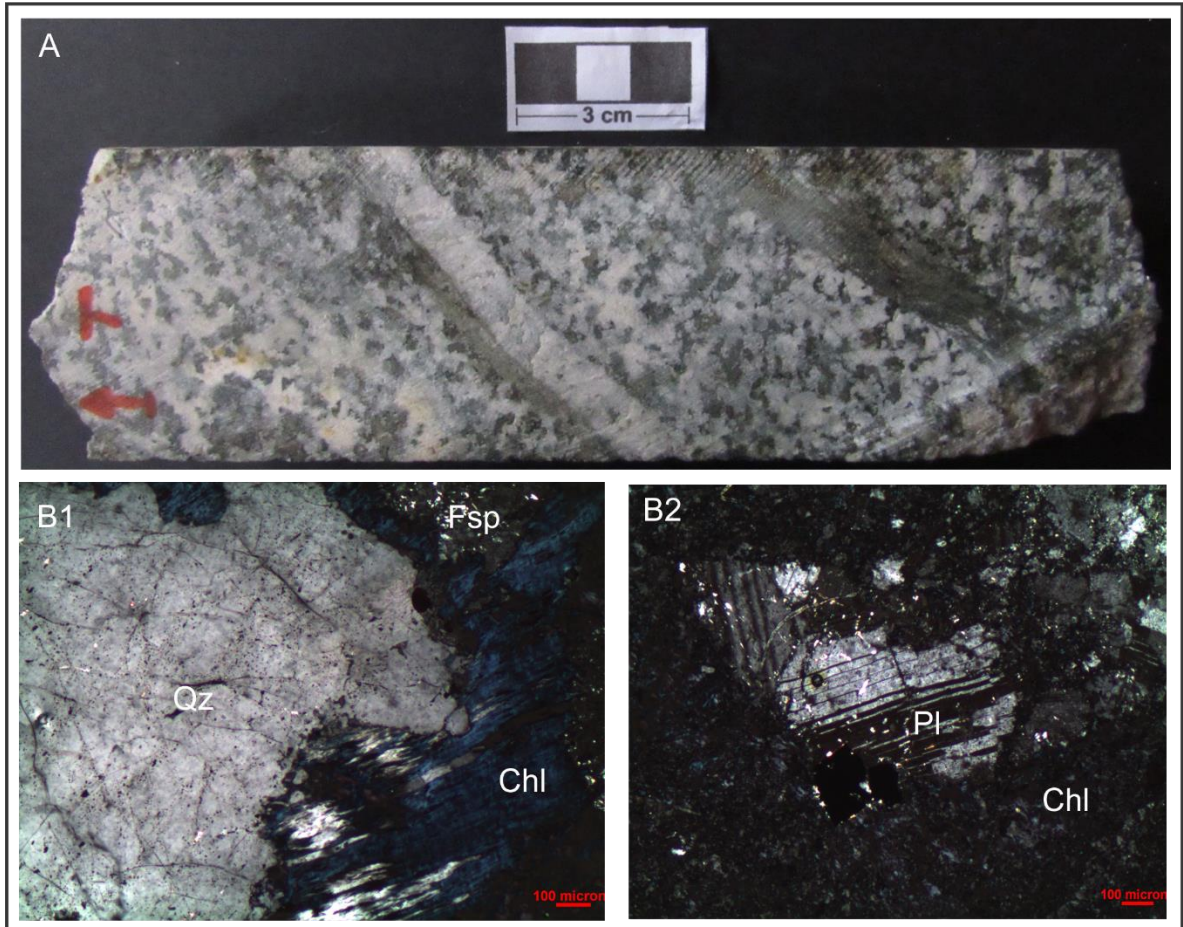
En sección delgada pulida se observan cristales de cuarzo subhedrales a anhedrales, los cristales de cuarzo tienen una medida promedio entre 0.25 mm a 1.2 mm; también se hallan los cristales de feldespato, afectados en mayor medida por un grado de alteración hidrotermal fuerte, los cristales tienen un promedio de 0.15 mm a 0.9 mm. Finalmente los cristales de plagioclasa, identificados por su macla polisintética, cristales que tienen una medida promedio de 0.009 mm a 0.8 mm. Ver figura 6.

La tercera litología que se identificó corresponde a una brecha tectónica, compuesta de fragmentos de roca porfirítica de aproximadamente 1.3 mm, además contiene cristales de cuarzo, sericita y óxidos de hierro. Aunque la roca se encuentra fuertemente alterada se alcanzan a visibilizar fenocristales de forma tabular, lo que podría indicar que anteriormente fueron feldespatos. La orientación de los cristales de la roca, producto de la deformación, así como la trituración de los cristales fueron los indicios a tener en cuenta para clasificar la roca como brecha tectónica. Ver figura 7.

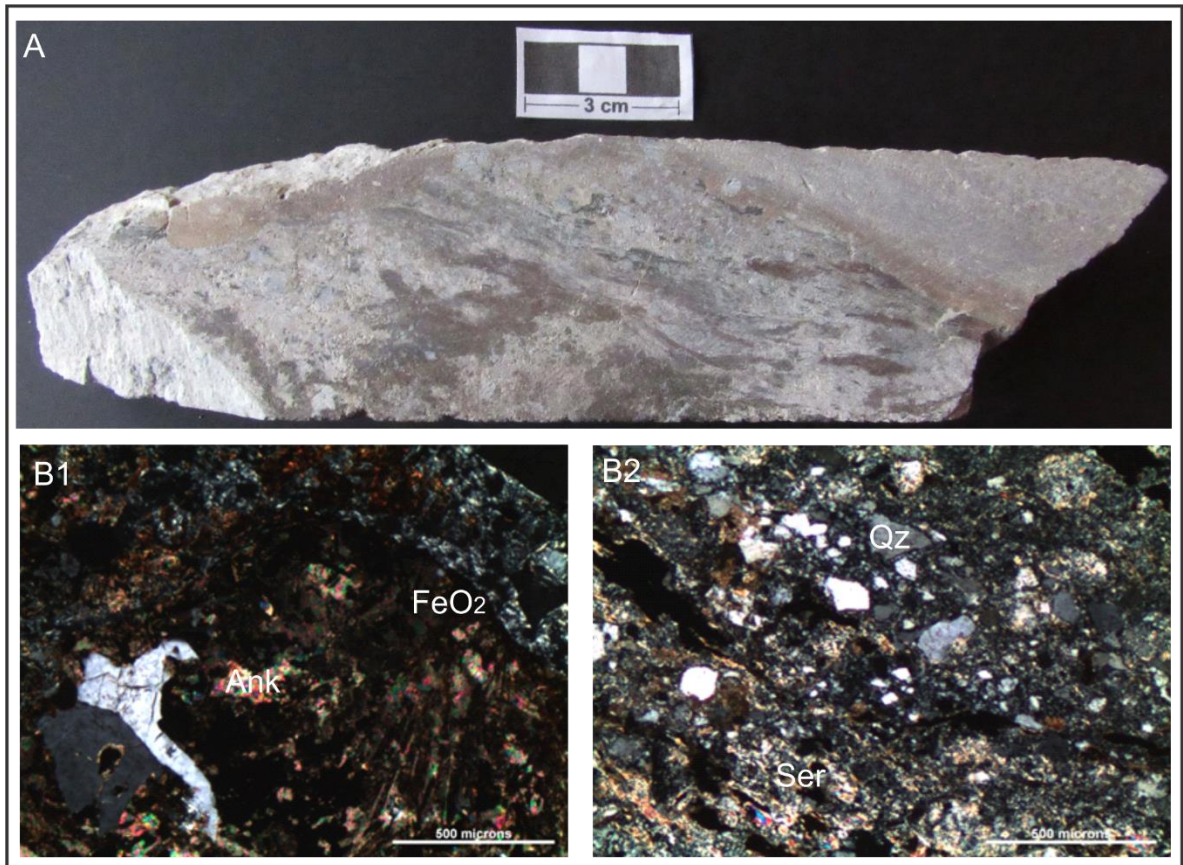
**Figura 5.** Imágenes correspondientes al pórfido riolítico de la muestra VI-08-01 6916598. A). Sección del núcleo de la muestra VI-08-01 6916598 a 313 m de profundidad. B1) Sección delgada pulida de la muestra VI-08.01 6916598, donde se puede observar el fenocristal de cuarzo, embebido en una matriz afanítica, además se destaca la presencia de Ankerita e illita – sericita y moscovita, como minerales de alteración. B2) Sección delgada pulida de la muestra Vi-08-01 6916598, donde se observa un antiguo cristal de plagioclasa ya completamente alterado a illita – sericita.



**Figura 6.** Imagen de la muestra VI-08-01 6964977 a 117 m de profundidad que corresponde a un granito. A) Sección del núcleo de la muestra 6964977 que corresponde a un granito. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-03 6964977 donde se observan cristales de cuarzo, feldespato alterando un poco y clorita. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-03 6964977 donde se observan los cristales de plagioclasa con la macla polisintética característica de ellas, así como cristales de clorita de menor tamaño.



**Figura 7.** Imagen de la muestra VI-08-04 6916574 que corresponde a una brecha tectónica. A) Sección de núcleo de la muestra VI-08-04 6916574. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-04 6916574, donde se puede observar los óxidos de hierro, acompañados de ankerita y sericita. B2) Porfidoblastos de cuarzo o plagioclasa embebidos en una matriz de la zona más central de la brecha.



**Tabla 1.** Muestras analizadas en el desarrollo de este trabajo. Clasificaciones realizadas a partir de la petrografía de secciones pulidas suministradas por EOM. Abreviaciones utilizadas (Ank) Ankerita, (Chl) clorita, (Ep) epidota, (Ill) illita, (Kln) caolinita, (Ms) Muscovita, (Rt) rutilo, (Ser) Sericita.

Pozo	Muestra	Profundidad del núcleo		Litología	Minerales de alteración
		De [m]	Hasta [m]		
VI-08-01	6964977	117.0	117.17	Granito brechado	Ill, Chl, Ep, Ser, Ms
VI-08-01	6964995	149.10	149.30	Granito	Ill, Ser, Ms, Chl, Ank, Rt
VI-08-01	6916502	161.90	162.00	Mineralización	Ill, Ser, Ms, Ank, Kln, Rt
VI-08-01	6916536	212.80	212.90	Granito	Ill, Ser, Ms, Ank, Rt
VI-08-01	6916574	271.50	271.65	Brecha tectónica	Ank, Ill, Ms, Ser
VI-08-01	6916598	313.90	314.00	Pórfido riolítico	Ill, Ser, Ms, Ank, Rt
VI-08-01	6916676	443.90	440.00	Pórfido riolítico	Ill, Ser, Ms, Ank, Rt
VI-08-01	6916679	448.35	448.55	Pórfido riolítico	Ank, Ser, Ill, Kln, Ms, Rt
VI-08-01	6916680	450.00	450.25	Pórfido riolítico	Ill, Ms, Ank, Ser, Rt
VI-08-03	6268154	273.80	274.00	Granito	Ill, Ser, Ank, Ms
VI-08-03	6268244	422.80	422.90	Mineralización	Ill, Ser, Ms, Kln,

VI-08-04	6268456	259.70	259.80	Pórfido riolítico	Ill, Ms, Ank, Ser, Rt
VI-08-05	6272777	239.45	239.60	Granito	Ill, Ser, Ms, Chl, Rt
VI-08-05	6272819	316.10	316.20	Mineralización	Ill, Ser, Ms, Kln

**Fuente:** Tomada y modificada de (Acevedo, 2016).

**8.1.3 Minerales de alteración hidrotermal.** En las muestras del prospecto Violetal, fueron identificados ocho minerales de alteración, los cuales son Ankerita, clorita, epidota, illita, caolinita, muscovita, rutilo y sericita. Los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en las muestras. De acuerdo a los ensamblajes minerales propuestos por Sillitoe<sup>74</sup> para las alteraciones, se identificaron dos ensamblajes, el primero compuesto por Illita – Sericita y el segundo por clorita – epidota.

**8.1.3.1 Alteración Clorita – Epidota.** Este tipo de ensamblaje identificado se encuentra presente en las muestras 6964977 del pozo VI-08-01, aunque también fue reportada en la muestra del pozo VI-08-01 por Acevedo y Hernández<sup>75</sup>. En esta última muestra solo se observó la clorita, y por esto se tuvo que recurrir a trabajos realizados en la zona para confirmar la presencia de epidota.

En la muestra donde se identificó plenamente la asociación clorita – epidota, esta viene acompañada también de minerales como illita, sericita, muscovita y en algunos casos por ankerita, todos estos en menor proporción. Esta alteración se encuentra afectando únicamente las rocas clasificada como granitos, además de encontrarse en la brecha que afecta al granito.

<sup>74</sup> SILLITOE, Richard. Porphyry Copper Systems. Economic geology, v. 105, pp. 3-41. 2010

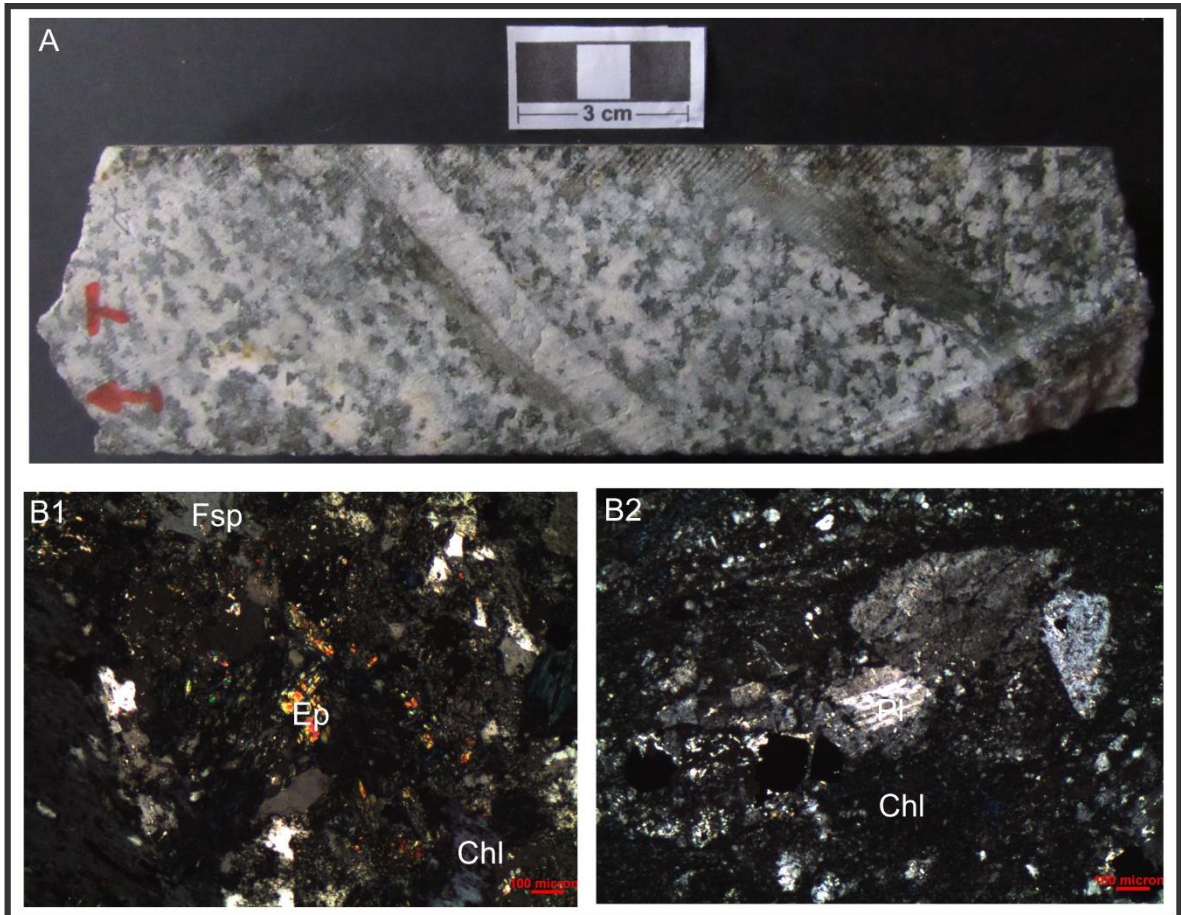
<sup>75</sup> ACEVEDO Y HERNÁNDEZ Op. cit.

En sección delgada pulida la clorita se observa como cristales de color azul intenso en nicols cruzados, y un color verde en nicols paralelos. Los cristales tienen un tamaño aproximado de 0.02 mm a 0.2 mm, los cristales se presenta con bordes euhedrales a subhedrales, con hábito laminar. La formación de la clorita se debe posiblemente a la alteración de biotitas o de anfíboles.

Por otro lado, la epidota se observa con colores amarillentos pálidos, naranjas, rosáceos con variedades azulosas y verdosas. Presenta un hábito prismático, con tamaños que varían entre 0.003 mm a 0.040 mm, posiblemente su formación se deba a la alteración de cristales de piroxenos o anfíboles. Ver figura 8.

Además de los minerales de alteración anteriormente mencionados, esta alteración está acompañada de minerales de mena como pirita, calcopirita, esfalerita principalmente, los cuales se encuentran diseminados en la roca, adicionalmente hay presencia de pirrotina, galena, covelina y óxidos de hierro. A esta alteración también se asocia vetillas de carbonato tipo ankerita, que se distribuyen en toda la sección delgada pulida.

**Figura 8.** Alteración clorita – Epidota. A) Imagen del núcleo de la muestra VI-08-01 6964977 donde se puede apreciar el evento hidrotermal que produce la alteración. B) Vista de la sección delgada pulida de la muestra, se observan cristales de feldespato alterando a caolinita, además de cristales de epidota y clorita. B2) Vista de la sección delgada pulida de la muestra se observan cristales de clorita además de plagioclasa con su macla polisintética característica.



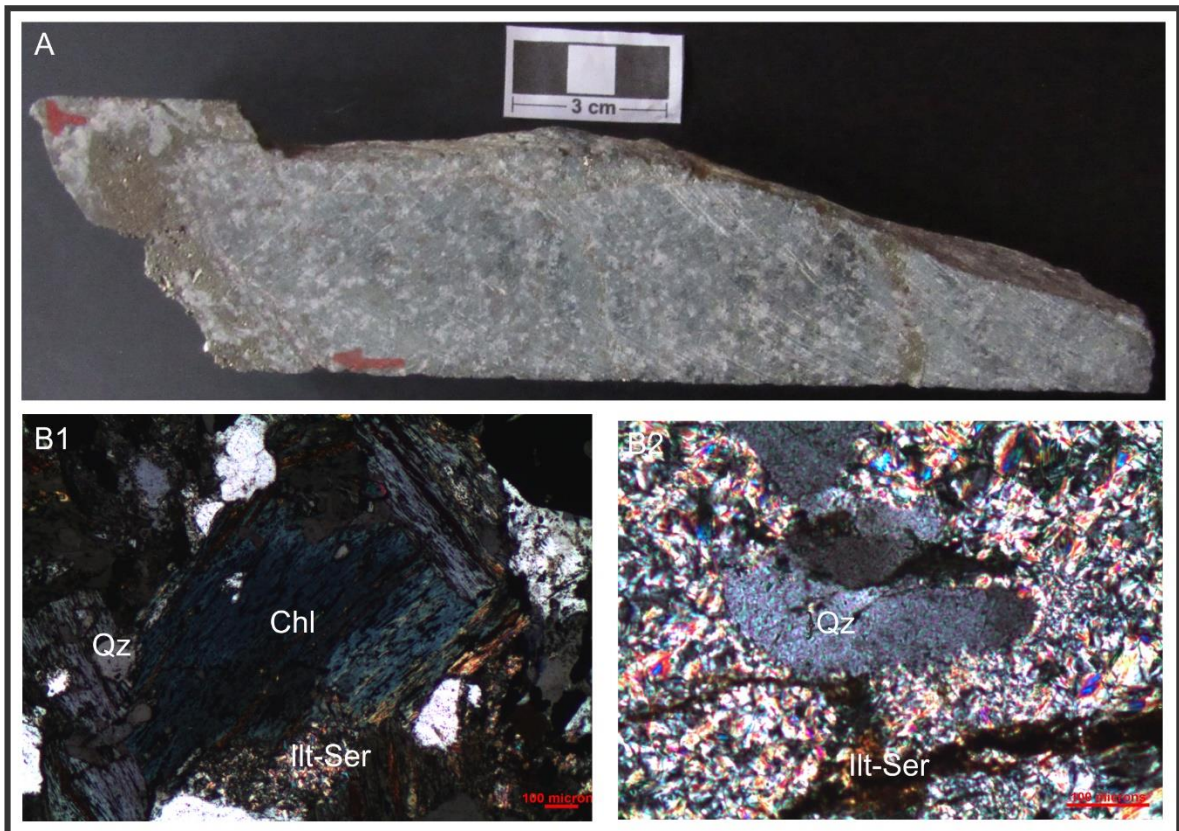
**8.1.3.2 Alteración Clorita – Sericita.** Este tipo de asociación se identificó en una única muestra, VI-08-05 6272777, en esta muestra se observa una amplia distribución de clorita acompañada de sericita, además de illita y moscovita. Difiere de las demás alteraciones por la marcada ausencia de epidota.

En sección delgada pulida la clorita se observó con tonalidades verdosas claras en nicoles paralelos, en nicoles cruzados se observan cristales euhedrales a subhedrales, de habito prismático, presenta colores grises

azulados, y tiene un tamaño menor a 0.012 mm, aunque también hay cristales de más de 0.11 mm. La formación de la clorita se debe posiblemente a la alteración de biotitas o de anfíboles.

Nuevamente la sericita se observa en sección delgada pulida, como cristales de grano muy fino (<0.012 mm), colores crema, blancos y tonalidades amarillas. Los cristales tienen habito prismático, con textura en escamas. Ver figura 9.

**Figura 9.** Alteración clorita – sericita. A). Sección del núcleo de la muestra Vi-08-01 6964995. B1) Imagen de la sección delgada de la muestra VI-08-01 6964695, donde se observan cristales de clorita, cuarzo e illita-sericita. B2). Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-01 6964695, donde se observa un cristal de cuarzo rodeado por la alteración illita – sericita.



**8.1.3.3 Alteración Illita – Sericita.** Los minerales illita – sericita, se encuentran en las demás muestras analizadas, por tanto, en diferentes pozos y diferentes profundidades. Esta alteración es producto de la actividad hidrotermal en los fenocristales de feldespato y plagioclasa. Estos minerales se encuentran acompañados de muscovita secundaria, ankerita y en algunas ocasiones de rutilo y caolinita. La identificación de las arcillas se debe en un principio a lo reportado por Acevedo y Hernández<sup>76</sup>, para las muestras del prospecto Violetal, puesto que ellos utilizaron el método de terraspec. Para este trabajo no fue posible aplicar alguna técnica para la identificación plena de las arcillas, ya que el autor no contó con las herramientas ni el presupuesto para realizarlo.

La illita se observa en sección delgada pulida con tonalidades blancas a crema, se encuentra como agregados en la muestra al igual que la sericita, con la cual se encuentra ampliamente distribuida en la muestra. Su tamaño es inferior a  $< 0.009$  mm, no se encuentra formando halos de alteración de las vetillas.

La sericita se observa en sección delgada pulida con tonalidades amarillentas, blancas, presente como agregado cristalino junto a la illita. Su tamaño es inferior a  $< 0.009$  mm, no se encuentra formando halos de alteración de vetillas.

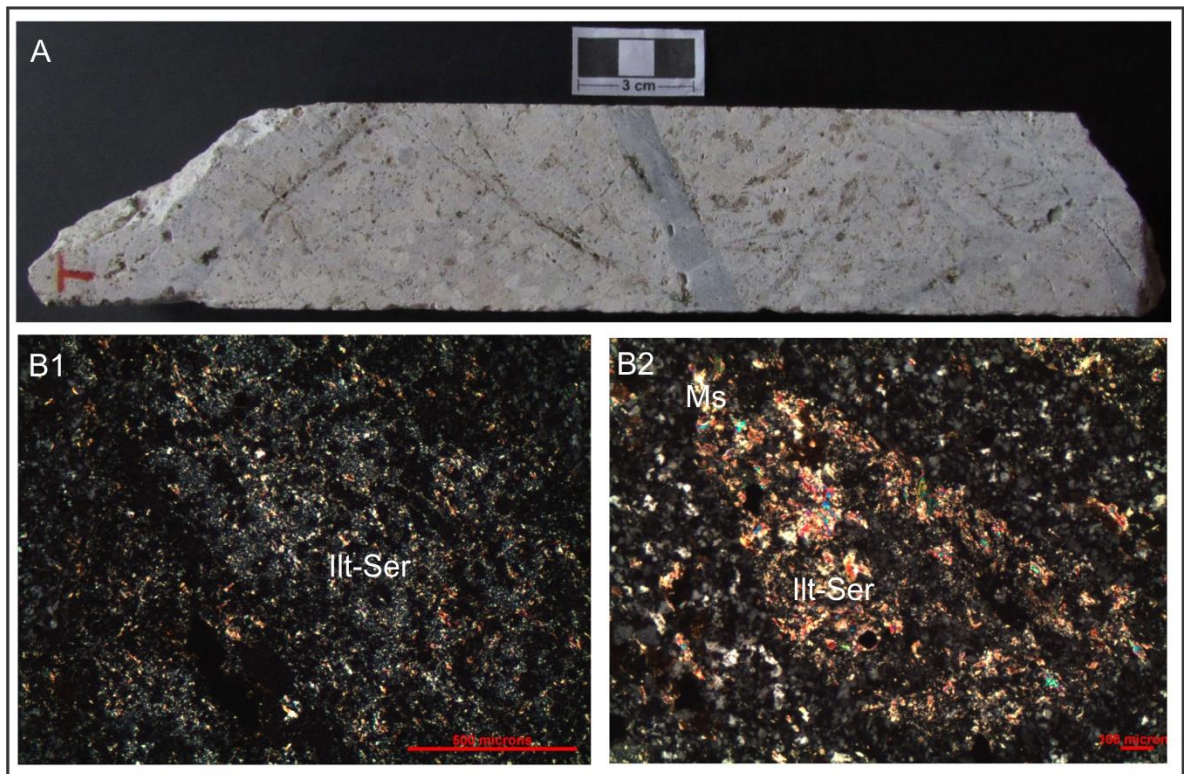
La muscovita secundaria se observa en sección delgada pulida con tonalidades azulosas, presenta tamaños entre 0.005 mm a 0.018 mm, por tanto, teniendo un tamaño superior a la illita – sericita, permitiéndolas diferenciarlas. Es producto de la alteración de los feldespatos. Se presentan cristales de hábito masivo – laminar.

---

<sup>76</sup> Ibíd

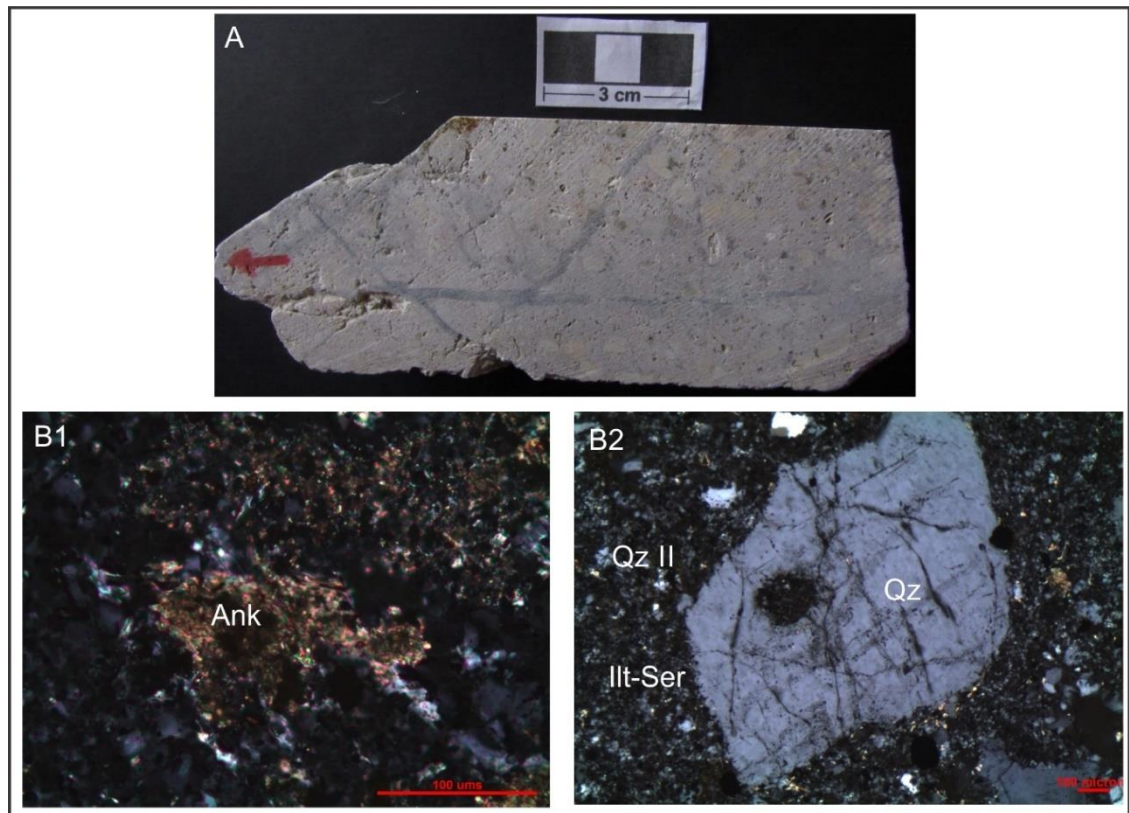
Asociada a esta alteración se presentan vetillas de cuarzo en paragénesis con pirita, calcopirita, esfalerita principalmente; además en ocasiones con pirrotina, galena, molibdeno, bornita. Ver figura 10.

**Figura 10.** Alteración illita – Sericita. A) Sección del núcleo de la muestra VI-08-01 6916680. Se puede observar el evento causante de la alteración en la roca. B) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-01 que muestra la alteración a illita – sericita de un antiguo cristal de plagioclasa. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-01 que muestra la alteración a illita-sericita de un antiguo cristal de plagioclasa. Además, se observan pequeños cristales de moscovita.



**8.1.3.4 Alteración Ankerita.** Una de las últimas alteraciones que se identificaron en la muestra es la de la Ankerita, que se observa en sección delgada pulida con colores marrón acompañado de varias tonalidades, son cristales subhedrales, que se sobre imponen a la alteración illita – sericita. El tamaño de los cristales es ~0.02 mm. En algunas muestras se presentan vetillas de ankerita que presentan un grosor de ~0.5 mm. A pesar de no haber visto dolomita o calcita, Acevedo y Hernández<sup>77</sup>, han reportado la presencia de estos minerales en paragénesis con la ankerita, para las muestras del prospecto Violetal. Ver figura 11.

**Figura 11.** Alteración Ankerita. A) Sección de núcleo de la muestra VI-08-03 6916676 donde se observan los eventos de mineralización y alteración de la roca. B1) Imagen de la sección delgada de la muestra VI-08-03 6916676 que muestra los cristales de la Ankerita, como alteración sobreimpuesta a las alteraciones anteriormente descritas. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-01 6916676 donde se observa un fenocristal de cuarzo embebido en una matriz afanítica compuesta por cuarzo microcristalino e illita-sericita.



<sup>77</sup> Ibíd

**8.1.3.5 Alteración supergena.** Por último, una de las alteraciones más importantes, tiene que ver con la aparición de minerales en un evento supérgeno, el cual se encuentra caracterizado por minerales de óxidos de hierros quizás goethita, acompañado de covelita y en algunas ocasiones también con la presencia de calcosina. Esta última alteración es importante porque puede representar una zona de enriquecimiento en sulfuros que, por lo tanto, da lugar a una alta ley de Cu.

En sección delgada pulida los óxidos de hierro, se observan con tonalidades marrones oscuras con tintes rojizos, cristales aciculares euhedrales a subhedrales, que en su mayoría se presentan como agregados. Tienen un tamaño de ~0.020 mm. Son cristales producto de la actividad de oxidación en minerales de hierro.

La covelita en sección delgada pulida, se observa con tonalidades azulosas, no se observan completamente los cristales, puesto que se encuentra en etapas iniciales de formación, a partir de minerales como bornita, calcopirita y esfalerita.

Por último, la calcosina, el cual es un mineral característico de la alteración supergena, se observa en sección delgada pulida con tonalidades grisáceas-verdosas, como producto de alteración de los sulfuros de cobre.

**8.1.4 Mineralogía de Mena.** Para las muestras del prospecto Violetal, se han identificado varios minerales, que contribuyen a la mineralización del prospecto. Estas mineralizaciones ocurren de dos maneras, principalmente como menas diseminadas, o las más importante, como vetillas. A continuación, se muestra una tabla de la mineralogía de mena y posteriormente una descripción de los mismos.

**Tabla 2.** Resumen de la mineralogía de mena, para el prospecto Violetal, identificados en las secciones delgadas pulidas

Grupo mineral		Mineral	Formula Química	Modo de ocurrencia
Sulfuros		Pirita	FeS <sub>2</sub>	Diseminado, en vetillas y con habito masivo
		Pirrotina	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	Como cristales anhedrales en inclusiones solidas en las piritas.
		Galena	PbS	Cristales anhedrales Diseminados o como inclusiones solidas en las piritas
Sulfuros	Sulfuros que contienen Cu	Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	Diseminados, como inclusiones solidas en las piritas, en vetillas y como cristales aislados.
		Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	La bornita hipógena se encuentra asociada a la mawsonita, son cristales subhedrales a

				anhedrales. La bornita supergena, se encuentra como inclusiones en pirita.
		Mawsonita	$\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$	Diseminado en la roca.
		Calcocita	$\text{Cu}_2\text{S}$	Producto de la actividad supergena en los sulfuros.
		Covelita	$\text{CuS}$	Producto de la actividad supergena de los sulfuros
Sulfuros		Esfalerita	$(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$	Cristales subhedrales a anhedrales diseminados en la roca, también se presenta en vetillas.
		Molibdenita	$\text{MoS}_2$	Diseminado en la roca y en vetillas.
Óxidos		Goetita?	$\text{FeO}(\text{OH})$	Producto de alteración
Teluros		Calaverita?	$\text{AuTe}_2$	Cristales anhedrales que se encuentran como

			inclusiones solidas en piritas.
	Felbertalita?	$Cu_2Pb_6Bi_8S_9$	Cristales anhedrales, diseminados en la roca, se encuentra muy asociado a la mawsonita.
	Tertradymita?	$(Cu) - Bi_2Te_2S$	Cristales anhedrales, diseminados en la roca.

**Fuente:** Tomado y modificado de Rodríguez, (2014)

**Pirita:** la pirita se presenta de cuatro formas, la primera de ellas es como cristales finos, cúbicos diseminados en las rocas con tamaños promedios de 1.1 mm, la segunda de ellas como cristales anhedrales en las vetillas, y en algunos sectores como cristales cúbicos con tamaños promedio de 0.080 mm. La tercera de ellas como cristales anhedrales diseminados en la roca y por último como cristales masivos anhedrales con tamaño promedio de 0.050 mm, sin embargo, esta ultimas forma de cristalización en rara visualizarla en las muestras.

**Calcopirita:** La calcopirita cristaliza de tres formas, la primera de ellas es de forma fina y diseminada con tamaños promedios de 0.080 mm, la segunda forma es en forma de inclusión solida en las piritas y asociado a las pirrotinas el tamaño promedio de los cristales son de 0.001 mm, la última forma de cristalización es en las vetillas de forma anhedral, con tamaños promedios de 0.60 mm.

**Esfalerita:** la esfalerita cristaliza de tres maneras, la primera de ellas es de manera fina y diseminada en las rocas, los cristales tienen un tamaño promedio de 0.05 mm, la segunda manera de cristalización es de forma masiva y anhedral con cristales de tamaño promedio de 0.70 mm, y la última forma es en las vetillas de forma anhedrales, con tamaños promedios de 0.7 mm.

**Pirrotina:** la pirrotina cristaliza de una sola forma, se encuentra exclusivamente como inclusiones sólidas, en las piritas. Los cristales tienen un tamaño promedio 0.04 mm.

**Galena:** La galena cristaliza de dos formas, la primera de ellas, es como inclusión solida en las piritas, con tamaños promedios de 0.080 mm, y la segunda forma de cristalizar son como cristales anhedrales diseminados en la roca, los cristales de esta forma tienen un tamaño promedio 0.4 mm.

**Bornita:** La bornita cristaliza en de una forma en las muestras del prospecto Violetal, básicamente se genera a partir de la alteración de sulfuros, por la actividad supergena. Los cristales de bornita tienen un tamaño promedio de 1.1 mm.

**Molibdenita:** la molibdenita cristaliza de una forma, esta forma consiste de cristales con habito diseminado o masivos, distribuidos en todas rocas y en las vetillas. Los cristales tienen un tamaño promedio de 0.8 mm.

**Mawsonita:** este mineral se encuentra cristalizando de forma diseminada en la roca, se encuentra muy asociado a la bornita, quizás la bornita que se encuentra en el depósito se alteración de este mineral. Los cristales de mawsonita tienen un promedio de 1.0 mm de tamaño.

**Covelina:** mineral formado por actividad supergena a partir de sulfuros, los cristales de covelina tienen un tamaño promedio de 0.03 mm. La covelina es el mineral de actividad supergena más distribuido en las muestras del prospecto Violetal.

**Calcosina:** mineral formado por actividad supergena a partir de sulfuros, los cristales de calcosina tienen una medida promedio de 0.06 mm. La calcosina no es muy abundante en las muestras del prospecto Violetal.

**Tetradymita:** cristales anhedrales que se presentan en vetilla y como diseminados en la roca. Se caracterizan por presentar un color blanco, del tipo más brillante que la galena.

**Felbertalita:** cristales subhedrales a anhedrales, que se encuentran diseminado en la roca, estos cristales se encuentran muy asociados a la mawsonita. Los cristales tienen un tamaño promedio de 0.033 mm a 0.080 mm.

**8.1.5 Textura de la mineralogía de mena.** Las texturas identificadas en la mineralogía de mena, son de gran utilidad debido a que permiten ubicar temporalmente las fases cristalinas en la evolución de un sistema. Para el prospecto Violetal, se utilizó la terminología propuesta por Schwarts<sup>78</sup>; para contextualizar al lector con una terminología específica.

La primera textura identificada fue la “textura de frontera mutua” (Schwartz<sup>79</sup>), esta textura se presente de forma frecuente en todas las muestras del

---

<sup>78</sup> SCHWARTS, George. Classification and definitions of textures and mineral structures in ore. Society of Economic Geologist, Inc. Economic geology, v. 46, pp. 578-591. 1951

<sup>79</sup> Ibíd

prospecto Violetal, identificada entre pirita, calcopirita, esfalerita principalmente.

Textura de corona (Schwartz<sup>80</sup>), esta textura se encuentra principalmente en aquellos minerales que se están alterando, tales como calcopirita y bornita principalmente.

Textura poiquilitica (Schwartz<sup>81</sup>), esta textura comprende todas las fases minerales que se encuentran incluidas en otra fase mineral, ejemplificada en cristales de pirrotina, calcopirita, galena dentro de cristales de pirita. En algunas ocasiones también la pirrotina se encuentra dentro de cristales de calcopirita.

Textura de borde (Schwartz<sup>82</sup>), esta textura se ejemplifica con la alteración de minerales como calcopirita alterando a covelina, la cual crece desde los bordes de la calcopirita, dando una apariencia de “corona” a este último.

Textura *disease*, textura que se encuentra exclusivamente en cristales de esfalerita con exoluciones que dieron origen a calcopirita, ampliamente distribuido en la superficie de la esfalerita.

Textura pseudomorfa (Schwartz<sup>83</sup>), esta textura se ha identificado en cristales de esfalerita que cristalizan a partir de cristales máficos, que se encontraban antes de los eventos de alteración en la roca, permitiendo que las esfaleritas cristalicen en manteniendo una forma.

---

<sup>80</sup> Ibíd

<sup>81</sup> Ibíd

<sup>82</sup> Ibíd

<sup>83</sup> Ibíd

Textura dentada (Schwartz<sup>84</sup>), textura que consiste de contactos sinuosos similares a dientes entre minerales, se observó en bornita en contacto con Mawsonita (Mineral marrón reportado por Acevedo y Hernández<sup>85</sup> para el prospecto Violetal.

**8.1.6 Textura del cuarzo hidrotermal.** Para las muestras de sección delgada pulida del prospecto Violetal, se pudo identificar tres tipos de texturas, presentes en las vetillas mineralizantes, así como también en la brecha tectónica. La primera textura y más abundante, es la textura mosaico y la menos abundante en las muestras, la textura masiva y *en peine*.

La textura mosaico (Dong<sup>86</sup>; Moncada<sup>87</sup>) se identificó en diferentes eventos mineralizantes. Se caracteriza por cristales de cuarzo inequigranulares, los cristales son subhedrales a anhedrales, los cristales comprenden tamaños entre 0.030 mm a 0.070 mm.

La textura masiva (Dong<sup>88</sup>; Moncada<sup>89</sup>), se identificó solamente en dos eventos mineralizantes, caracterizados por la presencia de galena, pirrotina y teluros. Los cristales se caracterizan por ser cristales en su mayoría equigranulares, con contactos entre cristales poligonales. Los cristales son euhedrales a subhedrales. Los cristales tienen un tamaño entre 0.060 mm a 0.070 mm.

---

<sup>84</sup> *Ibíd*

<sup>85</sup> ACEVEDO Y HERNÁNDEZ Op. cit.

<sup>86</sup> DONG, Guoyi; MORRISON, Gregg; JAIRETH, Subhash. Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology* 90 (6), 1841-1856.1995

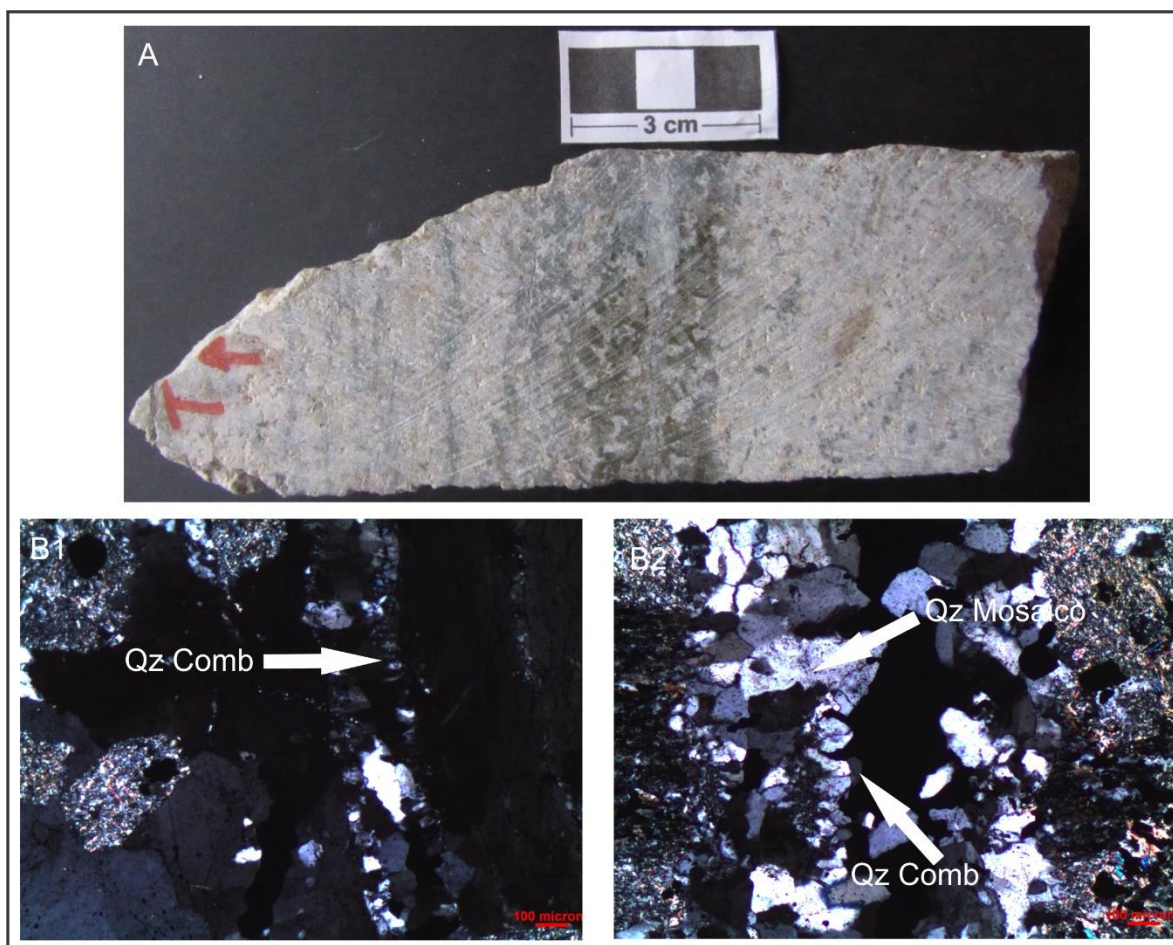
<sup>87</sup> MONCADA, Daniel; NIETO, Antonio; REYNOLDS, James.; RIMSTIDT, James; BODNAR, Roedder. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 114 (2012) 20-35. 2012

<sup>88</sup> DONG *et al.* Op. cit.

<sup>89</sup> MONCADA *et al.* Op. cit.

Por último, la textura *en peine* (Dong<sup>90</sup>; Moncada<sup>91</sup>), se identificó en un evento mineralizante, caracterizado por la presencia de galena, pirrotina y teluros. Los cristales son subhedrales a anhedrales, con contactos poligonales, los cristales tienen crecimientos desde el borde hacia el interior de la vetilla. Tienen un tamaño entre 0.020 mm a 0.040 mm. Ver figura 12.

**Figura 12.** Texturas del cuarzo hidrotermal. A) Sección del núcleo de la muestra VI-08-01 6916536 donde se puede observar las vetillas mineralizantes. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-03 6916536 que muestra la textura en peine del cuarzo hidrotermal en la vetilla. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la muestra VI-08-03 6916536 donde se observan las dos texturas (mosaico y en peine) del cuarzo hidrotermal en la vetilla. Es de resaltar la presencia de las dos texturas en la misma vetilla.



<sup>90</sup> DONG *et al.* Op. cit.

<sup>91</sup> MONCADA *et al.* Op. cit.

**8.1.7 Vetillas y brechas.** En las muestras del prospecto Violetal, se identificaron varios eventos de vetillas mineralizantes, asociados a los eventos magmáticos e hidrotermales del sistema. A continuación, se muestran en la tabla, las vetillas identificadas para cada una de las muestras que lo presentan, además de una breve descripción.

**Tabla 3.** Eventos mineralizantes identificados en las muestras del prospecto Violetal. En cada uno de los eventos se analizó relación de corte, forma de crecimiento de los cristales, texturas, asociación mineral y espesor.

Muestra	Relación de Corte	Mecanismo de formación	Crecimiento de los cristales	Textura del cuarzo	Asociación mineral	Espesor
6268456	Vetilla 1	Extensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph	9 mm
	Vetilla 2	Extensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph	4.5 mm
	Vetilla 3	Extensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Po	2 mm
	Vetilla 4	Extensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Po	1.2 mm
6268154	Vetilla 1	Cizalla	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Po	1 mm
	Vetilla 2	Cizalla	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn	1.2 mm
	Vetilla 3	Cizalla	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1 mm
6916680	Vetilla 1	Cizalla	Antitaxial	Masivo	Qz+Py+Ccp+Sph+Po	1.1 mm
	Vetilla 2	Extensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Po	10 mm
	Vetilla 3	Cizalla	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Po+Sph	1 mm
6916679	Vetilla 1	Cizalla	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol	1.1 mm
	Vetilla 2	Cizalla	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol	0.8 mm
	Vetilla 3	Cizalla	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Sph+Po	2 mm
6916676	Vetilla 1	Cizalla	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Mol+Gn+Sph	0.4 mm
	Vetilla 2	Tensión	Sintaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+Gn+Mol	0.8 -1.1 mm
	Vetilla 3	Tensión	Antitaxial	Mosaico	Qz+Py+Ccp+po+Gn+Mol+Sph	0.5- 1 mm
6916536	Vetilla 1	Cizalla	Sintaxial	Mosaico, en peine	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Ttd?	0.2 mm
6964995	Vetilla 1	Cizalla		-	Py ± Ccp	0.1 mm
	Vetilla 2	Cizalla		-	Ank	1 mm

**8.1.8 Secuencia paragenética.** En la elaboración de la secuencia paragenética del prospecto Violetal, se analizaron 7 muestras de núcleo, así como sus respectivas secciones delgadas pulidas, para que, a partir de las relaciones de corte, se pudiera establecer el orden de los eventos. Sin embargo, debido a que no se pudo determinar relaciones de corte que involucraran todos los eventos ya que en las muestras se carecen de evidencias que relacionen las muestras entre sí, para este trabajo se decidió mostrar cada una de los eventos de cada muestra de acuerdo a la profundidad de las mismas.

A continuación, se describen cada uno de los eventos en las muestras de forma ascendente y teniendo en cuenta las relaciones de corte dentro de la muestra.

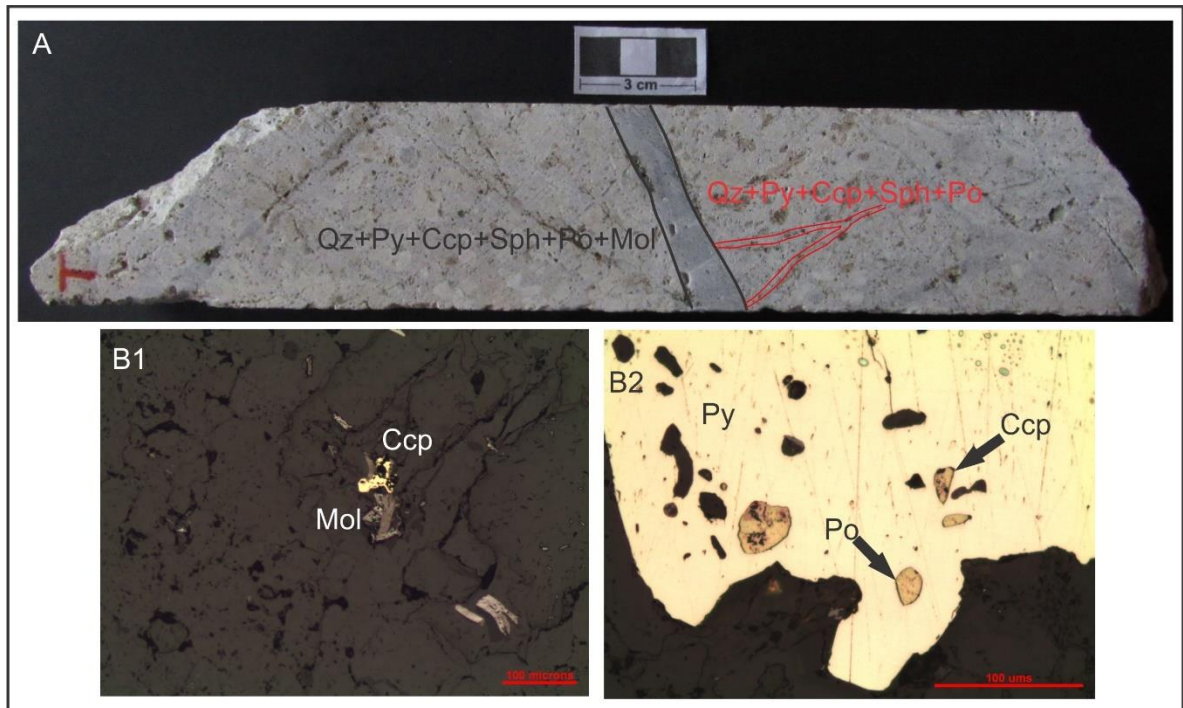
Muestra VI-08-01 6916680: Esta muestra corresponde a una roca porfírica riolítica, y se encuentra entre 450.00 m a 450.20 de profundidad. En esta sección delgada pulida se identificaron 3 eventos mineralizantes, el primero de ellos corresponde a una vetilla en la que se asocian Qz+Py+Cc+Sph+Po, vetilla que tiene la característica de tener cuarzo masivo, así como sulfuros diseminados. El tamaño de los cristales de cuarzo es equigranular, y los contactos entre cristales son poligonales. Tanto la calcopirita como la pirrotina se encuentran como inclusiones solidas dentro de las piritas, sugiriendo que hubo un primer evento que cristalizó calcopirita y pirrotina y algo de pirita, para posteriormente cristalizar la pirita que las envuelve. La pirita para esta vetilla es subhedral a anhedral.

El segundo evento mineralizante corresponde a una asociación de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Mol, vetilla en la cual se encuentra un cuarzo con textura mosaico, presenta gradación del núcleo al exterior, la vetilla es inequigranular bimodal, entre los cuarzos existen contactos poligonales propios de los tamaños de grano más grueso. Los sulfuros de las vetillas se

encuentran diseminados, como en el anterior evento se observa calcopirita y pirrotina dentro de pirita, sugiriendo así, dos eventos para la formación de la vetilla. En este evento se observa una pirita más cubica por tanto más euhedral, aunque también se encuentra pirita subhedral a anhedral.

El último evento mineralizante corresponde a una vetilla de  $Qz+Py+Ccp+Sph+Po$ , se caracteriza por la presencia de un cuarzo con textura mosaico, los contactos entre los cuarzos son inequigranulares-lobulados, y en algunos sectores de la vetilla se pueden observar disminución del tamaño de grano. Los sulfuros se encuentran diseminados en la vetilla, nuevamente se observan inclusiones de pirrotina y calcopirita en pirita, además de que algunas calcopiritas rodean cristales de pirita, en forma de corona, sugiriendo esto hasta tres eventos para la formación de la vetilla. Los cristales de la pirita son subhedral a anhedral. Ver figura 13.

**Figura 13.** Imágenes de la muestra VI-08-01 6916680. A) sección del núcleo de la muestra 6916680, donde se identificaron los eventos mineralizantes. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Mol donde se observa la asociación de calcopirita y molibdenita. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla Qz+Py+Ccp+Sph+Po donde se observa la asociación de pirita, calcopirita y pirrotina.

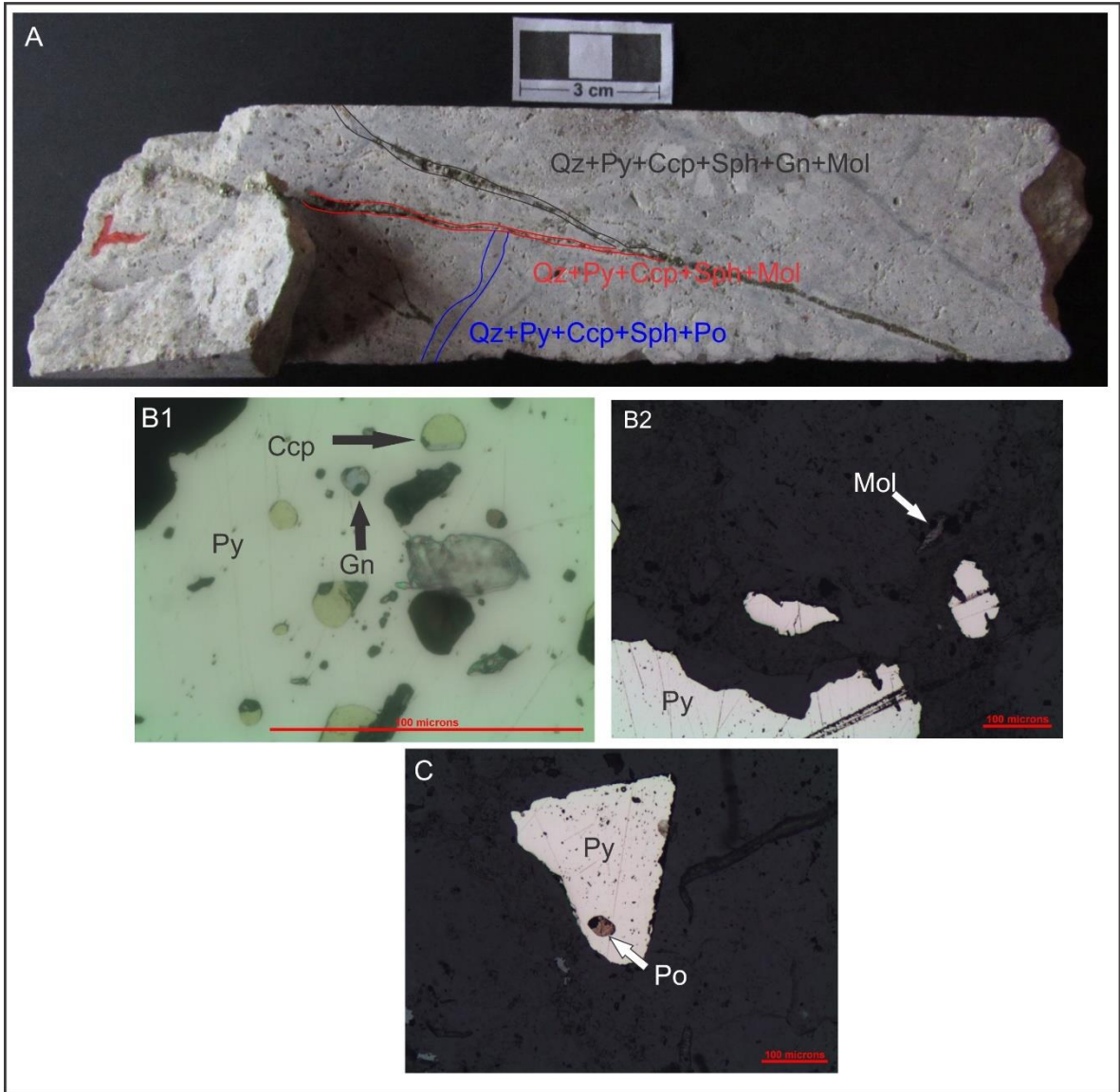


Muestra VI-08-01 6916679: Esta sección corresponde a un pórfido riolítico que se encuentra de 448.35 m a 448.55 m de profundidad, en el cual se identificaron tres eventos mineralizantes. El primer evento corresponde a una asociación de Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol, la vetilla se caracteriza por tener un cuarzo de textura mosaico, los cristales de cuarzo algunos son alargados en dirección de la vetilla, los contactos entre los cristales son poligonales y en algunos sectores disminuye el tamaño de grano hacia el borde. Los sulfuros se encuentran diseminados, la galena se encuentra como inclusión en pirita, además de que algunas piritas rodean también cristales de molibdenita. Sugiriendo que la vetilla tiene dos eventos de formación.

El segundo evento corresponde a una asociación de Qz+Py+Ccp+Sph+Mol, que se caracteriza por tener un cuarzo de textura mosaico, los contactos entre los cristales son poligonales, en algunos sectores la vetilla se adelgaza y se engrosa, además de que presenta disminución de tamaño de cristales de cuarzo hacia los bordes. Los sulfuros se encuentran diseminados, en algunos sectores hay concentración de molibdenita hacia los bordes de la vetilla.

El tercer evento mineralizante se da con la asociación de Qz+Py+Ccp+Sph+Po, este evento se caracteriza por la presencia de un cuarzo con textura mosaico, los contactos entre los cristales son interlobulados y poligonales, hay pequeños cristales de cuarzo implantados en cuarzos más grandes. Los sulfuros se encuentran diseminados, en algunos sectores hay cristales de pirrotina incluidos en pirita, sugiriendo dos eventos para la formación de la vetilla. Los cristales de pirita en algunos sectores son cúbicos. Ver figura 14.

**Figura 14.** Imágenes de la muestra VI-08-01 6916679. A) sección del núcleo de la muestra 6916679 donde se pueden observar los 3 eventos mineralizantes presentes en la muestra. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol donde se observa la asociación de pirita, calcopirita y galena. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Mol donde se observa la asociación de pirita y molibdenita. C) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po donde se observa la asociación de pirita y pirrotina.



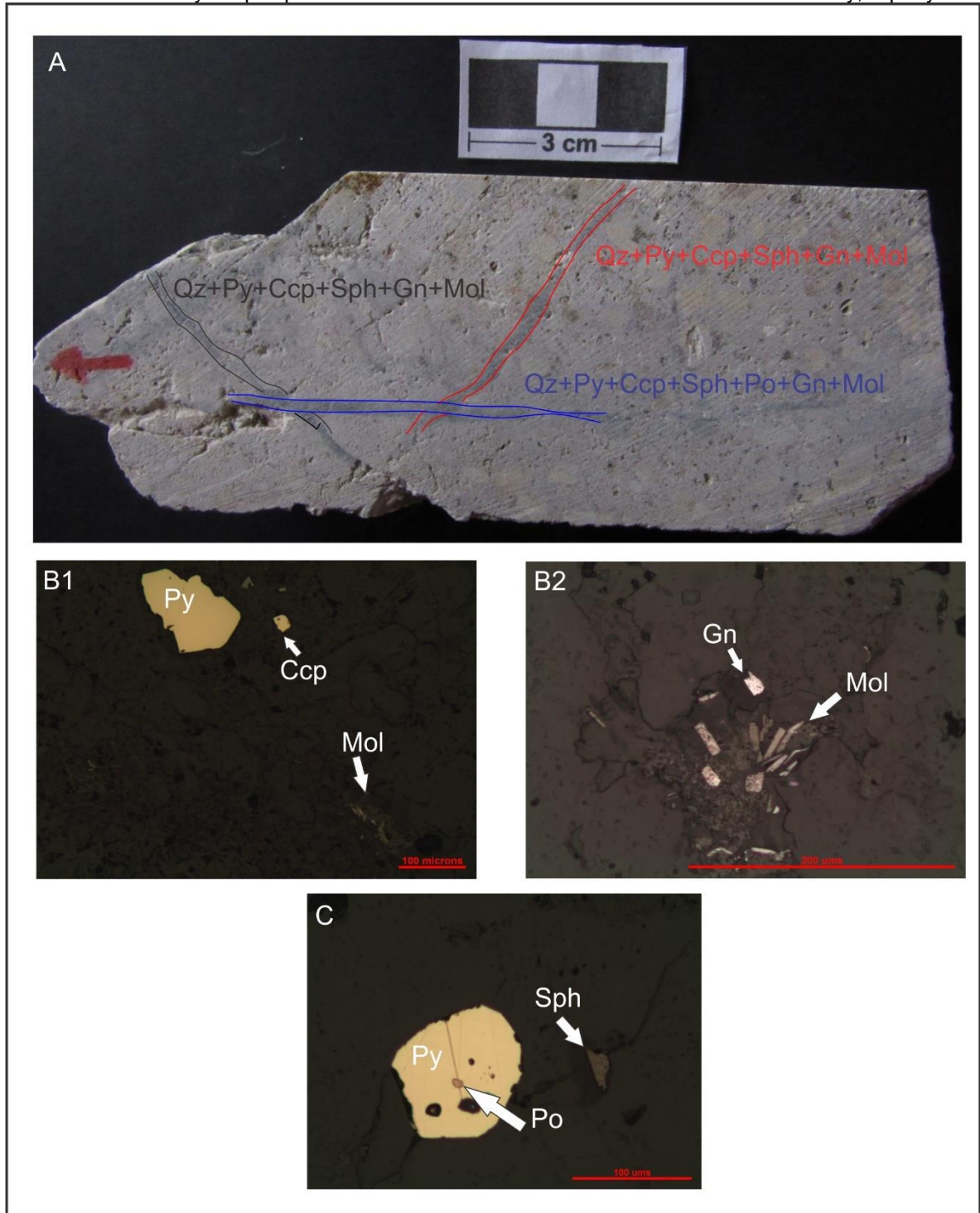
Muestra VI-08-01 6916676: Esta sección corresponde a un pórfido riolítico que se encuentra entre 443.90 m a 440.00 de profundidad. Se identificaron 3 eventos mineralizantes. El primero de ellos corresponde a la asociación

Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol. Este evento se caracteriza por tener un cuarzo de textura mosaico, con cristales inequigranulares, los contactos son poligonales, hay disminución del tamaño de grano hacia el borde. Los sulfuros se encuentran diseminados en la vetilla.

El segundo evento presenta la asociación Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol, se caracteriza por tener un cuarzo de textura mosaico, los cristales de cuarzo son inequigranulares bimodal, los contactos son poligonales y en algunos casos interlobulados, también se observa una disminución del tamaño de grano hacia los bordes. Los sulfuros se encuentran diseminados.

El tercer evento presenta la asociación Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol, este evento se caracteriza por presentar cuarzo con textura mosaico, cristales inequigranulares seriados, con contactos poligonales, también hay una disminución del tamaño de grano hacia los bordes de la vetilla. Los sulfuros se encuentran diseminados, aunque en algunos sectores hay alta concentración de molibdenita. Se encuentra también inclusiones de pirrotina en pirita, sugiriendo dos eventos para la formación de la vetilla, también eso quizás pueda explicar la concentración de molibdenita en algunos sectores. Ver figura 15.

**Figura 15.** Imagen de la muestra VI-08-01 6916676. A) Sección del núcleo de la muestra 6916676 donde se identificaron tres eventos mineralizantes. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol donde se observa la asociación de pirita, calcopirita y molibdenita. B2) imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol donde se observa la asociación de galena y molibdenita. C) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol donde se observa la asociación de Py, Sph y Po.

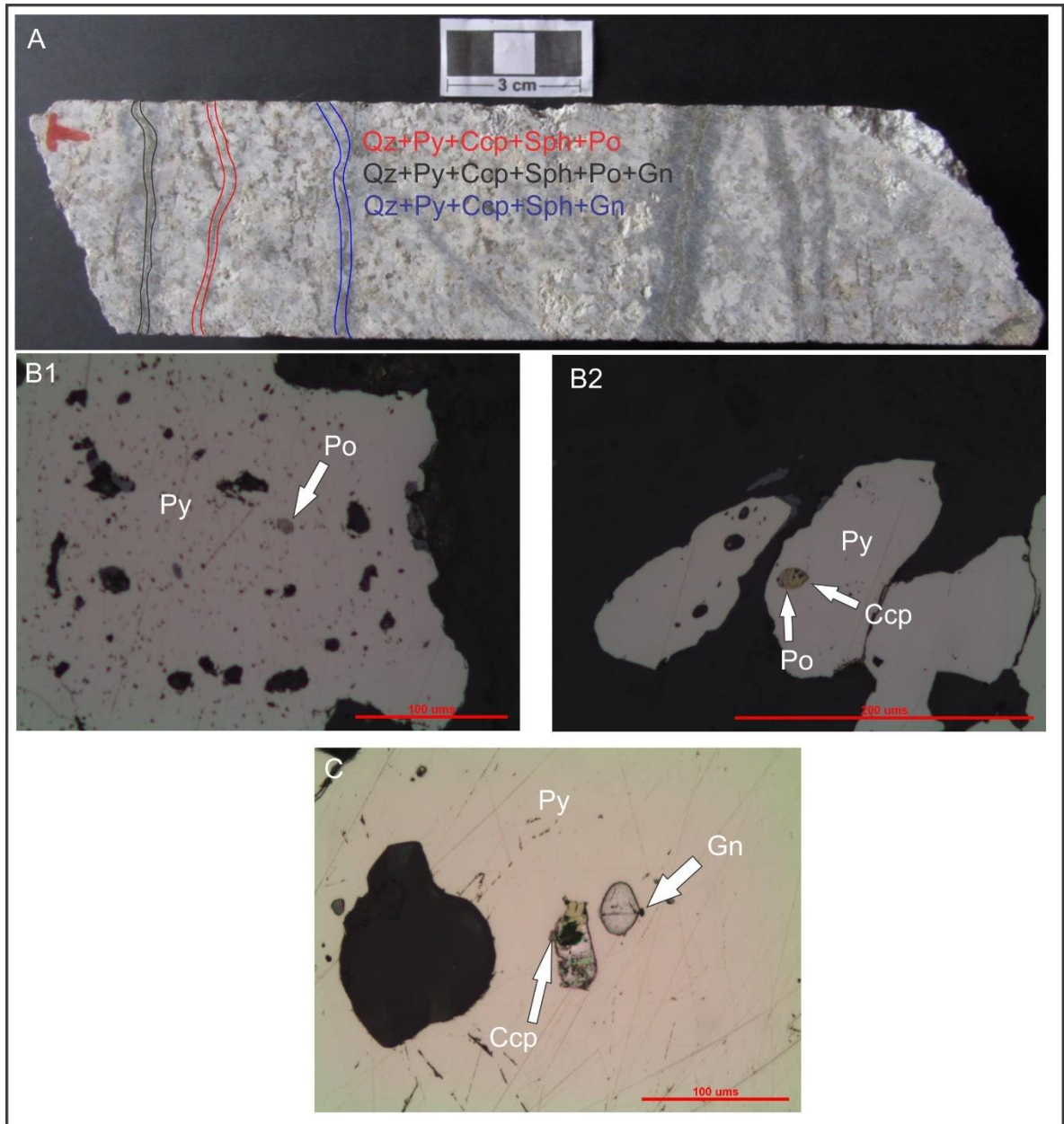


Muestra VI-08-03 6268154: Esta sección corresponde a un granito, que se encuentra desde 273.80 m a 274.00 m de profundidad. En esta sección se identificaron tres eventos mineralizantes. El primer evento corresponde a una asociación de  $Qz+Py+Ccp+Sph+Po$ , este evento se caracteriza por tener un cuarzo de textura mosaico, los cristales son inequigranulares, los contactos son poligonales. Los sulfuros se encuentran diseminados, aunque en algunas partes se encuentran calcopirita y pirrotina como inclusiones solidas en pirita, esto sugiere dos eventos para la formación de la vetilla, también se observan cristales de esfalerita rodeados por cristales de pirita. En esta vetilla los cristales de pirita se encuentran hacia el centro de Vetilla, siendo por tanto la “sutura”.

El segundo evento presenta la asociación  $Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn$ , este evento se caracteriza por presentar un cuarzo con textura mosaico, se observan cristales inequigranulares, los contactos entre los cristales de cuarzo son interlobulados y poligonales. Los sulfuros se encuentran diseminados, aunque se observan cristales de galena, calcopirita y pirita como inclusiones solidas en cristales de pirita, esto sugiere dos eventos para la formación de la vetilla. Nuevamente para esta vetilla los cristales de pirita se concentran en la parte central de la misma.

El tercer evento presenta la asociación  $Qz+Py+Ccp+Sph+Gn$ , este evento se caracteriza por presentar un cuarzo de textura mosaico, los cristales son inequigranulares con contactos interlobulados y poligonales, además se observó una disminución en el tamaño de grano hacia el borde la vetilla. Los sulfuros se encuentran diseminados, aunque se observan cristales de calcopirita y galena como inclusiones solidas en cristales de pirita, sugiriendo esto, dos eventos para la formación de la vetilla. En la vetilla también se observa concentraciones de pirita a lo largo del interior de la vetilla. Ver figura 16.

**Figura 16.** Imagen de la muestra VI-08-03 6268154. A) Sección del núcleo de la muestra 6268154 donde se observan los tres eventos mineralizantes identificados para esta muestra. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po donde se observa la asociación de pirita y pirrotina. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn donde se observa la asociación de pirita, calcopirita y pirrotina. C) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Gn donde se observa la asociación de pirita, calcopirita y galena.

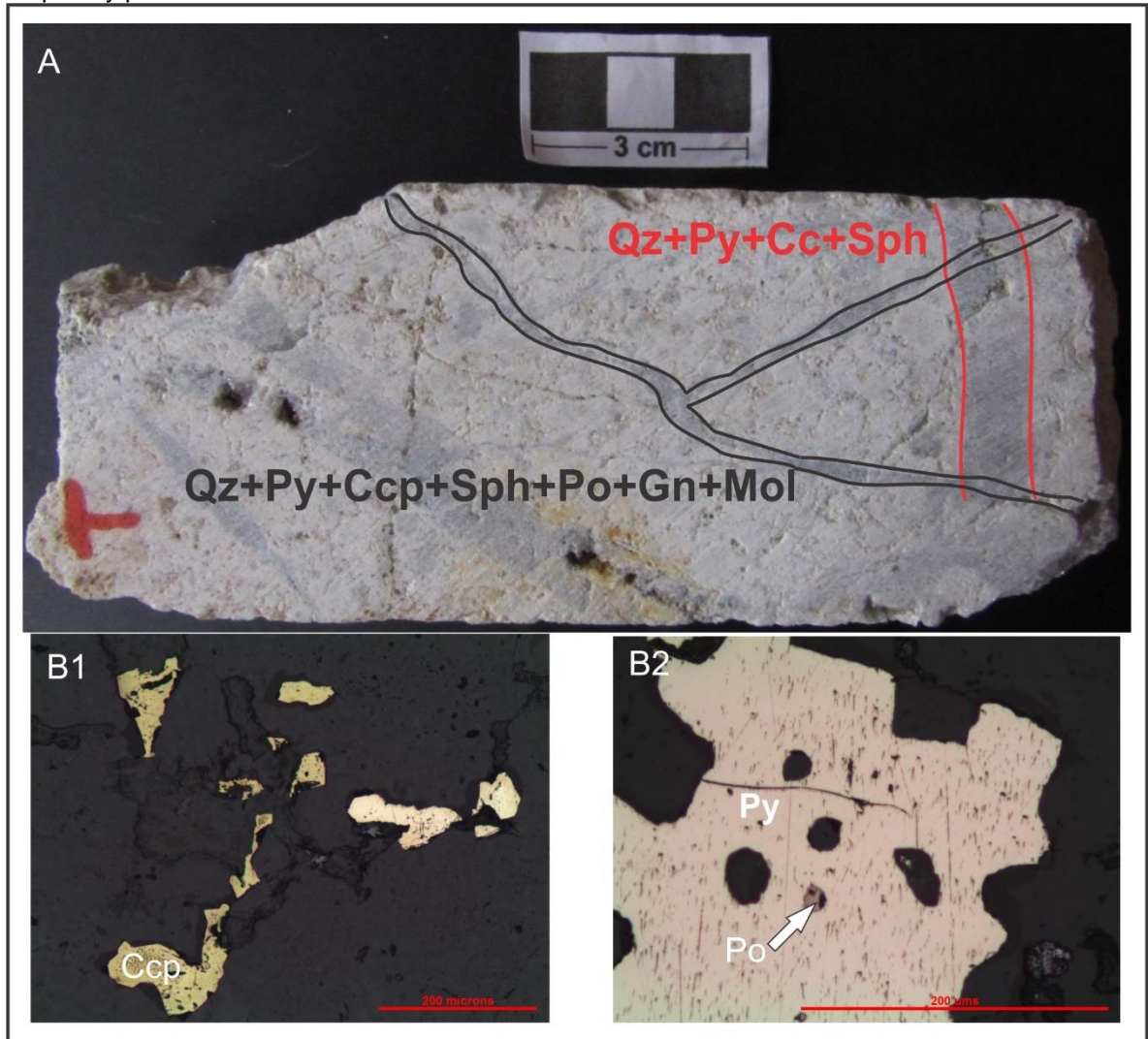


Muestra VI-08-04 6268456: Esta sección corresponde a un pórfido riolítico, que se encuentra desde 259.70 m a 259.80 m de profundidad. En esta sección se identificaron cuatro eventos mineralizantes. El primero de ellos presenta la asociación Qz+Py+Ccp+Sph, con un cuarzo de textura mosaico, los contactos entre los cristales son inequigranulares interlobulados, hay una disminución en el tamaño de grano hacia el borde de la vetilla. Los sulfuros se encuentran diseminados. Se observan algunos cristales cúbicos de pirita.

El segundo evento presenta la asociación Qz+Py+Ccp+Sph, con un cuarzo de textura mosaico, con contacto entre los cristales inequigranular interlobulado, en algunos casos contactos poligonales. Los sulfuros se encuentran diseminados en la vetilla. Se observan también algunos cristales cúbicos de pirita.

El tercer y cuarto evento presentan la asociación Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol, con un cuarzo de textura mosaico, los cristales son inequigranulares, con contactos poligonales. Los sulfuros en ambas vetillas se cuentan diseminados, aunque se observan cristales de pirrotina dentro de piritas. Sugiriendo que hubo dos eventos en la formación de las vetillas. Estas vetillas se correlacionan debido a que contienen la misma mineralogía, así como las texturas y formas de los cristales. Ver figura 17.

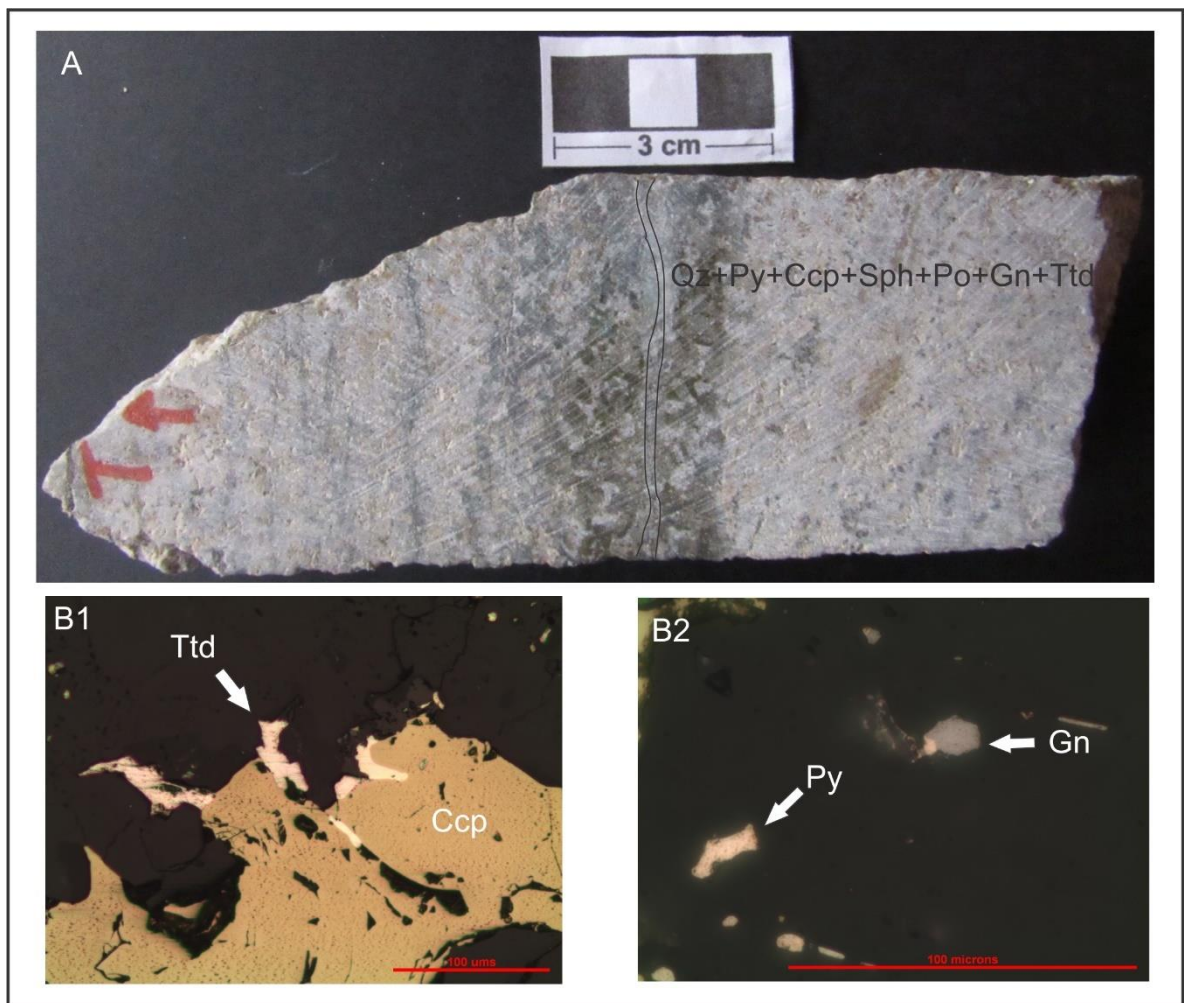
**Figura 17.** Imagen de la muestra VI-08-04 6268456. A) Sección del núcleo donde se observa los eventos mineralizantes identificados en la muestra. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla Qz+Py+Ccp+Sph donde se observa la paragénesis de calcopirita y pirita. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol donde se observa la asociación de pirita y pirrotina.



Muestra VI-08-01 6916536: Esta sección corresponde un granito, que se encuentra desde 212.80 m a 212.90 m de profundidad. En esta sección se identificó un solo evento el cual presenta Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Ttd, y se caracteriza por presentar un cuarzo de textura mosaico y en peine, los cristales son inequigranulares, con contacto poligonal. Los sulfuros se encuentran diseminados, aunque se observaron cristales de calcopirita,

galena y pirrotina dentro de cristales de pirita, también se observan cristales de esfalerita siendo rodeados por cristales de pirita, estas evidencias sugieren por lo menos dos eventos para la formación de la vetilla. La vetilla cuanta con sutura central de pirita.

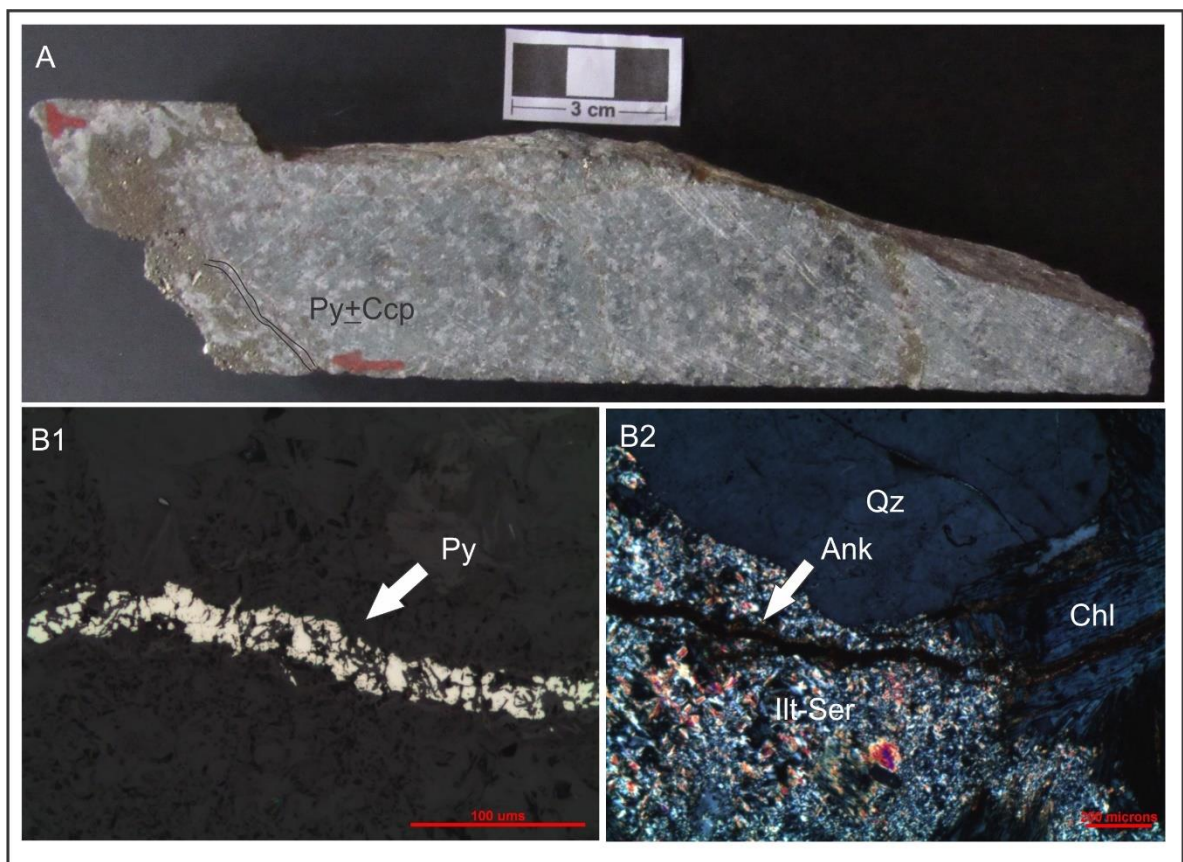
**Figura 18.** Imagen de la muestra VI-08-01 6916536. A) Sección del núcleo de la muestra 6916536 donde se observa el evento mineralizante para esta muestra. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Ttd donde se observa la asociación de Tetradymita y calcopirita. B2) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Ttd donde se observa la asociación de galena y pirita.



Muestra VI-08-01 6964995: Esta sección corresponde a un granito, que se encuentra desde 149.10 m a 149.30 m de profundidad. En esta sección se

identificaron dos eventos, el primero de ellos solamente cuenta con la presencia de pirita, con forma cubica en su mayoría, además de que en algunos sectores también hay presencia de calcopirita muy fina. El segundo evento son vetillas de ankerita, que cortan las vetillas de pirita. Ver figura 19.

**Figura 19.** Imagen de la muestra VI-08-01 6964995. A) Sección del núcleo de la muestra 6964995 donde se puede apreciar el evento para esta muestra. Se debe aclarar, que la muestra tiene dos eventos, sin embargo, el evento de la ankerita no se alcanza a divisar. B1) Imagen de la sección delgada pulida de la vetilla de Py. B2) Imagen de la sección delgada pulida donde se puede observar la presencia de la vetilla de Ank, la cual se encuentra cortando la alteración clorita-sericita.



**Tabla 4.** Tabla con los minerales de la secuencia paragenéticas, ubicadas espacialmente por las relaciones de corte locales de cada muestra y posteriormente por profundidad entre los eventos de del prospecto Violetal.

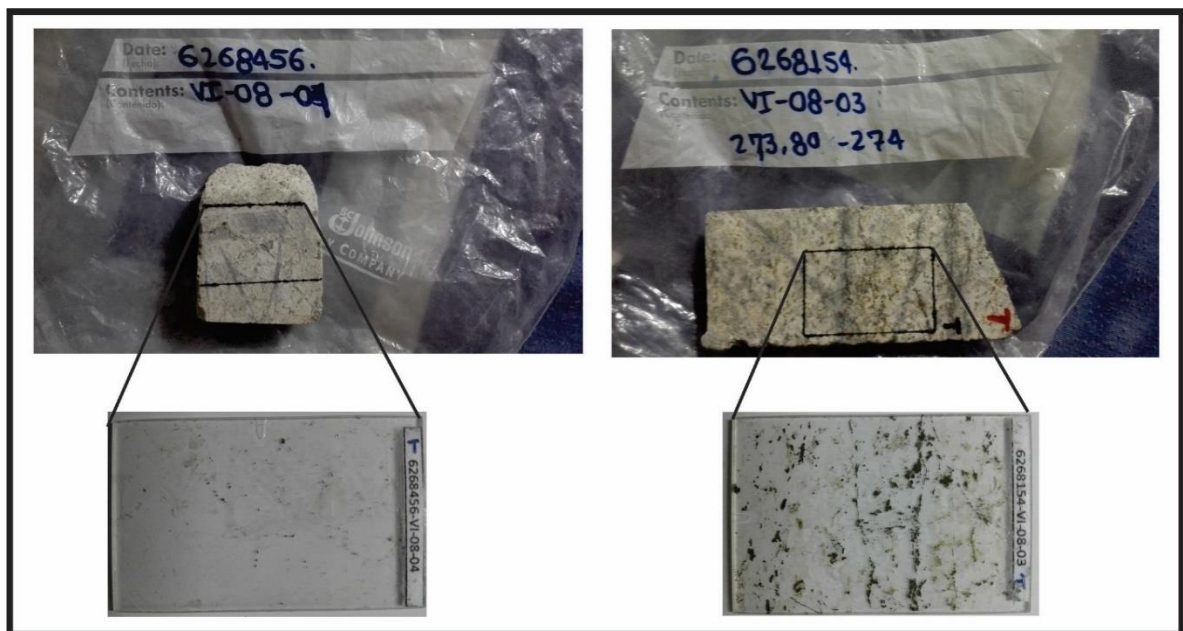
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10	Supergeno	
<b>Minerales de Mena</b>	Pirita												
	Fina cubica Diseminada		.....	-----		-----				-----			
	Vetillas, anhedral								-----				
	Anhedral, diseminada												
	Masiva, anhedral							.....					
	Calcopirita												
	Fina, diseminada		-----	-----						-----			
	Inclusion solida		.....	.....					.....				
	Vetillas, anhedral												
	Inclusion dessease												
	Esferalerita												
	Fina, diseminada	-----											
	Masiva, anhedral												
	Vetillas, anhedral												
	Galena				-----	-----			-----	-----			
	Molibdenita												
	Pirotina		-----	-----					-----	-----			
	Tetradymita												
Bornita												.....	
Covelita												.....	
Calcosina												.....	
Oxidos de hierro												.....	
<b>Vetillas</b>	Qz+Py+Ccp+Sph a y b	-----											
	Qz+Py+Ccp+Sph+Po a y b		-----										
	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Mol			-----									
	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol a y b				-----								
	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol					-----							
	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol						-----						
	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Tld							-----					
	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn								-----				
	Py±Ccp									-----			
	Ank										-----		

## 8.2 ESPECTROMETRIA RAMAN Y MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS

El desarrollo de las inclusiones fluidas se hizo en base a dos secciones delgadas doblemente pulidas, que fueron escogidas a partir de la determinación de las secuencias paragenéticas determinadas en la fase de la petrografía. Esta determinación consistió en la búsqueda de vetillas con asociaciones minerales de interés (minerales de mena de molibdeno, cobre, oro o plata) asociados a cuarzos hidrotermales. A pesar de que algunas muestras tienen vetilla sin mineralización importante, sin embargo, fueron estudiadas para entender la evolución de los fluidos. Las muestras seleccionadas para el estudio fueron:

- Muestra: VI-08-04 6268456 (Figura 19). Se escogieron los cuarzos en la vetilla 1 de Qz+Py+Ccp+Sph; Vetilla 2 Qz+Py+Ccp+Sph; Vetilla 3 Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Gn+Po. Vetilla 4 Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Gn+Po Para un total de 41 datos.
- Muestra: VI-08-03 6268154 (Figura 20). Se escogieron los cuarzos en la vetilla 1 de Qz+Py+Ccp+Sph+Po; vetilla 2 Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn; Vetilla 3 Qz+Py+Ccp+Sph+Gn. Para un total de 18 datos.

**Figura 20.** Muestras analizadas en la técnica de microtermometría. Las imágenes de la izquierda corresponden a las muestras de núcleo y sección doblemente pulida de la muestra VI-08-04 6268456; las imágenes de la derecha corresponden a la muestra de núcleo y sección doblemente pulida de la muestra VI-08-03 6268154.



**8.2.1 Petrografía de inclusiones fluidas.** Para el desarrollo de la etapa de petrografía de inclusiones fluidas, se tuvieron en cuenta características de los cristales de cuarzo a analizar, así como de las inclusiones fluidas; que permitieran clasificarlas adecuadamente. Además, se tuvo en cuenta la metodología de Van Den Kerkhof and Hein<sup>92</sup>. A continuación, se enlistan las características para la clasificación.

**Tabla 5.** Descripción de las características de las inclusiones fluidas en las muestras del prospecto Violetal.

<b>Característica</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Muestras	M1	VI-08-04 6268456	
	M2	VI-08-03 6268154	
Composición Vetillas	M1-1	Qz+Py+Ccp+Sph	
	M1-2	Qz+Py+Ccp+Sph	
	M1-3	Qz+Py+Ccp+Sph+Mol+Gn+P o	
	M2-1	Qz+Py+Ccp+Sph+Po	
	M2-2	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn	
	M2-3	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	
Ubicación de las inclusiones fluidas dentro del cristal de cuarzo	N	Núcleo del cristal	
	G	Plano del crecimiento del cristal	
	A	Alineaciones dentro del cristal	Principalmente asociado a inclusiones de tipo secundarias. Estas

<sup>92</sup> VAN DEN KERKHOFF, Alfons and HEIN Ulrich. Fluid inclusions petrography. Lithos, 55: 27-47. 2001

			alineaciones pueden ser en el grano; de borde de grano a borde de grano; de borde de grano al interior. (Vollbrecht, 1989)
Origen- Temporalidad	P	Primarias	Se forman durante la precipitación del cristal, contienen fluidos del momento de cristalización.
	Ps	Pseudosecundarias	Se forman durante el crecimiento del cristal, en zonas de fracturamiento de este.
	S	Secundarias	Se forman en zonas de fracturas, posteriores a la

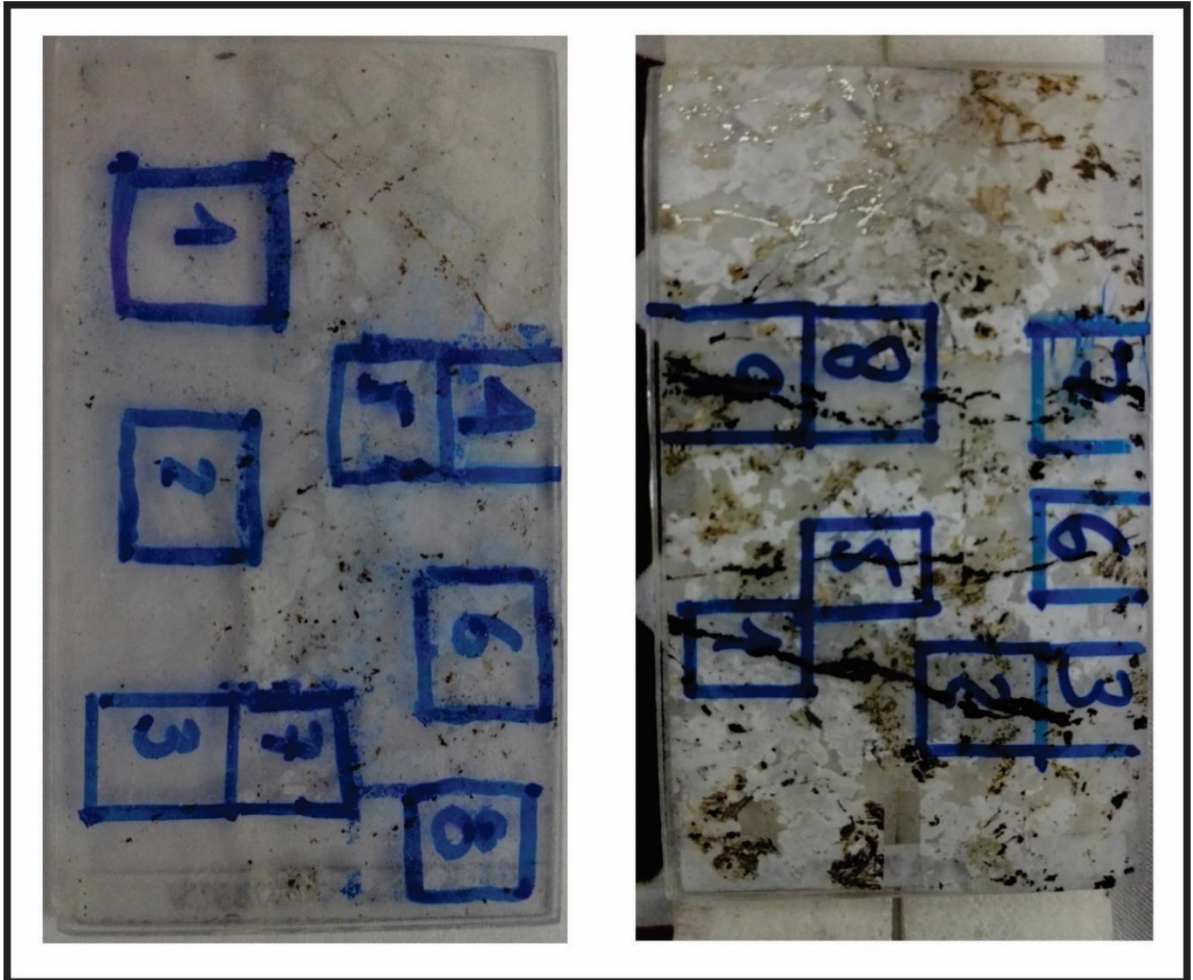
			formación del cristal.
	I	Indeterminado	Inclusiones fluidas que se encuentran aisladas en el cristal, por tanto, imposible de determinar un origen-temporalidad.
Componentes	V	Vapor	Compuesto principalmente de SO <sub>2</sub> además de otros gases no identificados.
	L	Líquido	
	S	Sólido	
Clasificación de las inclusiones fluidas basado en sus componentes (Nash, 1976)	1	Líquido>Vapor	Ricas en líquido
	2	Líquido<Vapor	Ricas en vapor
	3	Líquido>Vapor-Sólido	Ricas en líquido, vapor y sólidos.
Forma		Alargadas, ovaladas, esféricas, semi-tabulares, amorfas.	

Modificación de las inclusiones fluidas post-entrapamiento	R	Stretching and necking down	Estiramiento y ensanchamiento
	E	Explosión, implosión-decrepitación	
	L	Leakage	Fugas de los fluidos acuosos.
Familias de inclusiones fluidas	Asociación de inclusiones fluidas (FIA's)		Conjunto de inclusiones fluidas, a las cuales pertenecen aquellas que tienen similitudes, tanto origen-temporalidad como en Th, Te, etc...

**Fuente.** Tomado de Rodríguez (2014) y modificado por el autor.

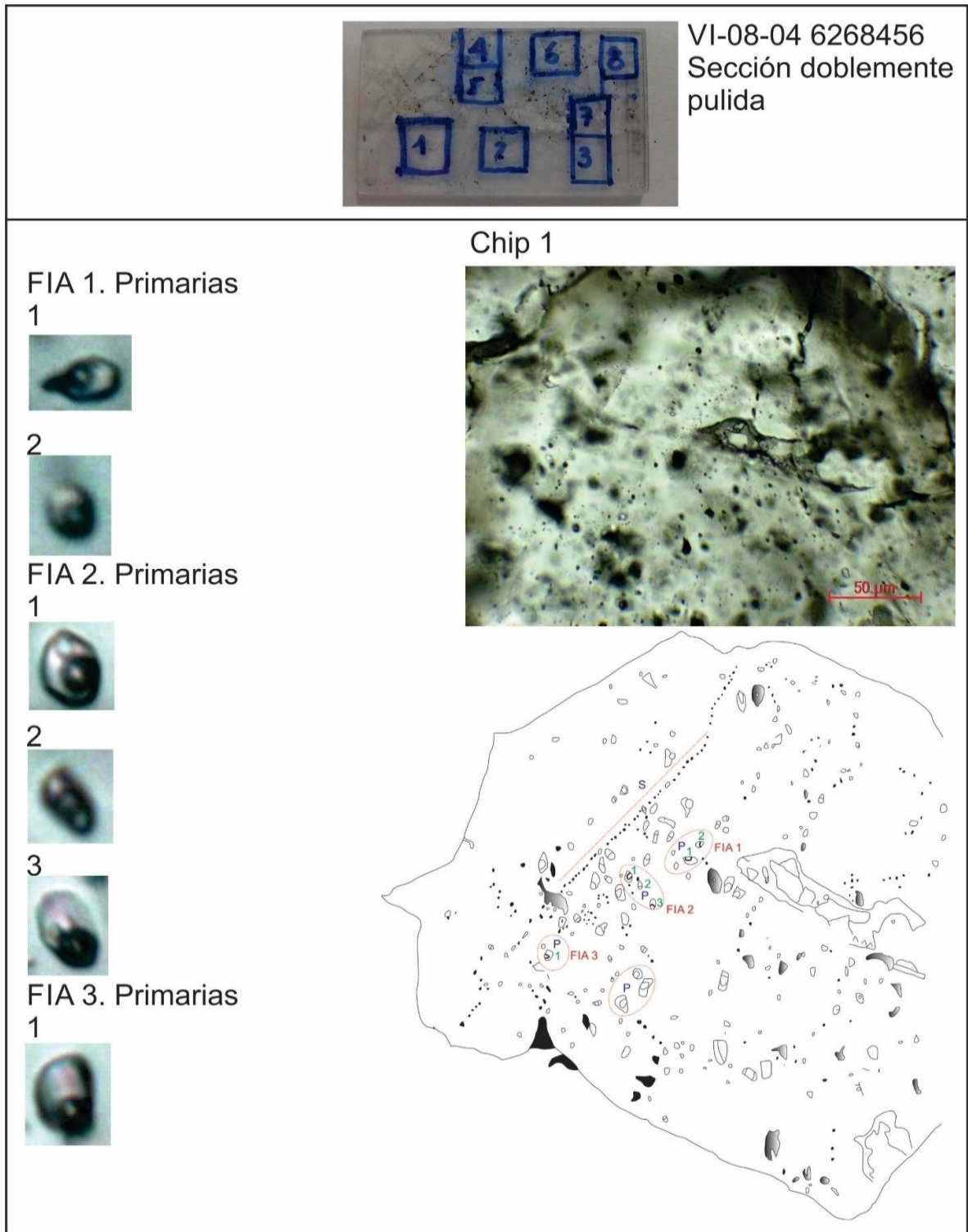
Para el estudio de inclusiones fluidas se tomaron cada una de las muestras y se realizaron 8 chips en la muestra VI-08-04 6268456 y 7 chips en la muestra VI-08-03 6268154 (Figura 21)

**Figura 21.** Secciones doblemente pulidas. A la izquierda la sección VI-08-04 6268456 con sus respectivos chips, y a la izquierda la sección VI-08-03 6268154 con sus respectivos chips. Nota: A pesar de que la muestra VI-08-04 6268456 tiene 8 chips identificados, el chip 1 se fracturo durante el proceso de medición de la muestra; y la muestra VI-08-03 6268154 a pesar de tener identificados 9 chips, no se analizó el chip 4 ya que este se fracturo en el proceso de medición de la muestra del vidrio



De la muestra VI-08-04 6268456 se identificaron y analizaron en total 24 FIA's, resaltando que estas no eran las únicas FIA's que se encontraban en los cristales, las FIA's se distribuían de la siguiente manera:

**Figura 22.** Inclusiones fluidas presentes en cristal de cuarzo, de la vetilla 1, muestra VI-08-04 6268456 que corresponde a un pórfido riolítico. La ubicación del cristal dentro del chip es en el centro del mismo. Las inclusiones analizadas se encuentran en el centro y hacia el exterior del cristal.



**CHIP 1** FIA 1). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, las inclusiones fluidas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1, tienen un tamaño de 5,99  $\mu\text{m}$  y 3,4  $\mu\text{m}$ . FIA 2). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, tienen un tamaño entre 3,33  $\mu\text{m}$  a 6,98  $\mu\text{m}$ , tienen formas ovaladas alargadas. FIA 3). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasifica como primaria, bifásica tipo 1, tiene un tamaño de 5,31  $\mu\text{m}$ , la inclusión tiene forma ovalada.

**CHIP 2** FIA 1). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, tiene un tamaño de 8,49  $\mu\text{m}$ , tiene una forma casi cuadrada. FIA 2). Compuesta por cinco inclusiones, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, tiene un tamaño de 8,97  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma alargada. FIA 3). Compuesta por tres inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, tiene una medida de 4,25  $\mu\text{m}$ , y tiene forma casi similar a un pentágono. FIA 4). Compuesta por cinco inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, y con una forma ovalada.

**CHIP 3** FIA 1). Compuesta por seis inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1 y tipo 2, tienen un tamaño entre 7,24  $\mu\text{m}$  a 8,88  $\mu\text{m}$ , tienen forma similar a un hexágono y ovalada. FIA 2). Compuesto por cuatro inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1 y tipo 2, tienen un tamaño de 4,96  $\mu\text{m}$  a 7,24  $\mu\text{m}$ , tienen formas ovaladas. FIA 3). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 3,51  $\mu\text{m}$ , y tiene forma similar a un hexágono.

**CHIP 4** FIA 1). Compuesta por seis inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, tiene un tamaño de 3,78  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma similar a un hexágono. FIA 2). Compuesta por cuatro inclusiones, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, tiene un tamaño de 11,6  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma similar a un pentágono alargado. FIA 3). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 4,17  $\mu\text{m}$ , y tiene forma similar a un círculo.

**CHIP 5** FIA 1). Compuesta por cinco inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, tienen un tamaño entre 2,97  $\mu\text{m}$  y 9,63  $\mu\text{m}$ , tienen forma ovaladas. FIA 2). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, con tamaños de 5,25  $\mu\text{m}$  y 12,01  $\mu\text{m}$ , y tienen formas ovaladas y casi circular. FIA 3). Compuesta por dos inclusiones, clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, con tamaños de 6,13  $\mu\text{m}$  y 6,22  $\mu\text{m}$ , y tienen forma ovalada casi circular.

**CHIP 6** FIA 1). Compuesta por doce inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1, tiene un tamaño entre 4,57  $\mu\text{m}$  y 5,48  $\mu\text{m}$ , y tienen formas ovaladas alargadas. FIA 2). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 4,33  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma ovalada. FIA 3). Compuesta por tres inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, con tamaños de 3,85  $\mu\text{m}$  y 6,36  $\mu\text{m}$ , con una forma tabular.

**CHIP 7** FIA 1). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, tienen un tamaño entre 4,05  $\mu\text{m}$  a 10,11  $\mu\text{m}$ , y tienen formas ovaladas. FIA 2).

Compuesta por tres inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 2, tienen un tamaño de 4,72  $\mu\text{m}$  y 4,78  $\mu\text{m}$ , y tienen una forma ovalada y circular. FIA 3). Compuesta por seis inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1 y 2 tienen un tamaño entre 3,66  $\mu\text{m}$  y 9,03  $\mu\text{m}$ , y tienen una forma ovalada.

**CHIP 8** FIA 1). Compuesta por cinco inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 2,85  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma ovalada. FIA 2). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 6,30  $\mu\text{m}$  y una forma ovalada. FIA 3). Compuesta por una inclusión fluida, clasificada como primaria, bifásica tipo 1, tiene un tamaño de 3,40  $\mu\text{m}$  y una forma ovalada.

De la muestra VI-08-03 6268154 se identificaron y analizaron en total 16 FIA's, resaltando que estas no eran las únicas FIA's que se encontraban en los cristales, las FIA's se distribuían y localizaban de la siguiente manera:

**CHIP 1** FIA 1). Compuesta por cinco inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasifica como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 6,09  $\mu\text{m}$  y una forma tabular. FIA 2). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasifica como primaria, bifásica tipo 1, tiene un tamaño de 3,4  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma tabular.

**CHIP 2** FIA 1). Compuesta por trece inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas se clasifican como primarias, bifásicas tipo 1 y 2, tienen un tamaño de 4,33  $\mu\text{m}$  y 6,17  $\mu\text{m}$ , y tienen forma ovalada y amorfa.

**CHIP 3** FIA 1). Compuesta por seis inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2(?), tiene un tamaño de 8,08  $\mu\text{m}$ , y es amorfa. FIA 2). Compuesta por tres inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasificada como primaria, bifásica tipo 2, tiene un tamaño de 4,04  $\mu\text{m}$  y tiene una forma esférica.

**CHIP 5** FIA 1). Compuesta por cuatro inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasifica como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 3,8  $\mu\text{m}$ , y una forma de rombo. FIA 2). Compuesta por ocho inclusiones fluidas, la inclusión analizada se clasifica como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 4,23  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma de tableta. FIA 3). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 3,49  $\mu\text{m}$ , y tiene una forma ovalada.

**CHIP 6** FIA 1). Compuesta por tres inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas se clasifican como primarias, bifásicas tipo 2, con un tamaño de 6,31  $\mu\text{m}$ , y una forma ovalada alargada. FIA 2). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 2,87  $\mu\text{m}$ , y una forma ovalada. FIA 3). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 2,62  $\mu\text{m}$ , y una forma ovalada. FIA 4). Compuesta por dos inclusiones fluidas, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 2, con un tamaño de 5,91  $\mu\text{m}$ , y una forma ovalada alargada.

**CHIP 7** FIA 1). Compuesta por tres inclusiones, la inclusión analizada es clasificada como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 6,62  $\mu\text{m}$ , y amorfa.

**CHIP 8** FIA 1). Compuesta por tres inclusiones fluidas, las inclusiones analizadas son clasificadas como primarias, bifásicas tipo 1, con un tamaño de 6,02  $\mu\text{m}$  y 7,94  $\mu\text{m}$ , y con forma ovalada alargada. FIA 2). Compuesta por seis inclusiones fluidas, las tres inclusiones fluidas analizadas se clasificaron como primarias, bifásicas tipo 2, con un tamaño entre 2,25  $\mu\text{m}$  y 3,84  $\mu\text{m}$ , con unas formas entre circulares y amorfas.

**CHIP 9** FIA 1). Compuesta por una inclusión fluida, clasificada como primaria, bifásica tipo 1, con un tamaño de 2,62  $\mu\text{m}$ , y con una forma ovalada.

**8.2.2 Adquisición y procesamiento de datos de microtermometría.** Como se ha mencionada anteriormente se tomaron los datos de temperatura eutéctica ( $T_e$  °C), temperatura final de fusión del hielo ( $T_{ffh}$  °C) y temperatura de homogenización ( $T_h$  °C); las cuales fueron recogidas de las inclusiones con mejor tamaño y visibilidad. Cabe resaltar que debido a que a pesar de seleccionar inclusiones de gran tamaño no fue posible determinar con exactitud algunas temperaturas.

Una vez los datos fueron obtenidos, se realizaron cálculos de salinidad (Wt % NaCl) y presión (bar) y densidad (gc/cc) mediante el uso del programa Bulk del paquete Fluids, de licencia libre y desarrollado por Bakker<sup>93</sup>. El sistema de las inclusiones fluidas se asumió como H<sub>2</sub>O-NaCl puesto que no fue posible discriminar componentes a partir de la temperatura eutéctica ni se aplicaron otros métodos cualitativos.

---

<sup>93</sup> BAKKER, Ronald. Software Bulk del paquete Fluids. Chemical geology, volume 194, 3-23. 2003

Para el cálculo de la profundidad se utilizó la fórmula propuesta en A practical guide to fluid inclusions studies<sup>94</sup>:

$$P = H \cdot \rho \cdot g$$

Donde:

P = Presión

H = Profundidad

$\rho$  = Densidad, la cual depende del material suprayacente. Si se considera presiones hidrostáticas la densidad es de 1.00 gcm<sup>-3</sup> o 2.70 gcm<sup>-3</sup> si se considera una presión litostática.

g = aceleración gravitacional.

Despejando la formula se tiene que:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}$$












Para el cálculo de los valores de profundidad se tuvo en cuenta una presión hidrostática. A continuación, se enlistan los valores de profundidad y de los demás datos adquiridos durante la microtermometría.


---

<sup>94</sup> A practical guide to fluid inclusions studies. [Anonymous] Blackie USA: Chapman & Hall, New York. 1985







**Tabla 6.** Tablas con las descripciones de las inclusiones fluidas analizadas en las muestras VI-08-03 6268154 y VI-08-04 6268456.




		Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico-Químicas Escuela de Geología										Código sección: 6268154 Pozo: VI-08-03					
		Proyecto de investigación: Determinación mineralógica y caracterización geoquímica del prospecto Violetal, Distrito minero Vetas-California (DMVC), Santander, Colombia										Nombre del área: Violetal (DMVC) Coordenadas: Este: 128126,708; Norte: 304627,631; elevación 2673,35 De: 273,80 m Hasta: 280 m Análizo: Javier Eduardo Hernández B.					
Mineral Hospedante	Chip	FIA	Evento	Inclusión fluida	Forma	Relación L/V	Longitud	T <sup>e</sup>	T <sup>fh</sup>	T <sup>fCl</sup>	Salinidad Wt. %NaCl	T <sup>H</sup> °C	Homogeneización L ó V	Densidad (g/cc)	Presión (bar)	Profundidad (m)	Observaciones
Cuarzo	Chip 1	FIA1	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1		9.47 μm <sup>2</sup> / 2.20 μm <sup>2</sup>	6.09 μm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cuarzo	Chip 1	FIA2	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1		4.6 μm <sup>2</sup> / 1.74 μm <sup>2</sup>	3.4 μm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cuarzo	Chip 2	FIA1	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1		11.02 μm <sup>2</sup> / 6.36 μm <sup>2</sup>	6.17 μm	-54.4°C	-16.2°C	9.6°C	19.6	337.4	Líquido	0.88	135.26	1380.20	
Cuarzo	Chip 2	FIA1	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	2		4.74 μm <sup>2</sup> / 2.18 μm <sup>2</sup>	4.33 μm	-54.4°C	-15.8°C	9.6°C	19.27	368.5	Líquido	0.85	195	1989.80	
Cuarzo	Chip 3	FIA1	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1		21.51 μm <sup>2</sup> / 4.82 μm <sup>2</sup>	8.08 μm	No se observo	No se observo	No se observo	-	280.5	Líquido	-	-	-	
Cuarzo	Chip 3	FIA2	Qz+Py+Ccp+Sph+Gn	1		7.65 μm <sup>2</sup> / 2.57 μm <sup>2</sup>	4.04 μm	-54.7°C	-16.3°C	9.9°C	19.68	338.5	Líquido	0.88	137.12	1399.18	
Cuarzo	Chip 5	FIA1	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn	1		6.87 μm <sup>2</sup> / 1.06 μm <sup>2</sup>	3.8 μm	-57°C	-18°C	8.5°C	20.97	379.8	Líquido	0.85	220.48	2249.80	
Cuarzo	Chip 5	FIA2	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn	1		7.21 μm <sup>2</sup> / 2.01 μm <sup>2</sup>	4.23 μm	-56.5°C	-17.5°C	8.3°C	20.6	262.2	Líquido	0.96	44.5	454.08	
Cuarzo	Chip 5	FIA 3	Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn	1		5.39 μm <sup>2</sup> / 2.88 μm <sup>2</sup>	3.49 μm	-57°C	-18°C	8.5°C	20.97	270	Líquido	0.96	50.9	519.39	

Cuarzo	Chip 6	FIA1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po+Gn	1		8.09 $\mu\text{m}^2$ / 4.28 $\mu\text{m}^2$	6.31 $\mu\text{m}$	-54.8°C	-15.2°C	No se obervo	18.8	403.8	Liquido	0.79	281.83	2875.82		
Cuarzo	Chip 6	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po+Gn	1		3.7 $\mu\text{m}^2$ / 0.78 $\mu\text{m}^2$	2.87 $\mu\text{m}$	-55.7°C	-16°C	9.7°C	19.45	301.4	Liquido	0.92	83.27	849.69		
Cuarzo	Chip 6	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po+Gn	1		3.99 $\mu\text{m}^2$ / 0.63 $\mu\text{m}^2$	2.62 $\mu\text{m}$	-56.5°C	-13°C	9.8°C	16.9	308.3	Liquido	0.89	91.92	937.96		
Cuarzo	Chip 6	FIA 4	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po+Gn	1		8.45 $\mu\text{m}^2$ / 4.59 $\mu\text{m}^2$	5.91 $\mu\text{m}$	-55.5°C	-15°C	8.7°C	18.63	427.2	Liquido	0.75	351.76	3589.39		
Cuarzo	Chip 7	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	1		10.53 $\mu\text{m}^2$ / 1.76 $\mu\text{m}^2$	6.62 $\mu\text{m}$	No se obervo	-20°C	No se obervo	22.38	297.4	Liquido	0.94	78.51	801.12	a -33°C desaparece la burbujay a -45°C aparece	
Cuarzo	Chip 8	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	1		17.23 $\mu\text{m}^2$ / 4.88 $\mu\text{m}^2$	7.94 $\mu\text{m}$	-56.6°C	-15.7°C	8.4°C	19.21	321.5	Liquido	0.9	110.17	1124.18		
Cuarzo	Chip 8	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	2		11.09 $\mu\text{m}^2$ / 3.91 $\mu\text{m}^2$	6.02 $\mu\text{m}$	-56.6°C	-15.7°C	8.4°C	19.21	331.3	Liquido	0.89	125.22	1277.76		
Cuarzo	Chip 8	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	1		0.02 $\mu\text{m}^2$ / 1.27 $\mu\text{m}^2$	3.65 $\mu\text{m}$	-62.2°C	-16°C	8.2°C	19.45	398.4	Vapor	0.81	267.14	2725.92		
Cuarzo	Chip 8	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	2		4.06 $\mu\text{m}^2$ / 2.53 $\mu\text{m}^2$	3.84 $\mu\text{m}$	-62.2°C	-16°C	8.2°C	19.45	387.5	Vapor	0.82	239.07	2439.49		
Cuarzo	Chip 8	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	3		2.17 $\mu\text{m}^2$ / 1.29 $\mu\text{m}^2$	2.27 $\mu\text{m}$	-62.2°C	-16°C	8.2°C	19.45	353.3	Liquido	0.86	163.96	1673.06		
Cuarzo	Chip 9	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Po	1		2.85 $\mu\text{m}^2$ / 1.22 $\mu\text{m}^2$	2.62 $\mu\text{m}$	-56.7°C	-15°C	8.8°C	18.63	-	-	-	-	-	-	No homogenizo la inclusion hasta 597 °C

 					Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico-Químicas Escuela de Geología						Código sección: 6268456 Pozo: VI-08-04 Nombre del área: Violetal (DMVC) Coordenadas: este: 128298,81; norte: 304602, 36; elevación: 2707, 21 De: 259.70 m Hasta: 250.80 m Analizó: Javier Eduardo Hernández B.							
Mineral hospedante	Chip	FIA	Evento	Inclusión fluida	Forma	Relación L/V	Longitud	T <sup>e</sup>	T <sup>ffh</sup>	T <sup>fCl</sup>	Salinidad Wt. %NaCl	T <sup>H</sup>	Homogenización L ó V	Densidad (gc/cc)	Presión (bar)	Profundidad (m)	Observaciones	
Cuarzo	Chip 1	FIA 1	Qz+Py+Ccp+Sph	1		9.63 μm <sup>2</sup> / 2.77 μm <sup>2</sup>	5.99 μm	-56.7°C	-12°C	9.5°C	15.95	318.7°C	Líquido	0.87	106.11	1082.76		
Cuarzo	Chip 1	FIA 1	Qz+Py+Ccp+Sph	2		3.43 μm <sup>2</sup> / 2 μm <sup>2</sup>	3.4 μm	-56.7°C	-11.5°C	9.3°C	15.47	392.4°C	Líquido	0.76	251.42	2565.51		
Cuarzo	Chip 1	FIA 2	Qz+Py+Ccp+Sph	1		15.36 μm <sup>2</sup> / 3.86 μm <sup>2</sup>	6.11 μm	-56.7°C	-2.9°C	9.5°C	4.8	368.9°C	Líquido	0.61	195.86	1998.57		
Cuarzo	Chip 1	FIA 2	Qz+Py+Ccp+Sph	2		1.22 μm <sup>2</sup> / 2.78 μm <sup>2</sup>	3.33 μm	-56.7°C	-3.2°C	9.9°C	5.26	287.9°C	Líquido	0.78	67.98	693.67		
Cuarzo	Chip 1	FIA 2	Qz+Py+Ccp+Sph	3		19.83 μm <sup>2</sup> / 3.74 μm <sup>2</sup>	6.98 μm	-56.7°C	-3.6°C	9.9°C	5.86	335.2°C	Líquido	0.71	131.58	1342.65		
Cuarzo	Chip 1	FIA 3	Qz+Py+Ccp+Sph	1		12.42 μm <sup>2</sup> / 2.68 μm <sup>2</sup>	5.31 μm	?	?	?	-	142.5°C	Líquido	-	-	-	Burbuja desaparece a -23°C y aparece 2°C	
Cuarzo	Chip 2	FIA 1	Qz+Py+Ccp+Sph	1		18.4 μm <sup>2</sup> / 25.20 μm <sup>2</sup>	8.49 μm	-53°C	No se observo	8.9°C	-	433.8°C	Vapor	-	-	-		
Cuarzo	Chip 2	FIA 2	Qz+Py+Ccp+Sph	1		12.2 μm <sup>2</sup> / 7.67 μm <sup>2</sup>	8.87 μm	-58.2°C	No se observo	9.7°C	-	283.5°C	Líquido	-	-	-		
Cuarzo	Chip 2	FIA 3	Qz+Py+Ccp+Sph	1		11.07 μm <sup>2</sup> / 2.90 μm <sup>2</sup>	4.88 μm	-54.3°C	No se observo	8.7°C	-	301.7°C	Líquido	-	-	-		
Cuarzo	Chip 2	FIA 4	Qz+Py+Ccp+Sph	1		3.82 μm <sup>2</sup> / 4.06 μm <sup>2</sup>	4.25 μm	-54.3°C	No se observo	8.7°C	-	416.5°C	Líquido	-	-	-		

Cuarzo	Chip 3	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph	1		28.93 μm <sup>2</sup> / 15.99	8.88 μm	-60.3°C	-3.2°C	8.7°C	5.26	380.8°C	Líquido	0.59	222.84	2273.88	
Cuarzo	Chip 3	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph	2		10.26 μm <sup>2</sup> / 3.19 μm <sup>2</sup>	6.27 μm	-60.3°C	-3.2°C	8.6°C	5.26	305.8°C	Líquido	0.76	88.71	905.20	
Cuarzo	Chip 3	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph	1		16.94 μm <sup>2</sup> / 5.13 μm <sup>2</sup>	7.24 μm	-55.2°C	-5.7°C	8.8°C	8.81	288.7°C	Líquido	0.83	68.83	702.35	
Cuarzo	Chip 3	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph	2		6.38 μm <sup>2</sup> / 3 μm <sup>2</sup>	4.96 μm	-55.7°C	-5.7°C	8.8°C	8.81	269.5°C	Líquido	0.86	50.47	515.00	
Cuarzo	Chip 3	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph	1		8.05 μm <sup>2</sup> / 2.73 μm <sup>2</sup>	3.51 μm	-57.2°C	-5.7°C	9.2°C	8.81	246.7°C	Líquido	0.89	33.55	342.35	
Cuarzo	Chip 4	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		5.79 μm <sup>2</sup> / 4.59 μm <sup>2</sup>	3.78 μm	No se observo	No se observo	No se observo	-	418.9°C	Vapor	-	-	-	
Cuarzo	Chip 4	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		4.96 μm <sup>2</sup> / 31.47 μm <sup>2</sup>	11.6 μm	-54°C	-9°C	8.7°C	12.84	446.8°C	Vapor	0.6	418.58	4271.22	
Cuarzo	Chip 4	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		4.94 μm <sup>2</sup> / 5.77 μm <sup>2</sup>	4.17 μm	-55°C	-8.7°C	9.3°C	12.5	390°C	Vapor	0.71	245.32	2503.27	
Cuarzo	Chip 5	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		43.71 μm <sup>2</sup> / 11.97 μm <sup>2</sup>	9.63 μm	-56.7°C	-5.7°C	9.9°C	8.81	420.3°C	Vapor	0.57	330.05	3367.86	
Cuarzo	Chip 5	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		1.96 μm <sup>2</sup> / 1.60 μm <sup>2</sup>	2.97 μm	-55.8°C	-5.7°C	9.8°C	8.81	413.7°C	Líquido	0.58	310.15	3164.80	
Cuarzo	Chip 5	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	3		5.31 μm <sup>2</sup> / 2.78 μm <sup>2</sup>	3.7 μm	-55.8°C	-5.6°C	9.9°C	8.68	436.2°C	Vapor	0.52	381.48	3892.65	
Cuarzo	Chip 5	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		21.52 μm <sup>2</sup> / 41.22 μm <sup>2</sup>	12.01 μm	-56.8°C	-5.3°C	9.9°C	8.28	387.9°C	Vapor	0.64	240.06	2449.59	
Cuarzo	Chip 5	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		2.04 μm <sup>2</sup> / 15.76 μm <sup>2</sup>	5.25 μm	-56.5°C	-5.5°C	10°C	8.55	375.2°C	Vapor	0.67	209.85	2141.33	
Cuarzo	Chip 5	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		10.47 μm <sup>2</sup> / 21.57 μm <sup>2</sup>	6.13 μm	-56.6°C	No se observo	9.1°C	-	446.8°C	Vapor	-	-	-	
Cuarzo	Chip 5	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		6.83 μm <sup>2</sup> / 13.74 μm <sup>2</sup>	6.22 μm	-56.4°C	No se observo	9.3°C	-	432°C	Vapor	-	-	-	

Cuarzo	Chip 6	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		11.35 $\mu\text{m}^2/2.15\mu\text{m}^2$	5.48 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	431.5°C	Liquido	-	-	-	Se desaparecen a -20°C
Cuarzo	Chip 6	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		12.33 $\mu\text{m}^2/1.68\mu\text{m}^2$	4.57 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	415.6°C	Liquido	-	-	-	Se desaparecen a -20°C
Cuarzo	Chip 6	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	3		11.73 $\mu\text{m}^2/3.2$ $\mu\text{m}^2$	5.42 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	420.3°C	Liquido	-	-	-	Se desaparecen a -20°C
Cuarzo	Chip 6	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		4.03 $\mu\text{m}^2/5.77$ $\mu\text{m}^2$	4.33 $\mu\text{m}$	-56.5°C	No se observo	9.5°C	-	434.5°C	Vapor	-	-	-	
Cuarzo	Chip 6	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		2.16 $\mu\text{m}^2/4.70$ $\mu\text{m}^2$	3.85 $\mu\text{m}$	-56.7°C	No se observo	9.0°C	-	458.1°C	Vapor	-	-	-	
Cuarzo	Chip 6	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		7.58 $\mu\text{m}^2/$ 10.71 $\mu\text{m}^2$	6.36 $\mu\text{m}$	-56.7°C	No se observo	8.9°C	-	458.4°C	Vapor	-	-	-	
Cuarzo	Chip 7	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		9.39 $\mu\text{m}^2/3.09$ $\mu\text{m}^2$	7.31 $\mu\text{m}$	-56.2°C	-10°C	8.4°C	13.94	360°C	Liquido	0.79	177.19	1808.06	
Cuarzo	Chip 7	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		16.72 $\mu\text{m}^2/$ 32.70 $\mu\text{m}^2$	10.11 $\mu\text{m}$	-55.2°C	-8°C	8.7°C	11.7	347.5°C	Liquido	0.78	153.05	1561.73	
Cuarzo	Chip 7	FIA 1	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	3		7.46 $\mu\text{m}^2/4.21$ $\mu\text{m}^2$	4.05 $\mu\text{m}$	-60°C	-10°C	9.0°C	13.94	385.3°C	Liquido	0.75	233.65	2384.18	
Cuarzo	Chip 7	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		7.13 $\mu\text{m}^2/6.43$ $\mu\text{m}^2$	4.72 $\mu\text{m}$	-56.2°C	-12°C	8.2°C	15.96	388°C	Liquido	0.78	240.3	2452.04	
Cuarzo	Chip 7	FIA 2	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		6.25 $\mu\text{m}^2/6.71$ $\mu\text{m}^2$	4.78 $\mu\text{m}$	-56.8°C	-9°C	8.7°C	12.85	380°C	Liquido	0.74	220.95	2254.59	
Cuarzo	Chip 7	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	1		3.68 $\mu\text{m}^2/3.04$ $\mu\text{m}^2$	3.66 $\mu\text{m}$	-59.9°C	-8.7°C	9°C	12.51	288.3°C	Vapor	0.87	68.4	697.96	
Cuarzo	Chip 7	FIA 3	Qz+Py+Ccp+ Sph+Mol+G n+Po	2		18.31 $\mu\text{m}^2/$ 17.13 $\mu\text{m}^2$	9.03 $\mu\text{m}$	-62.5°C	-11°C	9.3°C	14.97	250.5°C	Liquido	0.93	36.08	367.65	

Cuarzo	Chip 8	FIA 1	Qz+Py+Ccp+Sph	1		5 $\mu\text{m}^2$ / 2.5 $\mu\text{m}^2$	2.85 $\mu\text{m}$	-61.5°C	-10.7°C	9.5°C	14.68	353.5°C	Liquido	0.81	164.34	1676.94	
Cuarzo	Chip 8	FIA 2	Qz+Py+Ccp+Sph	1		4.15 $\mu\text{m}^2$ / 11.3 $\mu\text{m}^2$	6.3 $\mu\text{m}$	-58.6°C	-9.4°C	8.7	13.28	459.7°C	Liquido	0.58	466.89	4764.18	
Cuarzo	Chip 8	FIA 3	Qz+Py+Ccp+Sph	1		6.49 $\mu\text{m}^2$ / 2.3 $\mu\text{m}^2$	3.4 $\mu\text{m}$	-63.3°C	-11.5°C	8.8	15.47	282.2°C	Liquido	0.91	62.17	634.39	

**8.2.3** Espectrometría Raman de Inclusiones Fluidas. Como un complemento al trabajo de microtermometría se realizaron diferentes análisis de microraman en las inclusiones fluidas contenidas en los principales eventos de mineralización de las muestras VI-08-03 6268154 y VI-08-04 6268456.

Para este propósito se utilizó un “microscopio raman inVia™ confocal” el cual cuenta con un láser de 532 nm. Una vez el equipo de espectroscopia Raman se encontraba listo para su funcionamiento, se ubicaron los chips en un porta muestras de aluminio, puesto que esto evita el rebote del haz de láser, y permite una mejor toma de datos.

Para el análisis de las inclusiones fue necesario primeramente escoger aquellas inclusiones que no se habían homogenizado, para evitar así una mala adquisición de los datos, así como también fue necesario escoger inclusiones superiores a un tamaño de 3  $\mu\text{m}$ , debido al tamaño de mira del láser.

El objetivo de la técnica del Raman es identificar los diferentes componentes de la fase vapor de las inclusiones, sin ser esta, una técnica destructiva. Por tanto, la aplicación de esta técnica no afectó la posterior toma de datos en el proceso de calentamiento. Para este trabajo la técnica se aplicó después del proceso de “enfriamiento” de las inclusiones. Se debe resaltar que la técnica es cualitativa y solo pudo ser aplicada a la fase vapor, ya que la fase líquida no permitió obtener datos de calidad.

Además del láser de 532 nm, la configuración del equipo para la adquisición fue dependiente del tamaño de la inclusión fluida. En general la adquisición se dio exponiendo las inclusiones al láser un tiempo de 15 s, con 2 acumulaciones y un poder de láser de 100%, por último, la adquisición se hizo

dentro del espectro de los 100 raman shift/cm<sup>-1</sup> a 1400 raman shift/cm<sup>-1</sup>; aunque primeramente el campo espectral seleccionado era desde 100 raman shift/cm<sup>-1</sup> hasta los 3200 raman shift/cm<sup>-1</sup> para determinar si habían elementos en este campo, sin embargo al no identificarse otras especies químicas, se disminuyó el rango del espectro.

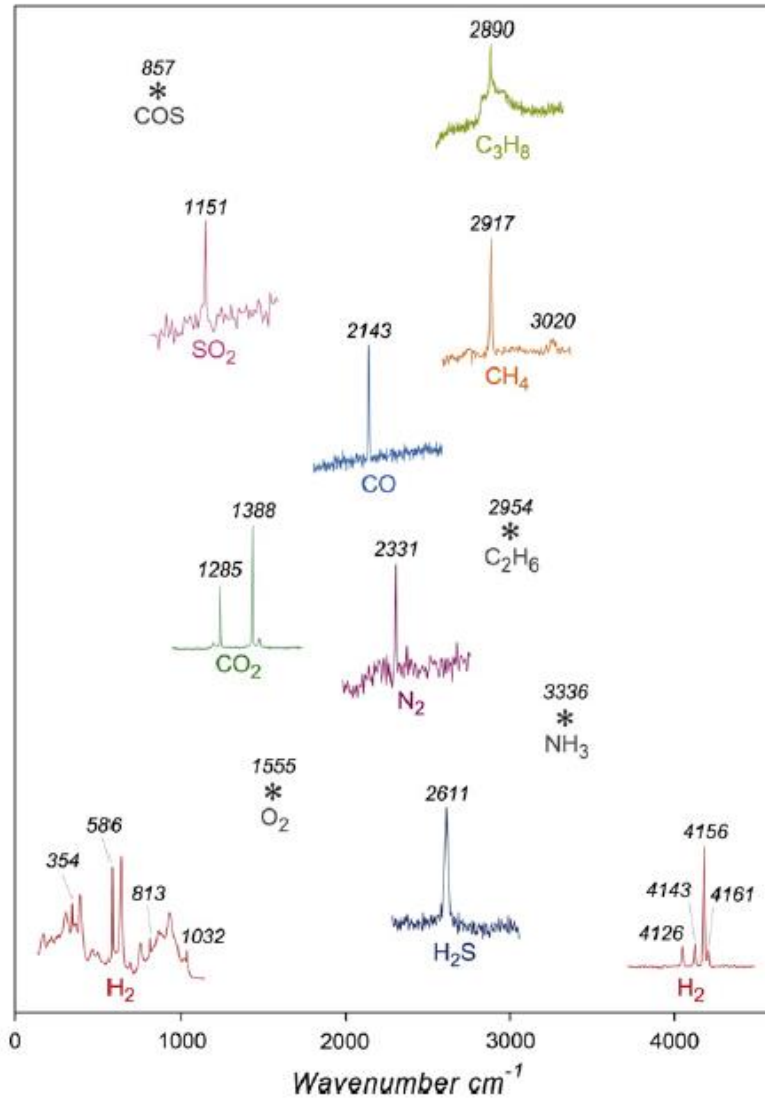
De la muestra VI-08-03 6268154 se escogieron los chips 3 y 5; mientras de la muestra VI-08-04 6268456 se escogieron los chips 3, 5, 7 y 9; procurando que cada chip fuera representativo de una vetilla. A continuación, se muestran los resultados para los chips analizados. Ver figura 23.

**Figura 23.** Resultado de la espectrometría Raman, para la Muestra VI-08-04 6268456, chip 3, FIA 1, inclusión 1.



Al finalizar la toma de los espectros, se cotejaron los resultados con los estudios realizados por Frezzotti<sup>95</sup> (Figura 24) en componentes de especies gaseosas en inclusiones fluidas.

**Figura 24.** Espectros Raman y longitudes de onda, para las diferentes clases de gases en inclusiones fluidas.



**Fuente:** Tomado de (Frezzotti, *et al.*, 2012).

<sup>95</sup> FREZZOTTI, Maria; TECCE, Francesca; CASAGLI, Alessio. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *Journal of Geochemical Exploration* 112 (2012) 1-20. 2012

A partir del análisis de los espectros, se identifica el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con su pico característico en la longitud de onda 1151 raman shift/cm<sup>-1</sup>; aunque en algunos espectros tiene una variación de hasta 10 raman shift/cm<sup>-1</sup>, es válido decir que corresponden al SO<sub>2</sub>. Los picos para las longitudes de onda en 700, 800 y en algunos casos de 900 raman shift/cm<sup>-1</sup> hasta el momento de la realización de este trabajo, no pudieron ser relacionados con alguna especie gaseosa puesto que la variación con respecto a las especies conocidas en la literatura y en la base de datos es muy amplia (>20 raman shift/cm<sup>-1</sup>), y no puede ser asociada.

### **8.3 GEOQUÍMICA**

A partir de la recolección de muestras de suelos de la compañía EOM, se realizó un mapa de anomalías en base de un análisis de suelos multielementales. Para el desarrollo de los mapas de anomalías, fue necesario aplicar procesamientos estadísticos, así como el ploteo de los datos en el software ArcGis.

Ya con los mapas generados se tiene una idea general de grandes concentraciones de elementos de interés para el desarrollo a futuro de un proyecto en el área del prospecto.

**8.3.1 Análisis estadístico.** Previo al análisis estadístico de los elementos en las muestras, la empresa EOM, además de recolectar las muestras, fue la encargada de su marcación en cuanto a localización geográfica (ubicación en el sistema de coordenadas), litología, horizonte de la muestra, entre otros.

Los elementos que se analizaron fueron Au, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Ti, W, Zn, U, Th, P, La, Ga, Se, Ag, Cu.

A continuación, se enumeran los pasos para determinar los valores de background, fondo regional y las anomalías de las muestras.

- Se sacaron los valores de promedio, moda, mediana, valores máximos, valores mínimos y por último la desviación estándar de cada uno de los elementos.
- Una vez se obtuvo el valor promedio de los elementos, este es definido como el background de los elementos en las muestras. Definido como el contenido promedio de un elemento en una región determinada.
- Luego se definió el fondo regional como la suma de la media o promedio con la mediana, dividido en dos.

$$FR = (\bar{x} + Md)/2$$

Donde:

*FR*: Fondo Regional

$\bar{x}$ : media

*Md*: mediana

Por último, para definir las anomalías geoquímicas, se tomaron para cada una de ellas el fondo regional, y se sumaban las desviaciones estándar. Es decir:

$$\textit{Anomalia leve} = FR + 1S$$

$$\textit{Anomalia moderada} = FR + 2S$$

$$\textit{Anomalia Fuerte} = FR + 3S$$

$$\textit{Anomalia muy Fuerte} = FR + 4S$$

Donde:

FR: Fondo Regional

S: Desviación estándar.

A continuación, se muestran los datos estadísticos obtenidos para cada uno de los elementos.

**Tabla 7.** Datos estadísticos para cada uno de los elementos analizados, que permitieron el desarrollo de los mapas de anomalías.

	<b>au / ppb</b>	<b>al / %</b>	<b>as / ppm</b>	<b>ba / ppm</b>	<b>bi / ppm</b>	<b>ca / %</b>	<b>cd / ppm</b>	<b>co / ppm</b>
Numero de datos	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557
Promedio o media	73.4153372	3.61723828	19.8763006	125.795247	4.71229929	0.02634554	0.26271034	6.6728966
Moda	86.1	3.97	3.3	62	0.1	0.01	0.1	0.4
Mediana	96	3.52	13.5	100	2.4	0.01	0.1	3
Valor Max.	31674.7	10	547.5	1438	474.2	1.63	11.1	169.6
Valor Min.	0.2	0.34	0.3	10.2	0.05	0.01	0.01	0.1
DESVIACION ESTÁNDAR	895.09525	1.70080578	28.0394209	98.6197712	15.3306693	0.05684567	0.63294176	9.18920011

	<b>cr / ppm</b>	<b>fe / %</b>	<b>k / %</b>	<b>mg / %</b>	<b>mn / ppm</b>	<b>mo / ppm</b>	<b>na / %</b>	<b>ni / ppm</b>
Numero de datos	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557
Promedio o media	26.5408478	5.20501606	0.21996789	0.29767502	863.080925	32.8103854	0.00367823	7.76750161
Moda	24.8	4.51	0.1	0.03	55	0.5	0.003	1.9
Mediana	24.3	5.02	0.17	0.15	260	2.4	0.003	6.1
Valor Max.	157.1	40	1.79	2.73	50000	898.27	0.019	183.1
Valor Min.	1.1	0.54	0.02	0.01	3	0.01	0.001	0.2
DESVIACION ESTÁNDAR	16.3792403	2.37153386	0.18032051	0.33583968	2535.95197	73.3321983	0.00212522	8.20238913

	<b>pb / ppm</b>	<b>s / %</b>	<b>sb / ppm</b>	<b>sr / ppm</b>	<b>ti / %</b>	<b>v / ppm</b>	<b>w / ppm</b>	<b>zn / ppm</b>
Numero de datos	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557
Promedio o media	176.388459	0.05816313	0.97337187	10.7809249	0.05316763	85.6030829	0.16043674	115.953693
Moda	21	0.02	0.1	3	0.001	99	0.1	15
Mediana	90.44	0.04	0.3	6.7	0.025	86	0.1	51.8
Valor Max.	4832.7	1.1	94.2	409.8	0.533	315	2.6	2230.3
Valor Min.	2.68	0.01	0.02	0.6	0.001	3	0.1	1.3
DESVIACION ESTÁNDAR	305.646646	0.0833063	4.28623141	15.6544988	0.06590719	41.6862185	0.21849406	173.866708

	u / ppm	th / ppm	p / %	la / ppm	b / ppm	sc / ppm	tl / ppm	ga / ppm
Numero de datos	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557	1557
Promedio o media	2.81483622	8.8401413	0.0795106	24.5210662	1.00449583	7.06332691	0.49	13.425562
Moda	2.5	5.1	0.057	20	1	4.7	0.3	9
Mediana	2.4	7.8	0.065	21.5	1	5.9	0.41	13
Valor Max.	40.5	47.3	0.822	277	5	31.5	4.39	94
Valor Min.	0.3	0.6	0.003	4	1	0.5	0.05	1.5
DESVIACION ESTÁNDAR	2.20460013	5.38786609	0.06076171	15.5587172	0.11041092	4.63385995	0.33707974	6.09307535

	se / ppm	gold / g/t	silver / g/t	copper / %	hg / ppb	te / ppm
Numero de datos	1557	1557	1557	1557	1118	1118
Promedio o media	1.92569043	0.19761541	1.00999101	0.01370963	157.824687	1.29333631
Moda	0.5	0.0861	0.1	0.0032	127	0.02
Mediana	1.2	0.0965	0.524	0.0102	135	0.76
Valor Max.	26.4	31.6747	87.5	0.1506	2546	40.15
Valor Min.	0.1	0.0001	0.009	0.0003	5	0.02
DESVIACION ESTÁNDAR	2.07419455	0.8952981	3.57143245	0.01241148	127.78296	2.30376129

A continuación, se muestra la tabla con los diferentes intervalos de anomalías, para los elementos analizados.

**Tabla 8.** Tablas con los datos los intervalos de las anomalías, para los elementos estudiados del prospecto Violetal.

	au / ppb	al / %	as / ppm	ba / ppm	bi / ppm	ca / %	cd / ppm	co / ppm
	Realizado con formulas							
Fondo Regional	84.7076686	3.56861914	16.6881503	112.897624	3.55614965	0.01817277	0.18135517	4.8364483
Anomalia leve	979.802919	5.26942492	44.7275712	211.517395	18.886819	0.07501844	0.81429693	14.0256484
Anomalia moderada	1874.89817	6.97023071	72.766992	310.137166	34.2174883	0.13186412	1.44723869	23.2148485
Anomalia Fuerte	2769.99342	8.67103649	100.806413	408.756937	49.5481576	0.18870979	2.08018045	32.4040486
Anomalia muy fuerte	3665.08867	10.3718423	128.845834	507.376708	64.8788269	0.24555546	2.71312221	41.5932487

	cr / ppm	fe / %	k / %	mg / %	mn / ppm	mo / ppm	na / %	ni / ppm
	Realizado con formulas							
Fondo Regional	25.4204239	5.11250803	0.19498394	0.22383751	561.540462	17.6051927	0.00333911	6.9337508
Anomalia leve	41.7996642	7.48404188	0.37530446	0.55967719	3097.49243	90.937391	0.00546434	15.1361399
Anomalia moderada	58.1789045	9.85557574	0.55562497	0.89551687	5633.44439	164.269589	0.00758956	23.3385291
Anomalia Fuerte	74.5581448	12.2271096	0.73594548	1.23135656	8169.39636	237.601788	0.00971478	31.5409182
Anomalia muy fuerte	90.9373851	14.5986435	0.916266	1.56719624	10705.3483	310.933986	0.01184001	39.7433073

	<b>pb / ppm</b>	<b>s / %</b>	<b>sb / ppm</b>	<b>sr / ppm</b>	<b>ti / %</b>	<b>v / ppm</b>	<b>w / ppm</b>	<b>zn / ppm</b>
	<b>Realizado con formulas</b>							
Fondo Regional	133.414229	0.04908157	0.63668593	8.74046243	0.03908382	85.8015414	0.13021837	83.8768465
Anomalia leve	439.060875	0.13238787	4.92291734	24.3949612	0.10499101	127.48776	0.34871243	257.743554
Anomalia moderada	744.707521	0.21569417	9.20914875	40.0494599	0.1708982	169.173978	0.56720649	431.610262
Anomalia Fuerte	1050.35417	0.29900047	13.4953802	55.7039587	0.23680539	210.860197	0.78570055	605.47697
Anomalia muy fuerte	1356.00081	0.38230678	17.7816116	71.3584574	0.30271258	252.546415	1.00419461	779.343677

	<b>u / ppm</b>	<b>th / ppm</b>	<b>p / %</b>	<b>la / ppm</b>	<b>b / ppm</b>	<b>sc / ppm</b>	<b>tl / ppm</b>	<b>ga / ppm</b>
	<b>Realizado con formulas</b>							
Fondo Regional	2.60741811	8.32007065	0.0722553	23.0105331	1.00224791	6.48166346	0.45	13.212781
Anomalia leve	4.81201825	13.7079367	0.13301701	38.5692503	1.11265883	11.1155234	0.78707974	19.3058563
Anomalia moderada	7.01661838	19.0958028	0.19377872	54.1279675	1.22306975	15.7493834	1.12415948	25.3989317
Anomalia Fuerte	9.22121851	24.4836689	0.25454043	69.6866848	1.33348068	20.3832433	1.46123922	31.492007
Anomalia muy fuerte	11.4258186	29.871535	0.31530213	85.245402	1.4438916	25.0171033	1.79831896	37.5850824

	<b>se / ppm</b>	<b>gold / g/t</b>	<b>silver / g/t</b>	<b>copper / %</b>	<b>hg / ppb</b>	<b>te / ppm</b>
	<b>Realizado con formulas</b>					
Fondo Regional	1.56284522	0.14705771	0.7669955	0.01195482	146.412343	1.02666816
Anomalia leve	3.63703976	1.04235581	4.33842795	0.0243663	274.195304	3.33042945
Anomalia moderada	5.71123431	1.93765391	7.9098604	0.03677778	401.978264	5.63419073
Anomalia Fuerte	7.78542886	2.83295201	11.4812929	0.04918926	529.761224	7.93795202
Anomalia muy fuerte	9.85962341	3.7282501	15.0527253	0.06160075	657.544184	10.2417133

Una vez determinados los valores de las anomalías, se tomó el mapa base de Violetal y sus alrededores, con los puntos donde se tomaron las muestras, para plasmar las anomalías. (ver anexos)

Los valores anómalos para el oro (Au), revelan que hay anomalías entre 1.874 ppb – 2.769 ppb y 2.769ppb – 3.665 ppb, consideradas anomalías fuertes y muy fuertes respectivamente. Localizadas en la parte central del prospecto Violetal, aunque también se pueden observar estas anomalías en la región de la quebrada Mongora, aunque esta es una región más pequeña que la anterior.

Para el cobre (Cu), se revelan valores anómalos de 0.03 – 0.04 % y 0.04 – 0.06%, consideradas anomalías fuerte y muy fuerte respectivamente. Localizadas en la parte central del prospecto Violetal. También se observan concentraciones anómalas moderadas y leves en la región de la quebrada Mongora y Los Puentes, con concentraciones de 0.02% – 0.03% y 0.013 – 0.02%, respectivamente.

Para el molibdeno (Mo), se muestran concentraciones anómalas de 164.2 ppm – 237.6 ppm y 237.6 ppm – 310.9 ppm, consideradas fuerte y muy fuerte en la región del prospecto Violetal. Las grandes anomalías se concentran en la parte central del prospecto Violetal, mientras los valores disminuyen hacia el sector de la Quebrada Mongora, Los Puentes y en el sector de La Baja.

El arsénico (As), presenta valores anómalos desde 19.8 ppm a 128.8 ppm, presentándose la anomalía fuerte en el sector de Violetal, mientras las bajas concentraciones del elemento, se dan hacia el sector de Los Puentes y Quebrada Mongora. En algunos sectores de La Baja se presentan anomalías débiles.

La plata (Ag), presenta valores anómalos desde 1 g/t a 15 g/t, las anomalías más fuertes desde 11.4 g/t se encuentran en el área de Violetal, y anomalías fuertes y moderadas se encuentran zonadas en el mismo sector de Violetal. Para los sectores de La Baja, Los Puentes y Quebrada Mongora, los valores son mínimos o normales.

Una vez se han realizado los mapas de anomalías de los elementos (Anexo 30 – Anexo 62); se realizaron correlaciones entre elementos, ya que algunos

elementos son guías (*Pathfinders Warren and Delavault*<sup>96; 97</sup>), de otros elementos de interés económico. Estas correlaciones son:

As: elemento importante en la búsqueda de oro. Así como de Ag, Cu, Co, Zn (Kassem<sup>98</sup>; Levinson<sup>99</sup>).

Ag: indicador de mineralizaciones de oro. (Kassem<sup>100</sup>).

Au: indicador de depósitos de tipo pórfido cuprífero. (Learned and Boissen<sup>101</sup>; Levinson<sup>102</sup>)

Ba: este elemento sirve en la prospección para encontrar depósitos de Zn, Pb y Ag. (Kassem<sup>103</sup>).

Cu: elemento guía para la exploración de Cu, Pb y Zn. Además de depósitos de sulfuros en general. (Levinson<sup>104</sup>)

Mo: este elemento se utiliza como indicador de depósitos tipo pórfido de Cu. (Kassem<sup>105</sup>; Levinson<sup>106</sup>).

---

<sup>96</sup> WARREN, Harry and DELAVault, Robert. Geochemical prospecting finds widespread application in British Columbia. Min. Eng. 5, 980-981 1953

<sup>97</sup> WARREN, Harry and DELAVault, Robert. Pathfinding elements in geochemical prospecting (abstract). Interm. Geol. Congr. 20th., Mexico City, p. 359. 1956

<sup>98</sup> KASSEM, Taissir. Notas tomadas y ampliadas del curso dictado por el profesor Frederic R. Siegel, en la escuela de Minas de Medellín, entre julio 13 y agosto 6 de 1970. MINISTERIO MINAS Y PETROLEOS, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO MINERAS, DIRECCIÓN REGIONAL IBAGUE. 1970

<sup>99</sup> LEVINSON, Alfred. Introduction to Exploration Geochemistry. Second Edition, Applied Publishing Ltd, 924, pp. Illinois. 1980

<sup>100</sup> KASSEM Op. cit.

<sup>101</sup> LEARNED, R., BOISSEN, R. Gold – a useful pathfinder element in the search for porphyry copper deposits in Puerto Rico. Geochemical exploration 1972. pp. 93-103. IMM. London. 1973

<sup>102</sup> LEVINSON Op. cit.

<sup>103</sup> KASSEM Op. cit.

<sup>104</sup> LEVINSON Op. cit.

<sup>105</sup> KASSEM Op. cit.

<sup>106</sup> LEVINSON Op. cit.

Mn: este elemento se utiliza como indicador de depósitos asociados a Cu, Ni y Co. (Hawke<sup>107</sup>; Levinson<sup>108</sup>).

Sb: elemento guía de oro, además una alta cantidad de este elemento puede indicar presencia de sulfuros. (Kassem<sup>109</sup>).

Se: elemento utilizado en la búsqueda de sulfuros epigenéticos. Estos sulfuros son de interés ya que pueden ser sulfuros de Cu. (Kassem<sup>110</sup>).

Zn: elemento guía de depósitos de Ag, Pb y Zn; además de depósitos de sulfuros en general. (Levinson<sup>111</sup>)

---

<sup>107</sup> HAWKES, Herbert, and WEEB, James. *Geochemistry in Mineral exploration*. Second edition, Applied publishing, Academic Press, 657 p. 1980

<sup>108</sup> LEVINSON Op. cit.

<sup>109</sup> KASSEM Op. cit.

<sup>110</sup> *Ibid*

<sup>111</sup> LEVINSON Op. cit.

## 9. DISCUSIÓN

Para el prospecto Violetal, se reconocieron tres tipos de litologías. El primer grupo de rocas corresponden a las rocas graníticas clasificadas como granitos las cuales son las rocas cajas del prospecto.

El segundo grupo de rocas corresponden a los pórfidos riolíticos, temporalmente más jóvenes que las rocas graníticas del primer grupo. Este grupo de rocas cortan las primeras rocas y son la fuente de los fluidos que trajeron consigo la mineralización del prospecto.

Por último, la brecha tectónica que se debe a un proceso de esfuerzos quizás relacionado a un proceso de tectonismo local, posiblemente asociado a las fallas de la zona (falla La Baja, falla Mongora) que a su vez pertenecen al sistema de fallas de Bucaramanga – Santa Marta.

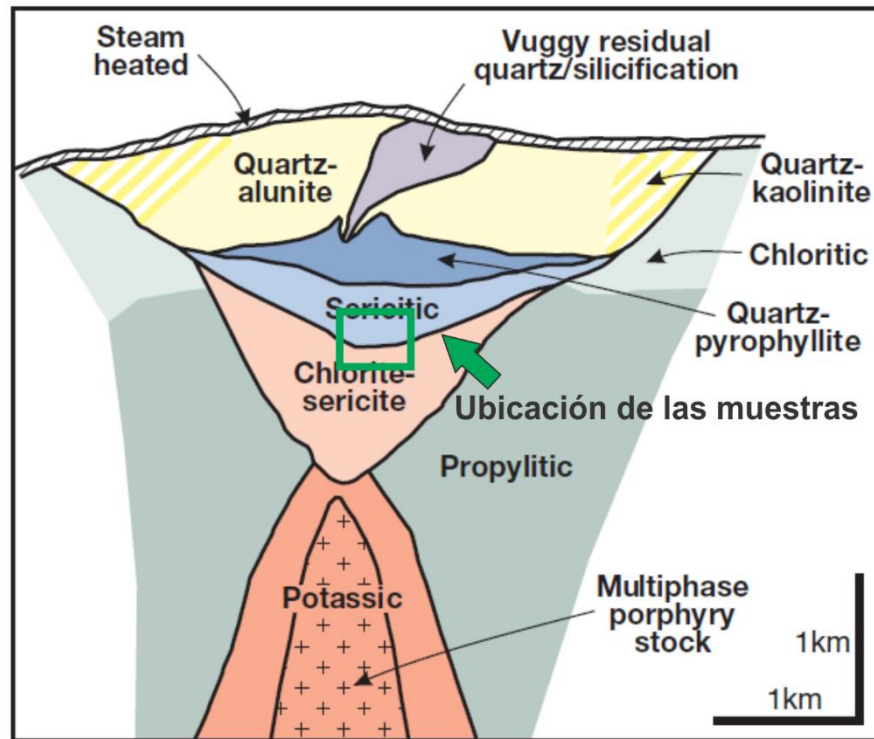
### 9.1 ALTERACIONES HIDROTERMALES

En cuanto a las alteraciones hidrotermales, la principal alteración presente en las rocas corresponde a la alteración de la illita – sericita, la cual puede ser asociada a la alteración sericítica descrita por Sillitoe<sup>112</sup> (Figura 25), y la otra alteración distribuida en las muestras, es la alteración clorita – sericita. Sin embargo, se debe resaltar que esta última alteración está limitada a las rocas de composición granítica.

---

<sup>112</sup> SILLITOE Op. cit.

**Figura 25.** Zonación de alteraciones presentes en el sistema pórfido. Ubicación espacial en el sistema pórfido de las muestras del prospecto Violetal, de acuerdo a las alteraciones identificadas (recuadro verde)



**Fuente:** Tomado y modificado de Sillitoe, (2010)

Finalizando, se encuentra la alteración de carbonatos, identificada por la ankerita, esta alteración esta sobreimpuesta a las demás alteraciones, y se encuentra tanto en las rocas de composición granítica como en los pórfidos riolíticos. Por último, se tiene la alteración supergena que se deduce a partir de la alteración de sulfuros en calcosina o covelita, además de la presencia de óxidos de hierro.

Teniendo certeza de los tipos de alteración hidrotermal en las muestras, después se identificaron los eventos que desarrollaron la alteración hidrotermal. Estos fueron 10 eventos, que, mediante relaciones de corte locales, y localización de acuerdo a la profundidad permitieron ordenarlas temporalmente.

La primera etapa de mineralización corresponde a un evento compuesto por Qz+Py+Ccp+Sph, caracterizado por la presencia de cuarzo con textura mosaico, después de este evento, viene un evento compuesto por Qz+Py+Ccp+Sph+Po que se caracteriza por tener un cuarzo hidrotermal con textura en mosaico. A continuación, vienen los eventos mineralizantes importantes compuestos de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Mol con cuarzo hidrotermal con textura mosaico, Qz+Py+Ccp+Sph+Gn+Mol con cuarzo hidrotermal con textura mosaico, Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol con cuarzo hidrotermal con textura mosaico, Qz+Py+Ccp+Sph+Mol con cuarzo hidrotermal con textura mosaico. Estos eventos son considerados importantes, puesto que además de la presencia de sulfuros de Cu, se encuentra la molibdenita aportando el molibdeno y finalmente la galena aportando el plomo. Por último, aparecen vetillas de Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Ttd con cuarzo hidrotermal con textura mosaico, Qz+Py+Ccp+Sph+Gn con cuarzo hidrotermal con textura mosaico y finalmente una vetilla con Py±Ccp y una vetilla con Ank.

Los eventos de las muestras del prospecto Violetal, no se correlacionaron directamente con algún modelo previamente elaborado, puesto que no se ajustan mineralógicamente ni texturalmente. Sin embargo, hay una pequeña semejanza en lo trabajado por Zukowski<sup>113</sup>.

De acuerdo con el trabajo publicado por Zukowski<sup>114</sup>, las vetillas por presentar ausencia de halos, y de acuerdo a su composición se encuentran en una etapa intermedia a tardía, en la evolución del depósito.

Para algunas muestras mineralizadas que no contienen eventos hidrotermales, estas menas pueden estar asociadas a eventos mineralizantes reportados para el

---

<sup>113</sup> ZUKOWSKI, Wojciech; COOKE, David; DEYELL, Cari; MCINNES, Paul and SIMPSON, Kirstie. Genesis and Exploration Implications of Epithermal Gold Mineralization and Porphyry-Style Alteration at the Endeavour 41 Prospect, Cowal District, New South Wales, Australia. 2014

<sup>114</sup> *Ibíd*

área por Acevedo y Hernández<sup>115</sup> los cuales identificaron eventos de Ccp+Tnt-Ttr±Gn±Au±Clv para algunas muestras del prospecto. Esto se puede asociar ya que las muestras pueden que se encuentren en la zona de alteración del evento, partiendo de la idea de que las alteraciones varían en ancho y espesor en cada depósito.

Es de resaltar que, además, para las muestras trabajadas en este proyecto de investigación, no se pudieron identificar minerales quizás asociados a eventos importantes de mineralización, puesto que no se contaron con las herramientas suficientes para poder desarrollar ese trabajo.

## **9.2 MICROTERMOMETRIA Y MICRORAMAN DE INCLUSIONES FLUIDAS**

De acuerdo a la microtermometría realizada en las muestras VI-08-03 6268154 en los eventos de Qz+Py+Ccp+Sph+Po, Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn, y Qz+PyCcp+Sph+Gn y en los eventos de la muestra VI-08-04 6268456 en los eventos Qz+Py+Ccp+Sph y Qz+Py+Ccp+Sph+Po+Gn+Mol. Se puede concluir que, de acuerdo a las temperaturas eutécticas obtenidas, se deben asociar a sistemas con más de un componente, ya que todos los cuarzos de los eventos analizados presentan inclusiones fluidas tipo I (mayor relación de líquido con respecto al vapor) e inclusiones fluidas tipo II (mayor relación de vapor con respecto al líquido) y que de acuerdo con las temperaturas eutécticas obtenidas (dentro de un rango de -53° a -63.3°) las inclusiones deben ser:

---

<sup>115</sup> ACEVEDO Y HERNÁNDEZ Op. cit.

**Figura 26.** Temperaturas eutecticas de sistemas agua-sal, para sistemas mas comunes en las inclusiones fluidas. En el recuadro los sistemas que se ajustan a las temperaturas eutecticas obtenidas en la practica.

Salt system	Eutectic temperature (°C)	Solid phases
H <sub>2</sub> O-NaCl-CaCl <sub>2</sub>	- 55 (- 52)	ice + 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	ice + 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	ice + CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-CaCl <sub>2</sub>	- 49.5	ice + 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	ice + (K, Na) <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	ice + 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	ice + FeCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-MgCl <sub>2</sub>	- 35.0	ice + 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	ice + MgCl <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O
*H <sub>2</sub> O-NaCl-KCl	- 23.5 (- 22.9)	ice + NaCl.2H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O-NaCl-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	- 21.7	ice + 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	ice + 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	ice + 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 (- 20.8)	ice + NaCl.2H <sub>2</sub> O
*H <sub>2</sub> O-KCl	- 10.6	ice
H <sub>2</sub> O-NaHCO <sub>3</sub> -Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	- 3.3	ice + 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	ice + NaHCO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	- 2.1	ice + 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	ice + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O

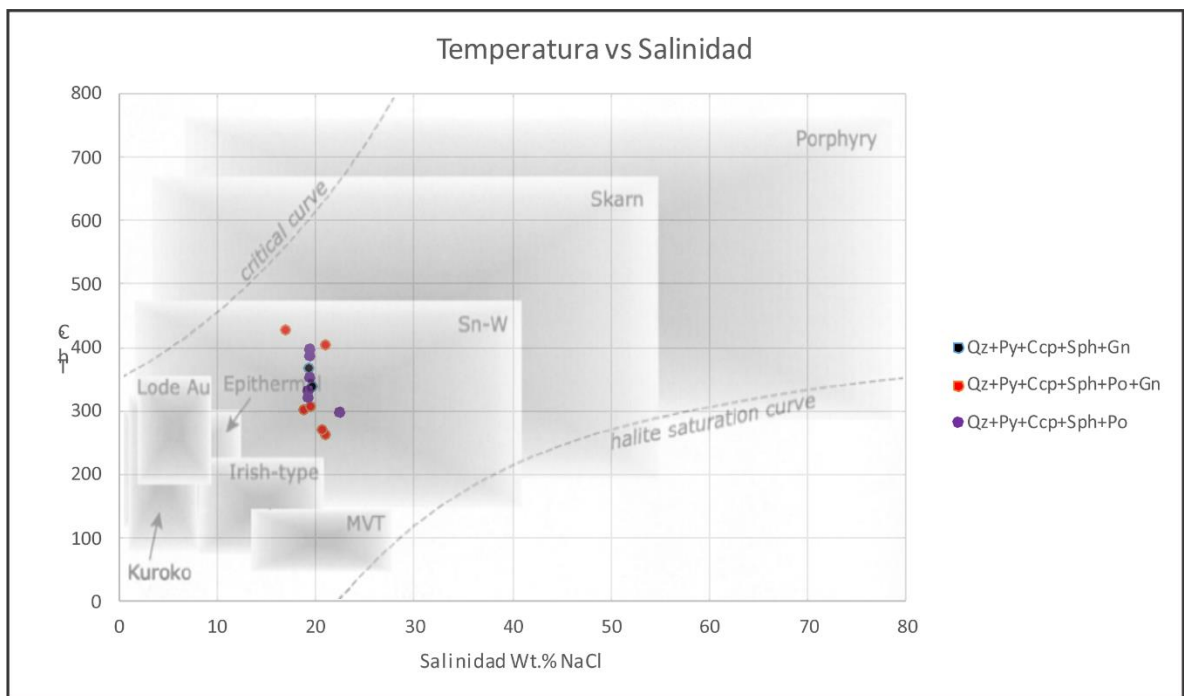
**Fuente.** Tomado de Sheppard, (1985); Borizenko, (1977).

Sin embargo, apoyados en estudios de microraman en las inclusiones fluidas, se identificó la presencia de SO<sub>2</sub> como especie gaseosa en las inclusiones que contienen vapor, tanto inclusiones tipo I como inclusiones tipo II.

Analizando las inclusiones fluidas con sus respectivas temperaturas y salinidades se evidencia que para los primeros eventos hay altas temperaturas y altas salinidades, reflejando que estos eventos pertenecen a la parte inferior de un sistema pórfido, que poco a poco fue evolucionando hasta llegar a la zona de transición de un depósito de tipo epitermal.

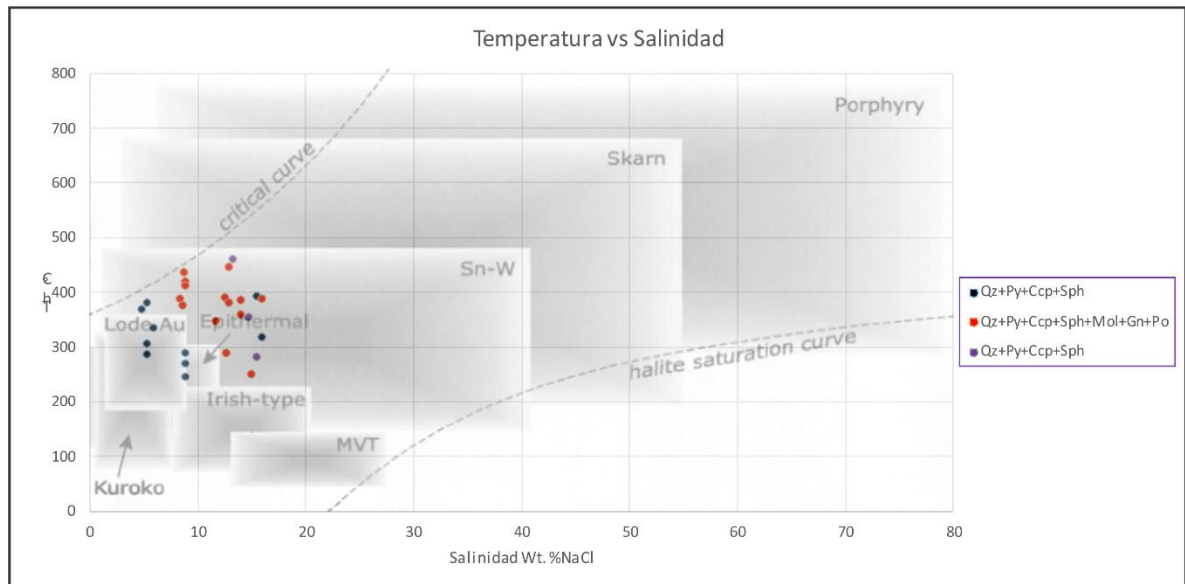
Cabe resaltar que durante la transición del sistema porfirítico a un sistema epitermal, hubo sobre imposición de eventos, ya que, para un mismo evento, se registran rangos de temperatura, indicando un descenso de temperatura y de salinidad que pueden ser asociados a la zona de transición. Además de que la disminución de la salinidad puede estar representada por una mezcla de los fluidos con aguas meteóricas?.

**Figura 27.** Esquema de temperatura – salinidad, donde se observan los rangos de salinidad y temperatura para los diferentes depósitos. En la imagen se observan los puntos correspondientes a la muestra VI-08-03 6268154. Del segundo, séptimo y octavo evento de la secuencia del depósito.



Fuente. Tomado y modificado de Wilkinson, (2001).

**Figura 28.** Esquema de temperatura – salinidad, donde se observan los rangos de salinidad y temperatura para los diferentes depósitos. En la imagen se aprecian los puntos para la muestra VI-08-04 6268456, que corresponden al primero y quinto evento del prospecto.



Fuente. Tomado y modificado de Wilkinson, (2001).

A partir de las inclusiones fluidas tipo I y tipo II, también se puede evidenciar procesos de importancia para depositación de minerales de mena, como lo es la ebullición (Wilkinson<sup>116</sup>), proceso que fue identificado a partir de la coexistencia en un mismo cristal de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor, además de rangos de salinidad y temperatura de homogenización similares, tal como se puede observar en las inclusiones de los eventos de la muestra VI-08-03 6268154.

Las inclusiones fluidas también pueden ser correlacionadas con el tipo de alteraciones presentes en las muestras, en este caso para la alteración tipo illita – sericita. Esta alteración se caracteriza por presentar temperaturas de homogenización en general entre 200-400 °C. (Yparraguirre<sup>117</sup>)

<sup>116</sup> WILKINSON, Jamie. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: Lithos, 55, 229–272. 2001

<sup>117</sup> YPARRAGUIRRE, José. Secuencias paragenéticas, Alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas de la Veta Bienaventurada, Mina Bienaventurada, Huachocolpa-Huancavelica. Tesis de grado, dirigida por el Dr. C. Cánepa. Universidad de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú, 113 pp y 3 anexos.

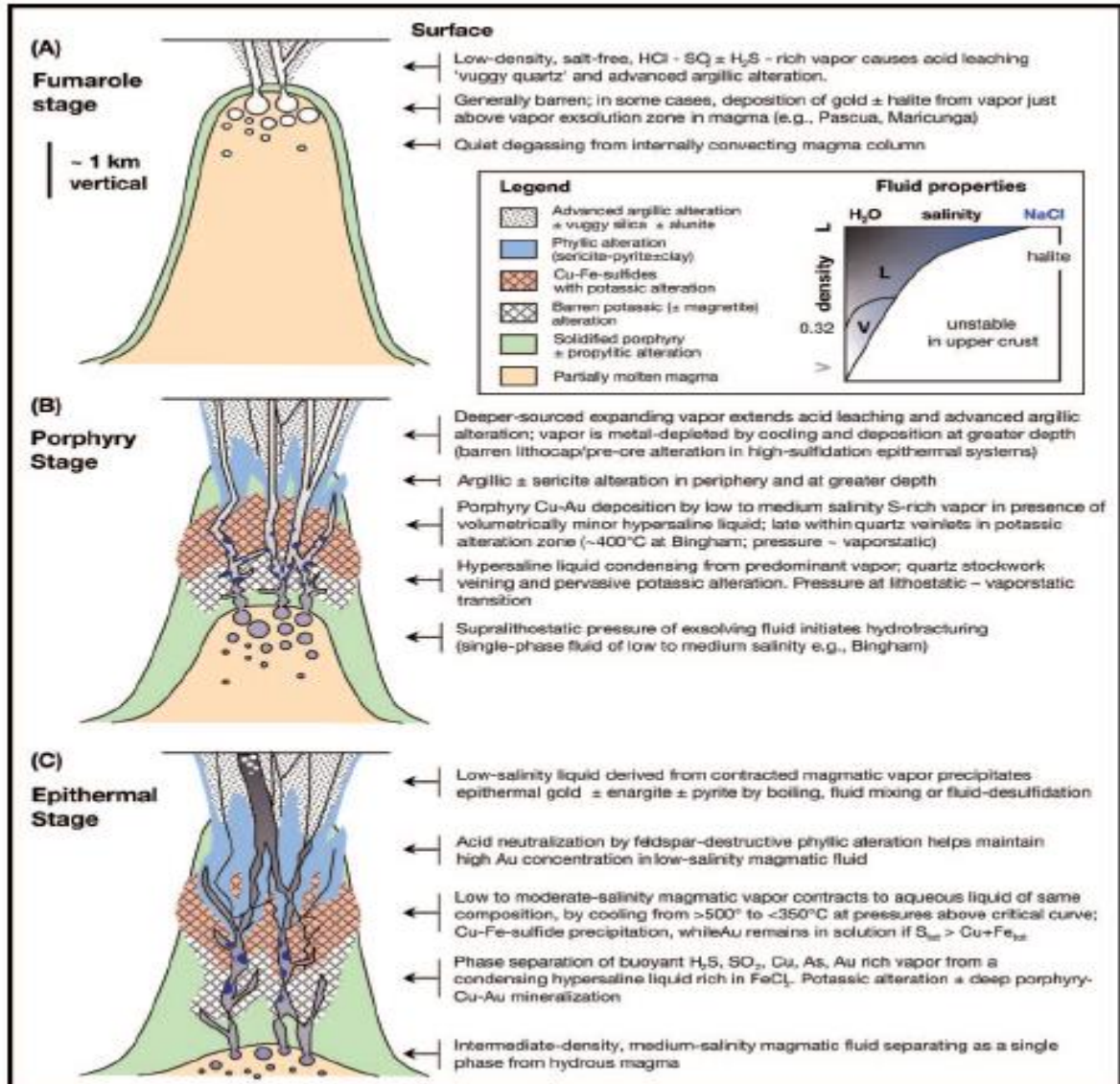
En conclusión, todos los eventos evidencian una transición de un sistema pórfido a un epitermal, transición que hay sido reportada para la zona por Acevedo y Hernández<sup>118</sup>. Para poder llegar a esta conclusión se tiene en cuenta primero la posición de las muestras en profundidad, dentro de un sistema, de acuerdo a la alteración que la muestra presenta. Segundo, se tuvo en cuenta tal como lo muestra William-Jones and Heinrich<sup>119</sup> en la Figura 28, el fluido a medida que asciende, evoluciona, pasando de un fluido rico en contenido salino, y de mayor temperatura, a un fluido de baja salinidad y de menor temperatura. Tercero, identificando cada asociación mineral de los eventos mineralizantes, se identificaron minerales de menas de Cu, Mo y Pb que dan razón, además de las alteraciones, que pertenecen a un sistema pórfido de Cu-Mo.

---

<sup>118</sup> ACEVEDO Y HERNÁNDEZ Op. cit.

<sup>119</sup> WILLIAM, Anthony; HEINRICH, Christoph. Vapor Transport of Metals and the Formation of Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits. Economic Geology, BULLETIN OF THE SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGIST. Vol. 100 November 2005 No.7. 2005

**Figura 29.** Sección esquemática mostrando tres regímenes de evolución del fluido, los cuales pueden ocurrir separadamente, sobre la cámara magmática emplazada a diferentes profundidades o desarrollado secuencialmente durante la evolución de un solo, verticalmente sistema pórfido-epitermal.



Fuente: Tomado de Williams-Jones and Heinrich (2005).

### 9.3 ANALISIS MULTIELEMENTAL DE SUELOS

A partir de los análisis de suelos, y teniendo en cuenta la tabla de concentraciones promedio de los elementos, propuesta en base a compilaciones por Hawkes and Webb<sup>120</sup> y otros autores, se definieron las concentraciones anómalas para los elementos.

**Tabla 9.** Contenido promedio de los elementos químicos en suelos. En negro los promedios de Hawkes and Webb, (1962), en rojo los promedios de Hawkes (1980) y en verde los promedios de Levinson (1980)

ELEMENTO	PROMEDIO CONCENTRACIÓN EN SUELOS (CLARCK)
Ag (Plata)	0.1 ppm 1ppm
Al (Aluminio)	7.13
As (Arsénico)	5 ppm; 10 ppm, 1-50 ppm
Au (Oro)	1 ppb
B (Boro)	30 ppm, 2-100 ppm
Ba (Bario)	500 ppm 100-3000 ppm
Bi (Bismuto)	1 ppm
Ca (Calcio)	1.37
Cd (Cadmio)	0.5 ppm, 100 ppb 1 ppm
Cr (Cromo)	45 ppm 5-1000 ppm
Co (Cobalto)	8 ppm, 10 ppm 1-40 ppm
Cu (Cobre)	0.002%, 20 ppm, 15 ppm 2-100 ppm
Fe (Hierro)	3.80
Ga (Galio)	15 ppm
K (Potasio)	1.36
La (Lantano)	40 ppm
Mg (Magnesio)	0.63

<sup>120</sup> HAWKES AND WEBB Op. cit.

Mn (Manganeso)	30 ppm
Mo (Molibdeno)	2 ppm, 3 ppm 2 ppm
Na (Sodio)	0.63
Ni (Níquel)	40 ppm, 17 ppm 5-500 ppm
P (Fosforo)	8x10 <sup>-2</sup> ; 0.08
Pb (Plomo)	10 ppm, 15 ppm 2-200 ppm
S (Azufre)	850 ppm
Sb (Antimonio)	5 ppm
Sc (Escandio)	-
Se (Selenio)	0.01 ppm 300 ppb 0.2 ppm
Sr (Estroncio)	500-1000 ppm
Th (Torio)	13 ppm
Ti (Titanio)	4600 ppm 5000 ppm
U (Uranio)	1 ppm, 1ppm 1ppm
W (Wolframio)	-
Zn (Zinc)	50 ppm, 35 ppm 10-300 ppm

**Fuente:** Tomado y modificado de (Hawkes and Webb, 1962).

Teniendo en cuenta los promedios de los elementos en suelos definidos por Hawkes and Webb<sup>121</sup>, se puede inferir que los elementos de interés tales como Cu, Mo, Au y Ag, presentan altas concentraciones en el sector de Violetal.

Así mismo los elementos guías o *Pathfinders*, también son congruentes con estas concentraciones. El arsénico presenta grandes concentraciones (superiores a 44.7 ppm hasta >128.8 ppm) en la zona donde también hay grandes concentraciones de plata, oro y cobre.

---

<sup>121</sup> *Ibid*

La plata, se encuentra ampliamente relacionada a el oro, por lo tanto, se observan altas concentraciones de este elemento, junto a altas concentraciones de oro. Para el bario, hay una gran correlación con el plomo y el zinc, pero no con la plata; nuevamente las altas concentraciones de los elementos correlacionables se presenta en la parte central de Violetal y hacia el sector de la Baja.

Para el molibdeno, hay una amplia correlación con el cobre, presentando ambos elementos, altas concentraciones en la zona centro del prospecto Violetal. Los valores de anomalías de molibdeno son desde 32.8 ppm a >310.9 ppm.

El manganeso tiene altas concentraciones >3097 ppm, en zonas de altas concentraciones de Cu y Co. Las concentraciones de Co son de 14 ppm a >41.5 ppm. Las zonas de mayor concentración se presentan en el sector centro del prospecto Violetal.

Para el selenio, hay una alta correlación con el azufre, este último ligado a todos los minerales que son menas de Cu. Las altas concentraciones de selenio de 3.6 ppm a >9.8 ppm se encuentran en el sector del centro de Violetal y hacia el sector de la Baja.

Para el zinc existe una correlación con el plomo en el sector central de la zona Violetal, las altas concentraciones de zinc de 257.7 ppm a > 779.3 ppm se correlacionan con las concentraciones de plomo de 439 ppm a > 1356 ppm.

Estas anomalías presentes en el prospecto Violetal, se encuentran estrechamente relacionadas con la mineralización identificada en los eventos en las rocas graníticas y porfiríticas del prospecto. Así como también con lo reportado por Acevedo y Hernández<sup>122</sup>.

---

<sup>122</sup> ACEVEDO y HERNÁNDEZ. Op. cit.

## 10. CONCLUSIONES

- Se identificaron rocas graníticas que sirven como roca caja y que fueron intruidas por unas rocas porfiríticas riolíticas más jóvenes, siendo estas últimas la fuente de los fluidos hidrotermales y que por tanto generaron las alteraciones en las rocas. También se identificó una brecha tectónica que afecta una roca granítica, probablemente originada por la actividad de un tectonismo local, asociado a las fallas de La Baja y Mongora.
- Se reconocieron alteraciones hidrotermales en las muestras del área Violetal, la primera de ellas correspondiente a una alteración Illita-sericita, siendo esta la más distribuida y que afecta las rocas porfiríticas. Una segunda alteración conformada por clorita-sericita que se limita únicamente a las rocas graníticas del prospecto. Y una última alteración que se impone a las anteriores, caracterizada por la presencia de ankerita.
- Las rocas porfiríticas riolíticas y granitos en el prospecto Violetal, se clasifican geoquímicamente como rocas calco-alcalinas, relacionados a los procesos de zonas de subducción, más localmente relacionado a vulcanismo de arco. (Sillitoe, 2010).
- En el prospecto Violetal, se reconocieron varios eventos, que fueron ubicados temporalmente mediante la profundidad de las muestras, ya que no existían relaciones de corte que permitieran englobar todos los eventos, los primeros eventos se caracterizan por tener Qz+sulfuros de Cu, posteriormente vienen eventos que traen consigo pirrotina, molibdenita y galena, para finalmente terminar con vetillas de Py y Ank.

- En relación con los eventos presentes en el área del prospecto Violetal y sus análisis de inclusiones fluidas, se observa una zona de transición de un sistema pórfido a un sistema epitermal, identificado principalmente por las temperaturas de homogenización y concentración salina en las inclusiones fluidas tipo I y tipo II.
- De acuerdo a minerales como hornblenda, muscovita, entre otros presentes en las rocas clasificadas como granitos, los cuales hospedan los eventos mineralizantes, se puede inferir que estos granitos se pudieran clasificar como Tipo-I, característicos de procesos ígneos relacionados a vulcanismo de arcos magmáticos.
- Como fue reflejado en los resultados de la espectrometría Raman, se identificó la especie gaseosa SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre) en la fase vapor de las inclusiones fluidas, especie volátil importante, debido a que actúa como agente transportador del cobre, por tanto, permitiendo la mineralización en el depósito.
- Realizada la geoquímica de suelos del prospecto Violetal, se puede concluir, que las muestras de suelos cuentan con altas concentraciones de cobre (Cu), Molibdeno (Mo), oro (Au) y plata (Ag); relacionadas a la mineralización de tipo pórfido como a la transición de un sistema epitermal en el prospecto.
- Las altas concentraciones de los elementos guías o *pathfinders*, se correlacionan de gran manera con los elementos de interés económicos, que, a pesar de no ser definidos mineralógicamente en este trabajo, si pueden ser correlacionados con los minerales que presentan estos elementos, que reportan Acevedo y Hernández.

- Se concluye que la mejor zona perspectiva de la zona del proyecto, es la parte central del cerro Violetal. La cual cuenta con altas concentraciones de elementos de interés. Además de que la correlación con los indicadores también lo concluye.

## 11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se hicieran más estudios geoquímicos a rocas del prospecto Violetal, para tener una mayor certeza de la concentración de los elementos, y así poder determinar zonas de interés a profundidad.
- Se recomienda aplicar técnicas que permitan la plena identificación de minerales de mena, en los diferentes eventos, así como en las secciones aquí clasificadas como mineralizadas, del prospecto Violetal.
- Se recomienda un estudio de microtermometría a inclusiones secundarias, para poder tener un mayor conocimiento, de la evolución del fluido mineralizante.

## BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, Juan; HERNÁNDEZ, Anthony. Caracterización mineralógica, textural y de microtermometría del prospecto Violetal, Distrito Minero Vetas – California (DMVC), Santander, Colombia. Tesis de grado Geología, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad Físico-Química, Escuela de Geología. 2016.

BARBOSA, Saray. Evolución del sistema hidrotermal 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. 2016.

BAKKER, Ronald. Software Bluk del paquete Fluids. Chemical geology, volume 194, 3-23. 2003

BISSIG, Thomas; HART, Craig. Colombia Gold and Porphyry Projec Year 2 Technical Report, Mineral Deposit Research Unit, The University of British Columbia, 64 p. 2013.

CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert; CACERES, Carlos. Tectonic assembly of the northern Andean block, in Bartolini C.; Buffler T.; and Blickwede J.; eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon hábitats, basin formation, and plate tectonics; AAPG Memoir 79, p. 815-848. 2003.

CORDANI, Umberto; CARDONA, Agustín. Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: Tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A., Terrane Processes at Margins of

Gondwana. [Anonymous]. Geological Society, London, Special Publications, vol. 246, pp. 329-349. 2005

DONG, Guoyi; MORRISON, Gregg; JAIRETH, Subhash. Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology* 90 (6), 1841-1856.1995.

EVANS, James. Geological and geochemical reconnaissance in the central Santander massif, departments of Santander and Norte de Santander, Colombia. U.S. Geological survey. 1977.

FREZZOTTI, Maria; TECCE, Francesca; CASAGLI, Alessio. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *Journal of Geochemical Exploration* 112 (2012) 1-20. 2012.

GARCÍA, Carlos; RÍOS, Carlos. 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. 1999.

GALVIS-VERGARA, Jaime. Una caldera volcánica en el macizo de Santander, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 22(84): 355-362. ISSN 0370-3908. 1998.

Geología de la Vertiente W del Macizo de Santander, en el sector de Bucaramanga [Anónimo]. *Boletín de geología, Universidad Industrial de Santander.* 1959, Vol. 3

Gold – a useful pathfinder element in the search for porphyry copper deposits in Puerto Rico [Anonymous]. Geochemical exploration 1972. pp. 93-103. IMM. London. 1973.

HAWKES, Herbet, & WEBB, James. Geochemistry in mineral exploration. Harper & Row. 1962.

KASSEM, Taissir. Notas tomadas y ampliadas del curso dictado por el profesor Frederic R. Siegel, en la escuela de Minas de Medellín, entre julio 13 y agosto 6 de 1970. MINISTERIO MINAS Y PETROLEOS, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO MINERAS, DIRECCIÓN REGIONAL IBAGUE. 1970.

La Morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga, Colombia, Sudamérica [Anónimo]. Universidad Industrial de Santander Boletín de geología, 1958, Vol 1

LEÓN, Luis; ZAMBRANO, Jorge; GARCÍA, Hernando. Paragénesis y evaluación de los yacimientos de oro en el distrito minero de Vetas, Boletín de geología Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 1995.

LEVINSON, Alfred. Introduction to Exploration Geochemistry. Second Edition, Applied Publishing Ltd, 924, pp. Illinois. 1980

MANTILLA Luis; VALENCIA, Víctor; BARRA, Fernando; PINTO, Juan; COLEGIAL, Juan. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). Boletín de geología. 2009. Vol. 31.

MANTILLA, Luis; MENDOZA, Hernando; BISSIG, Thomas; CRAIG, Hart. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia) Boletín de geología Vol. 33, N°1, enero-junio 2011. Universidad Industrial de Santander.

MANTILLA, Luis; BISSIG, Thomas; CRAIG, Hart. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). En: Journal of South American Earth Sciences. 2012. Vol. 38, p. 1-12.

MANTILLA, Luis, BISSIG, Thomas, VALENCIA, Víctor, CRAIG, Hart. The magmatic history of the Vetas-California mining district, Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia. Journal of South American Earth Sciences. 2013. Vol 45.

MANTILLA, Luis; GARCÍA, Carlos; VALENCIA, Víctor. PROPUESTA DE ESCISIÓN DE LA DENOMINADA "FORMACIÓN SILGARÁ" (MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA), A PARTIR DE EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS. Bol. Geol. vol.38 no.1 Bucaramanga Mar. 2016.

MATHUR, Ryan, RUIZ, Joaquin. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. Journal of South American Earth Sciences 15 (2003) 815-821.

MENDOZA, Hernando, JARAMILLO, Luis. Geología y geoquímica del área de California, Santander. Boletín de Geológico Ingeominas 22, 3-52. 1979.

MONCADA, Daniel; NIETO, Antonio, REYNOLDS, James; RIMSTIDT, James; BODNAR, Roedder. Mineral textures and fluid inclusion petrography

of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 114 (2012) 20-35. 2012.

NASH, Thomas. Fluid inclusion petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S.G.S. Professional Paper 907D, 16 p. 1976.

RESTREPO, Pedro; RUIZ, Joaquin; GEHRELS, George; COSCA, Michael. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters* 150 (1997) 427-441. 1997.

RESTREPO, Jorge Julián. *Evolución geológica de Colombia*. 1993.

RIOS, Carlos; GARCÍA, Carlos; TAKUSA, Akira. Tectono-metamorphic evolution of the Silgara's Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 16, 133-154. 2003

RODRIGUEZ, Alfonso. *Geology, Alteration, Mineralization and Hydrothermal Evolution of the La Bodega-La Mascota deposits, California-Vetas mining District, Eastern Cordillera of Colombia, Northern Andes*. 2014.

ROJAS, Javier. *Estudio de los procesos de alteración hidrotermal en el túnel veta de barro*. Tesis de pregrado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad Fisicoquímicas, Escuela de Geología 2014.

HAWKES, Herbert; and WEEB, James. *Geochemistry in Mineral exploration*. Second edition, Applied publishing, Academic Press, 657 p. 1980.

SARMIENTO, Yohani, PÉREZ, Harry. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA VEREDA EL VOLCÁN EN EL MUNICIPIO DE VETAS, SANTANDER. Trabajo de grado para la obtención del título de geólogos. Base de datos, Universidad Industrial de Santander. 2013.

Proterozoic Formation Silgará, Cordillera oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites. [Anonymous]. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I H.3-6, 531-546. 1998

SCHWARTS, George. Classification and definitions of textures and mineral structures in ore. Society of Economic Geologist, Inc. Economic geology, v. 46, pp. 578-591. 1951.

SILLITOE, Richard. Porphyry Copper Systems. Economic geology, v. 105, pp. 3-41. 2010

A practical guide to fluid inclusions studies [Anonymous]. Blackie USA: Chapman & Hall, New York. 1985

STRECKEISEN, Albert. Classification of the common igneous rocks by means of the chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch for Mineralogie, Monatshefte, 1976, H. 1, 1-15. 1976

Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method [Anonymous]. Soviet Geol & Geophys. 18, 11-19. 1977.

The application of trace element data to problems in petrology [Anonymous]. *Physics and Chem. of the Earth*. 6, 135-213. 1966

TSCHANZ Charles.; MARVIN Richard; CRUZ Jaime; MEHNERT Harald. and CEBULLA Gerald. Geologic Evolution of Sierra Nevada de Santa Marta, Northerastern Colombia, Geol. Soc.Am. Bull., 85: 273-275. 1974.

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

VAN DEN KERKHOF Alfons; HEIN Ulrich. Fluid inclusions petrography. Lithos, 55: 27-47. 2001

VAN DER LELIJ, Roelant. Reconstruction north-western Gondwana with implications for the evolution of the Iapetus and Rheic Oceans: a geochronological, thermochronological and geochemical study. UNIVERSITÉ DE GENÈVE, Département de Minéralogie. 2013.

WARD, Dwight; GODLSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; RESTREPO, Hernán. Mapa geológico de Colombia, Cuadrángulo H-12 Bucaramanga, planchas 109 Rionegro – 120 Bucaramanga. Cuadrángulo H-13 Pamplona planchas 110 Pamplona – 121 Cerrito. Instituto nacional de Investigaciones Geológico – Mineras. 1973.

WARREN, Harry and DELAVault, Robert. Geochemical prospecting finds widespread application in British Columbia. Min. Eng. 5, 980-981 1953.

WARREN, Harry and DELAVault, Robert. Pathfinding elements in geochemical prospecting (abstract). Interm. Geol. Congr. 20th., Mexico City, p. 359. 1956

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

WILLIAM, Anthony, HEINRICH, Christoph. Vapor Transport of Metals and the Formation of Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits. *Economic Geology, BULLETIN OF THE SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGIST*. Vol. 100 Novembrer 2005 No.7. 2005

YPARRAGUIRRE, José. Secuencias paragenéticas, Alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas de la Veta Bienaventurada, Mina Bienaventurada, Huachocolpa-Huancavelica. Tesis de grado, dirigida por el Dr. C. Cánepa. Universidad de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú, 113 pp y 3 anexos.

ZUKOWSKI, Wojciech; COOKE, David; DEYELL, Cari; MCINNES, Paul and SIMPSON, Kirstie. Genesis and Exploration Implications of Epithermal Gold Mineralization and Porphyry-Style Alteration at the Endeavour 41 Prospect, Cowal District, New South Wales, Australia. 2014.