

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTILOS DE MINERALIZACIÓN EN LA MINA REINA  
DE ORO (MUNICIPIO DE VETAS, DEPARTAMENTO DE SANTANDER), A  
PARTIR DE ESTUDIOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y DE  
MINERALOGÍA DE MENA**

**JAVIER JAIRTH REYES GOMEZ**

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2013

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTILOS DE MINERALIZACIÓN EN LA MINA REINA  
DE ORO (MUNICIPIO DE VETAS, DEPARTAMENTO DE SANTANDER), A  
PARTIR DE ESTUDIOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y DE  
MINERALOGÍA DE MENA**

**JAVIER JAIRTH REYES GOMEZ**

Trabajo de Grado para optar al Título de Geólogo

DIRECTOR:

**LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA**

Geólogo PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2013

## DEDICATORIA

A mi padre José Manuel por creer en mí y por sus esfuerzos en brindarme siempre lo mejor, al igual que por su valiosa orientación en todos los momentos importantes de mi vida.

A mi hijo Javier Mattias, quien ha sido mi mayor motivación para ser mejor cada día.

A mi madre Martha por estar siempre presente a pesar de la distancia.

A mi novia Laura por toda su comprensión y paciencia durante este proceso.

A mis hermanas Leidy, María, Michelle, Manuela y Mayra, quienes han crecido a mi lado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Especialmente al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa, por brindarme la oportunidad de trabajar en este proyecto, al igual que por sus valiosas enseñanzas y acompañamiento incondicional, durante todas las etapas del desarrollo del proyecto.

A Alex Cruz, geólogos y demás personal de la empresa Galway Resources por su colaboración durante las visitas al proyecto 'Mina Reina de Oro'.

A Gerson Mendoza por sus valiosos aportes al desarrollo de este proyecto.

A todos los profesores de la escuela de geología, quienes han hecho grandes aportes a mi desarrollo como profesional, en especial al profesor Ricardo Mier, Hernando Mendoza, Luis Eduardo Moreno, Carlos Ríos, Carlos García, Jairo Clavijo y Jorge Rubiano.

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	17
1 OBJETIVOS .....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2 METODOLOGIA Y TECNICAS ANALITICAS .....	19
2.1 FASE DE LABORATORIO.....	19
3 GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO .....	25
3.1 LOCALIZACIÓN .....	25
3.2 VIAS DE ACCESO.....	26
3.3 CLIMA Y VEGETACION .....	27
4 CONTEXTO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	29
5 RESULTADOS .....	32
5.1 LITOLOGIAS, ALTERACIONES HIDROTERMALES Y MINERALIZACIONES DE MENA. ....	32
6 GEOCRONOLOGIA.....	80
7 CONCLUSIONES.....	84
8 RECOMENDACIONES .....	86
9 BIBLIOGRAFIA.....	87

## Lista de Figuras

<b>FIGURA 1.</b> Lupa binocular marca NIKON Inc. NI-150 modelo CPS del laboratorio de Estereomicroscopia de la escuela de Geología de la UIS. ....	20
<b>FIGURA 2.</b> Microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica. ....	21
<b>FIGURA 3.</b> A. Muestra de ‘Chip’ de roca para análisis al SEM. B. Metalizador/ Evaporador de carbón QUORUM Q150R. C, D y E. Equipo Quanta 650 FEG SEM ambiental (ESEM) ubicado en la UIS. ....	22
<b>FIGURA 4.</b> A. Muestra a analizar. B. Mortero de Ágata. C. Portamuestra con la fase mineral a analizar D. Difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE. ....	23
<b>FIGURA 5.</b> Fotografía del equipo utilizado en el laboratorio ZirChron LLC de la Universidad Estatal de Washington (Tomado de: <a href="http://www.sees.wsu.edu/Geolab/equipment/mcicpms.html">http://www.sees.wsu.edu/Geolab/equipment/mcicpms.html</a> ). ....	24
<b>FIGURA 6.</b> Esquema de localización del área de estudio (Mina Reina de Oro), en el contexto del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). A la derecha, Imagen del área de estudio modificada, donada por la empresa CVS (ahora AUX) a la Escuela de Geología. UIS. ....	25
<b>FIGURA 7.</b> Esquema con los polígonos de la licencia de la empresa Galway Resources, en donde se observa el área abarcada por la concesión ‘Reina de Oro’ (Municipio de Vetas, Santander), (Modificado de: <a href="http://www.galwaygoldinc.com/i/pdf/RPA-Galway-Vetas-NI-43-101-Report.pdf">http://www.galwaygoldinc.com/i/pdf/RPA-Galway-Vetas-NI-43-101-Report.pdf</a> ). ....	26
<b>FIGURA 8.</b> Esquema de las vías principales que comunican a Bucaramanga con el municipio de Vetas (Modificado de: <a href="http://www.invias.gov.co/images/mapas/imagenes_red_vial/10052012/22_santander.html">http://www.invias.gov.co/images/mapas/imagenes_red_vial/10052012/22_santander.html</a> ). ....	27
<b>FIGURA 9.</b> Esquema de la Geología Regional de la zona objeto de estudio (Tomado de Royero y Vargas, 1999). ....	31
<b>FIGURA 10.</b> Esquema de distribución de galerías presentes en la mina Reina de Oro (Tomado de la base de datos de la empresa Galway Resources). ....	34
<b>FIGURA 11.</b> A. Xenolito de material silisificado incluido dentro del cuerpo porfirítico. B. Aspecto de la relación de corte entre el Pórfido riódacítico y la veta Corteros observada a lo largo de la Galería de acceso. ....	35
<b>FIGURA 12.</b> A. Aspecto a escala de muestra de mano, del material silicificado, presente a manera de xenolitos al interior del cuerpo ígneo de textura porfírica, reconocido a lo largo de la Galería de conexión. B. Aspecto de un cristal relíctico de molibdenita. C. Biotita, observada al interior del xenolito. D y E. Clorita como producto de alteración de la biotita. ....	36
<b>FIGURA 13. A y B.</b> Aspecto de la relación de corte, en la cual se observa una veta de cuarzo-molibdenita, cortando al cuerpo ígneo de textura porfírica, de edad Neógeno. ....	38
<b>FIGURA 14.</b> Aspecto en muestra de mano de la veta de cuarzo-molibdenita que se encuentra cortando al cuerpo porfirítico. A. Aspecto de cristales de plagioclasa, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. B. Aspecto de los cuarzos de formas ovoides, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. ....	38
<b>FIGURA 15.</b> Aspecto bajo lupa binocular de A. Cristales de cuarzo corroídos, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. B. Cristales de plagioclasa, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. ....	39
<b>FIGURA 16.</b> Aspecto en sección delgada de cristales de cuarzo ovoides, los cuales fueron afectados por procesos de corrosión. A y C. Aspecto en PPL. B y D. Aspecto en XPL. ....	40

<b>FIGURA 17.</b> Vista en sección delgada de cristales de plagioclasa alterados a alunita (Al) y caolinita (Cln), indicadores de ambientes de alta sulfidación, los cuales son cortados por vetillas de cuarzo-pirita. A y C. Aspecto en PPL. B y D. Aspecto en XPL. ....	41
<b>FIGURA 18.</b> Foto de la veta que contiene los eventos de baja-intermedia sulfidación asociados al oro electrum. ....	42
<b>FIGURA 19.</b> A y B. Cristales de pearceita en contacto con oro electrum. ....	42
<b>FIGURA 20.</b> A. Fotografía detallada al SEM del evento asociado con la ocurrencia de oro electrum. B, C y D. espectro EDS de los minerales asociados con el oro electrum. ....	43
<b>FIGURA 21.</b> A. Fotografía de la figura anterior, con un mayor alejamiento, en donde se observa la enargita, representando el evento de alta sulfidación. B, C y D. espectro EDS de los minerales asociados con el oro electrum. ....	44
<b>FIGURA 22.</b> Zona de la muestra con presencia de minerales asociados al oro electrum, escogida para realizar mapas elementales. ....	45
<b>FIGURA 23.</b> Sector de la muestra con enargita, oro electrum, esfalerita, cuarzo, sulfosales de cobre y plata y sulfosales de plata A. Imagen al SEM en retro-dispersados. B-O. Mapas de distribución elemental (para cada elemento). ....	46
<b>FIGURA 24.</b> Fotografía vista en lupa binocular de .A. Cristales de esfalerita de color rojo. B. Cristales de galena con su clivaje característico. ....	47
<b>FIGURA 25.</b> Fotografías del evento representado en cristales de mayor tamaño envolviendo al oro electrum. A y B. Cristales de esfalerita donde se muestra la zona que contiene el oro (circulo amarillo), con su respectivo espectro EDS. C y D. Cristales de galena, con su respectivo espectro EDS. ....	48
<b>FIGURA 26.</b> A y B. Cristales de sulfosales de cobre y plata (tenantita o pearceita?) asociados con la galena, con su respectivo espectro EDS. C y D. Fotografía con un alejamiento mayor en donde se observan las fases minerales mencionadas, con su respectivo espectro EDS. E y F. Cristales de pearceita de hábito cristalino pseudo-hexagonal, con su respectivo espectro EDS. ....	49
<b>FIGURA 27.</b> Zona con una mayor alejamiento, la cual envuelve al evento con oro electrum anteriormente descrito, en donde se señala la zona con oro electrum (circulo amarillo)...	50
<b>FIGURA 28.</b> Imagen a diferente escala (más alejada) de la muestra, en donde se observa esfalerita, cuarzo, sulfosales de cobre y plata y sulfosales de plata A. Imagen al SEM en retro-dispersados. B-L. Mapas de distribución elemental (para cada elemento).....	51
<b>FIGURA 29.</b> Fotografías al SEM de minerales de alteración supergénica A y B. óxidos de Fe y Pb con una mezcla de As, Al, Si y K, con su respectivo espectro EDS. C y D. Óxidos de Hierro con una mezcla de As, Si, Al, P, S, Sb, P, K, Cu y Zn, con su respectivo espectro EDS.....	54
<b>FIGURA 30.</b> Esquema del sondaje No 1, en donde se muestra la distribución de las variedades litológicas reconocidas.....	55
<b>FIGURA 31.</b> A. aspecto a escala de núcleos de perforación del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico. B. aspecto a escala detallada en donde se observan los constituyentes minerales del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico.....	56
<b>FIGURA 32.</b> Apariencia del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico, afectado moderadamente por alteración argílica. ....	57
<b>FIGURA 33.</b> A. Zona silicificada, la cual corta al intrusivo cuarzodiorítico en donde se observa la relación de corte entre el cuarzo masivo y las vetillas de molibdenita-pirita. B. Zona silicificada, la cual corta al intrusivo cuarzodiorítico en donde se observa la relación de corte entre el cuarzo masivo, el cuarzo sacaroidal y las vetillas de cuarzo drussy-pirita. ....	59
<b>FIGURA 34.</b> A. Relación de corte entre la vetilla con oquedades, compuesta por cuarzo drussy-pirita y la vetilla de molibdenita-pirita. B. vista detallada, en lupa binocular de la vetilla de cuarzo drussy-pirita.....	59

<b>FIGURA 35.</b> Aspecto de la zona silisificada que corta el cuerpo intrusivo cuarzodiorítico.	60
<b>FIGURA 36.</b> A y B. Aspecto en PPL y XPL de clorita, en la zona silisificada que corta al intrusivo cuarzodiorítico. C y D. Aspecto en PPL y XPL de los constituyentes minerales en la zona silisificada. E y F. Aspecto en PPL y XPL de la textura micrográfica y pertítica presentes en esta zona silisificada.	61
<b>FIGURA 37.</b> A. Aspecto a escala de núcleo de perforación del cuerpo riodacítico porfirítico. B. Aspecto a escala más detallada del cuerpo riodacítico porfirítico, en donde se alcanza a observar sus constituyentes minerales.	63
<b>FIGURA 38.</b> Vetilla con sutura central, en donde también se observa un xenolito del Gneis de Bucaramanga, esta foto se tomó a una profundidad de 219m.	64
<b>FIGURA 39.</b> Aspecto de las vetillas sinuosas A. Cerca al contacto con el intrusivo cuarzodiorítico B. A una profundidad de 228,08m	65
<b>FIGURA 40.</b> A y B. Vetillas tipo A con sutura central cortada por vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita sobre el cuerpo porfirítico. C. Vetilla tipo A vista al detalle. D. Vetilla tipo B vista al detalle.	66
<b>FIGURA 41.</b> Vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita cortando al cuerpo riodacítico porfirítico.	67
<b>FIGURA 42.</b> Halo de alteración filica a los bordes de la vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita, visto en sección delgada. A. Aspecto en PPL. B. Aspecto en XPL.	67
<b>FIGURA 43.</b> A, B y C. Zona de fuerte alteración clorita-sericita en donde se observa un importante contenido de pirita y calcopirita.	68
<b>FIGURA 44.</b> A, B y C. Halos de alteración clorita-sericita alrededor de las vetillas de pirita-calcopirita-illita.	69
<b>FIGURA 45.</b> Aspecto de las vetillas con hematita-cuarzo-calcopirita cortando a la vetilla de cuarzo-molibdenita.	70
<b>FIGURA 46.</b> A y B. Vetilla con cuarzo-hematita-calcopirita vista al detalle, en donde se observa sericita en su halo.	70
<b>FIGURA 47.</b> A. Cuerpo porfirítico con vetillas sinuosas con sutura central. B y D. Fotografía bajo microscopio petrográfico de los minerales presentes alrededor de la vetillas sinuosas con sutura central, vista en PPL. C y E. Fotografía bajo microscopio petrográfico de los minerales presentes alrededor de la vetilla tipo A, vista en XPL.	72
<b>FIGURA 48. A y B.</b> Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Cuarzo-Feldespatico. C y D. Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Biotítico. E y F. Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Anfibolítico.	74
<b>FIGURA 49.</b> Fotografías de A. Los dos (2) eventos porfiríticos cortando al Gneis Cuarzo-Feldespatico. B. Texturas crustiformes desarrolladas en el primer evento. C. Relación de corte de los dos eventos.	75
<b>FIGURA 50.</b> Vista al microscopio petrográfico del primer evento. A. Aspecto en PPL. B. Aspecto en XPL.	76
<b>FIGURA 51.</b> A. Fotografías del evento porfirítico representado en vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita. B. Aspecto al microscopio petrográfico de la vetilla de cuarzo-molibdenita-calcopirita en PPL. C. Aspecto al microscopio petrográfico de la vetilla de cuarzo-molibdenita-calcopirita en XPL.	77
<b>FIGURA 52.</b> Aspecto de las vetillas de del evento supergenico con Halloysita.	78
<b>FIGURA 53.</b> Edades U-Pb obtenidas a partir del análisis de circones de la muestra JGR-01-002, mediante la técnica LA- MC-ICPMS (11.0±0.1 Ma). A. Diagrama concordia U-Pb a partir de circones, donde se muestran las diferentes edades heredadas y edad de cristalización del cuerpo porfirítico del Neógeno estudiado (JGR-01-002). B. Diagrama de distribución de las edades obtenidas (error 2s); C. Distribución de los rangos de edades	

obtenidas a partir del análisis de las diferentes zonas al interior de los circones, en la cual se muestra la dominancia de las edades entorno a 11.0 Ma.....81

## **Lista de tablas**

**TABLA 1.** Resultados de difracción de rayos x de las fases minerales de la figura 52. 79

**TABLA 2.** Resultados analíticos U-Pb en varias de las zonas al interior de los circones estudiados en la muestra JGR-01-002 y sus respectivas edades. 83

## **Anexos Digitales**

**ANEXO 1.** Datos de análisis de difracción de rayos X (DRX).

**ANEXO 2.** Datos de análisis al Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

**ANEXO 3.** Resultados de dataciones U-Pb.

## RESUMEN

**TITULO:** IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTILOS DE MINERALIZACIÓN EN LA MINA REINA DE ORO (MUNICIPIO DE VETAS, DEPARTAMENTO DE SANTANDER), A PARTIR DE ESTUDIOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y DE MINERALOGÍA DE MENA.

**AUTOR:** Javier Jairth Reyes Gómez\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Macizo de Santander, Municipio de Vetas, Mina Reina de Oro, Mineralización Porfírica-Epitermal.

### DESCRIPCION

En el área del proyecto 'Mina Reina de Oro', localizado en el Municipio de Vetas (Departamento de Santander, Colombia), afloran rocas metamórficas del Gneis de Bucaramanga; rocas ígneas faneríticas, al parecer correlacionables con los eventos magmáticos de edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano, y cuerpos porfíricos de edad Neógeno.

El estudio de las alteraciones hidrotermales y la mineralogía de mena (tanto a escala macroscópica, como microscópica) de las diferentes estructuras mineralizadas (por ejemplo: Vetas y Vetillas), permitió reconocer para la mina Reina de Oro, dos estilos de mineralización claramente definidos: uno de ambiente porfírico y otro de ambiente epitermal. El estilo de mineralización porfírica, se reconoce mediante la presencia de alteraciones, principalmente potásica, félica, y propilítica, al igual que mediante la presencia de vetillas tipo A, B y D. Por otro lado, el estilo de mineralización epitermal, se reconoce mediante la presencia de diferentes asociaciones mineralógicas y alteraciones hidrotermales, las cuales sugieren condiciones propias de ambientes de baja-intermedia sulfidación, y relictos de ambientes propios de alta sulfidación.

Las edades obtenidas a partir de dataciones U-Pb en circones presentes en rocas porfíricas, apuntan a la existencia de pulsos de edad Mioceno (11 Ma). Rocas de ésta edad se presentan localmente como material relíctico en filones hidrotermales, y a su vez, éstas presentan relictos de materiales hidrotermales con cuarzo-molibdeno, sugiriendo que en el área han tenido lugar eventos mineralizantes previos y con posterioridad a los 11 Ma.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: PhD Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: MSc Jesús Hernando Mendoza Forero.

## ABSTRACT

**TITLE:** IDENTIFICATION OF THE MINERALIZATION STYLES IN THE REINA DE ORO MINE (MUNICIPALITY OF VETAS, DEPARTMENT OF SANTANDER), FROM THE STUDIES OF HYDROTHERMAL ALTERATION AND ORE MINERALOGY.

**AUTHOR:** Javier Jairth Reyes Gómez\*\*.

**KEYWORDS:** Santander Massif, Municipality of Vetas, Reina de Oro Mine, Porphyry-Epithermal Mineralization.

## DESCRIPTION

In the project area 'Reina de Oro Mine', located in the Municipality of Vetas (Department of Santander, Colombia), outcrop metamorphic rocks of the Bucaramanga Gneiss; phaneritic igneous rocks, apparently correlated with the magmatic events of Late Triassic–Early Jurassic age, and porphyry bodies of Neogene age.

The hydrothermal alteration studies and the ore mineralogy (at both macroscopic and microscopic scales) of the different mineralized structures (for example: veins and veinlets), allowed to recognize for the Reina de Oro mine, two mineralization styles clearly defined: one being porphyry environment and the other being epithermal environment. The porphyry style mineralization is recognized through the presence of alteration, mainly potassic, phyllic and propylitic, at the same time, through the presence of type A, B and D. veinlets. On the other hand, the epithermal style of mineralization, it is recognized through the presence of different mineral assemblages and hydrothermal alterations, which suggest environment conditions of low-intermediate sulphidation and relicts of own environments of high sulphidation.

The ages obtained from U-Pb dating of zircon present in porphyritic rocks, point to the existence of Miocene (11Ma) pulses. Rocks of this age are presented locally as relict materials in hydrothermal veins, and in turn, they show relicts of hydrothermal materials with quartz-molybdenum, suggesting that in the area, mineralizing events have taken place before and after the 11 Ma.

---

\*Graduate Project

\*\* Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology School. Director: PhD Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: MSc Jesús Hernando Mendoza Forero.

## INTRODUCCION

El presente documento es el resultado de una tesis de pregrado 'modalidad investigación', realizada en el área del proyecto 'Mina Reina de Oro', el cual se localiza en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental de Colombia). Ésta investigación a su vez, hace parte de una serie de estudios que adelanta la escuela de Geología de la UIS, mediante trabajos similares de tesis de pregrado, encaminados a aportar nuevo conocimiento sobre la evolución geológica del territorio Colombiano y su metalogénia asociada.

El objetivo del presente estudio es identificar los estilos de mineralización en la 'Mina Reina de Oro', a partir de estudios de las diferentes alteraciones hidrotermales y de mineralogía de mena, presentes en sectores puntuales del túnel y en núcleos del Sondaje 1 (coordenadas X: 1133802; Y: 1300832 y Z= 3586), el cual tiene 531 m de perforación. Éste sondaje mencionado, por lo tanto, tiene el carácter de 'Sondaje Piloto'. Por esta razón, los resultados que se deriven del presente estudio, deben ser considerados como preliminares. Solo muestreos y análisis de mayor densidad a escala de todo el depósito, podrán reflejar con mayor detalle las características metalogénicas del depósito.

Tradicionalmente, éste depósito ha sido considerado como un depósito de Baja Sulfidación, según estudios previos (Mathur, 2003). Sin embargo, durante una visita puntual al área del proyecto, realizada por el autor del presente estudio y sus directores, se pudo reconocer una serie de atributos físicos al interior del túnel y en muestras puntuales de sondajes, los cuales evidenciaban '*a priori*', la existencia de un escenario metalogénico más complejo. Esto último, motivó la formulación del presente trabajo de tesis de pregrado.

En el marco de lo anteriormente mencionado, se espera con este estudio, aportar nuevos elementos de discusión, que contribuyan particularmente al conocimiento sobre la evolución geológica del Macizo de Santander, y sus eventos metalogénicos asociados.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar los estilos de mineralización en la mina Reina de Oro (Municipio de Vetas, departamento de Santander), a partir de estudios de alteración hidrotermal y de mineralogía de mena

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la compilación y el análisis de la información geológica existente sobre el área objeto de estudio, para fines de su contextualización, desde el punto de vista de su geología regional y local.
- Realizar un trabajo de campo en aras de reconocer las unidades litoestratigráficas aflorantes en el área (geología de superficie, al interior de túneles y sondaje) y las diferentes estructuras geológicas (fallas, diaclasas, pliegues, etc.). alteraciones hidrotermales, etc.; para fines de poder establecer posibles controles litológicos y/o estructurales durante los eventos paleohidrotermales mineralizantes.
- Realizar un estudio mineralógico-petrográfico de 5 muestras de roca; seleccionadas de la sucesión de litologías cortadas a lo largo del sondaje No. 1; mediante análisis de difracción de rayos X (DRX) y microscopía óptica y electrónica, para fines de estudiar sus posibles diferentes contextos paragenéticos.
- Definir, a la luz de los nuevos datos, los estilos y ambientes de mineralización presentes en la mina Reina de Oro.

## **2 METODOLOGIA Y TECNICAS ANALITICAS**

La Metodología empleada para el logro de los objetivos antes mencionados, abarcó básicamente las siguientes cuatro fases: fase de revisión bibliográfica, fase de campo, fase de laboratorio, y fase de interpretación de datos y elaboración del presente informe. Por su relación directa con la obtención de nuevos datos, a continuación se describe solo lo relacionado con la fase de laboratorio.

### **2.1 FASE DE LABORATORIO**

Durante esta fase de laboratorio se realizó una descripción macroscópica de las muestras, posteriormente se identificaron las especies minerales mediante descripción de láminas delgadas y exploraciones en el microscopio electrónico de barrido.

**2.1.1 Microscopía óptica y electrónica.** La descripción en muestra de mano se llevó a cabo en el laboratorio de Estereomicroscopia de la escuela de Geología de la UIS, usando una lupa binocular marca NIKON Inc. NI-150 modelo CPS (ver FIGURA 1) con la cual se describió sus texturas y mineralogía.

**FIGURA 1.** Lupa binocular marca NIKON Inc. NI-150 modelo CPS del laboratorio de Estereomicroscopia de la escuela de Geología de la UIS.



El estudio petrográfico de láminas delgadas, se llevó a cabo en el laboratorio de microscopia de luz transmitida de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, usando un Microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica DS-11 (ver FIGURA 2). Éste estudio, se realizó para fines de clasificar desde el punto de vista de la composición modal, aquellos cuerpos intrusivos presentes en la zona de estudio así como de determinar los diferentes contextos paragenéticos de las alteraciones hidrotermales hipógenas.

**FIGURA 2.** Microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica.



Para fines de estudiar muestras concretas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), se seleccionaron tres ‘chips ‘de roca (ver FIGURA 3A). Las exploraciones al SEM se realizaron en el laboratorio del Parque Tecnológico de Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander (Piedecuesta, Santander, Colombia). Para la preparación de las muestras, cada una de ellas fue colocada en un porta-muestras individual usando cinta de carbón para su fijación, seguidamente fueron montadas en el porta-muestras y recubiertas en el Metalizador/ Evaporador de carbón QUORUM Q150R (ver FIGURA. 3B), una vez realizado el recubrimiento de carbón fueron posteriormente analizadas en el Quanta 650 FEG SEM ambiental (ESEM) (Microscopio Electrónico de Barrido) (Ver FIGURA 3C, 3D y 3E). Las condiciones en las cuales se desarrollaron éstos

análisis o exploraciones al SEM se indican en la parte inferior de cada micrografía (Aceleración o Kv, y magnificación), en donde fueron sometidas a un análisis superficial trabajando en el modo bajo vacío utilizando el detector de electrones secundarios y el detector de electrones retrodispersados “Backscater Electron Detector” (BSED). El análisis puntual, fue realizado con detector SDD APOLO X acoplado al equipo el cual tiene una resolución de 126.1 eV (en. Mn K $\alpha$ ) para realizar análisis EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy), este análisis proporciona información cualitativa y semi-cuantitativa de los elementos químicos presentes en los materiales.

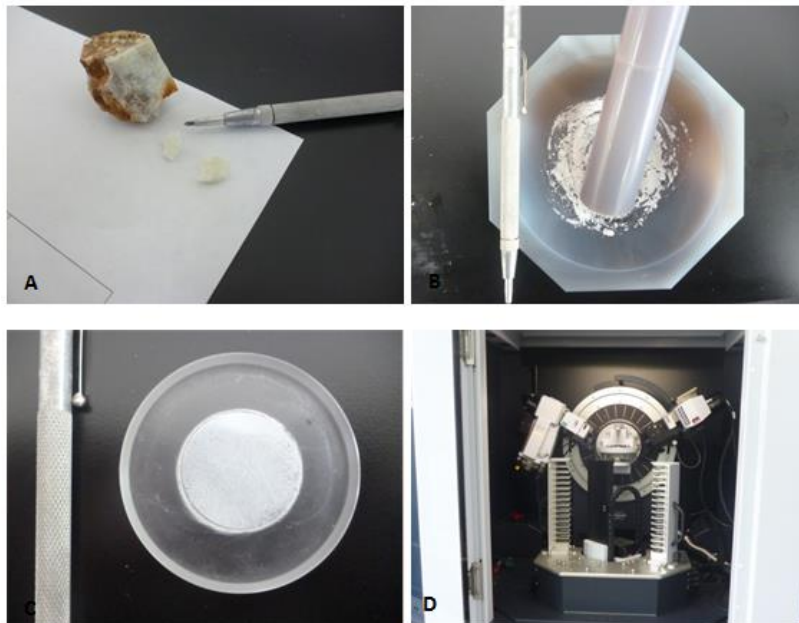
**FIGURA 3.** **A.** Muestra de ‘Chip’ de roca para análisis al SEM. **B.** Metalizador/ Evaporador de carbón QUORUM Q150R. **C, D y E.** Equipo Quanta 650 FEG SEM ambiental (ESEM) ubicado en la UIS.



**2.1.2. Difracción de rayos X (DRX).** Los análisis de DRX, se realizaron en el parque tecnológico Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander (Piedecuesta, Santander, Colombia), utilizando un equipo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE (ver FIGURA 4D) con geometría Da Vinci, bajo las siguientes condiciones de operación: Voltaje 40(kV); Corriente 30(mA); Rendija de Divergencia 0.6mm; Rendijas Soller Primario 2.5°Muestreo 0.01526° 2theta; Rango de Medición 3.5-70° 2theta; Radiación CuK $\alpha$ 1; Filtro Níquel, Detector Lineal LynxEye; Tipo de barrido A pasos; Tiempo de muestreo 0.4 segundos.

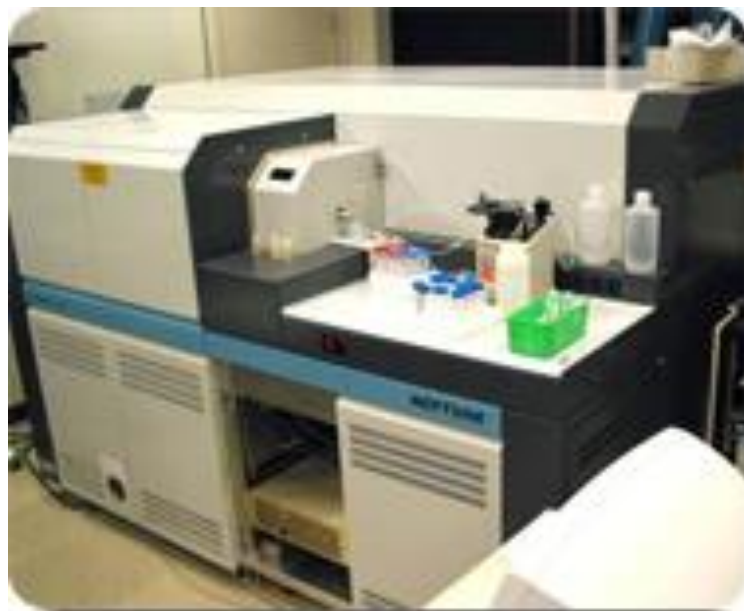
Para éste estudio, se seleccionaron 3 muestras (ver FIGURA 4A) de arcillas para la correspondiente identificación de sus fases minerales a partir de agregados en polvo mediante Difracción de Rayos X, estos análisis cualitativos de las fases presentes en la muestra se realizaron mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

**FIGURA 4. A.** Muestra a analizar. **B.** Mortero de Ágata. **C.** Portamuestra con la fase mineral a analizar **D.** Difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE.



**2.1.3 Dataciones U-Pb.** Las dataciones U-Pb en circones, mediante la técnica LA-ICP-MS, se realizaron en el laboratorio ZirChron LLC de la Universidad Estatal de Washington (WS, USA). Los detalles del procedimiento analítico seguido durante este estudio, se resume en el apartado 'Metodología', documentado en Mantilla et al. (2013).

**FIGURA 5.** Fotografía del equipo utilizado en el laboratorio ZirChron LLC de la Universidad Estatal de Washington.



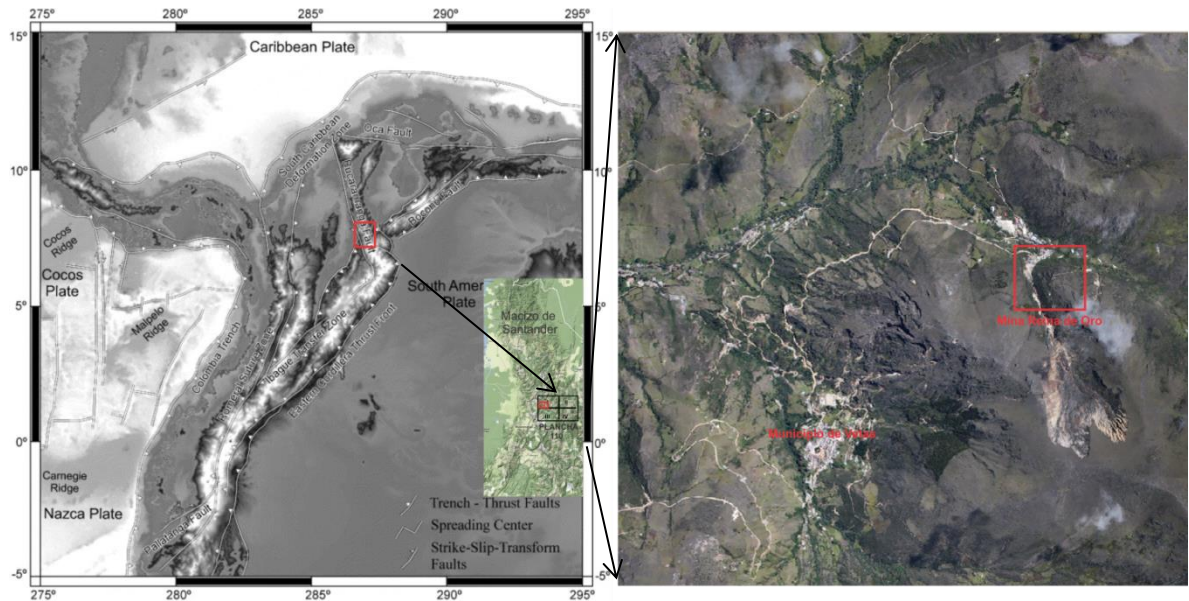
**Fuente:** Tomado de <http://www.sees.wsu.edu/Geolab/equipment/mcicpms.html>.

### 3 GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

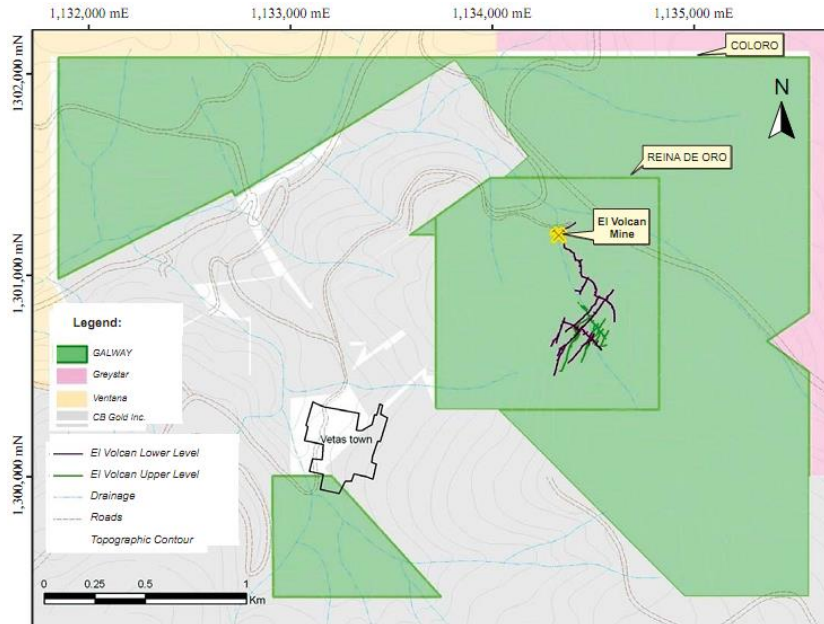
La mina Reina de Oro está ubicada aproximadamente a 1.5 Km en línea recta al NE del municipio de Vetas, departamento de Santander, Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia), (Ver FIGURA 6). La cota a la cual se localiza la bocamina de éste proyecto, está a 3413 msnm. Las coordenadas de la Bocamina del túnel Reina de Oro (También llamado el Volcán), son las siguientes: Norte: 1301196; Este: 1134325. El área del proyecto hace parte de la Plancha 110-I-C (escala 1:25.000), según la base cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

**FIGURA 6.** Esquema de localización del área de estudio (Mina Reina de Oro), en el contexto del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia).



**Fuente:** Imagen del área de estudio modificada, donada por la empresa CVS (ahora AUX) a la Escuela de Geología. UIS.

**FIGURA 7.** Esquema con los polígonos de la licencia de la empresa Galway Resources, en donde se observa el área abarcada por la concesión 'Reina de Oro' (Municipio de Vetas, Santander).



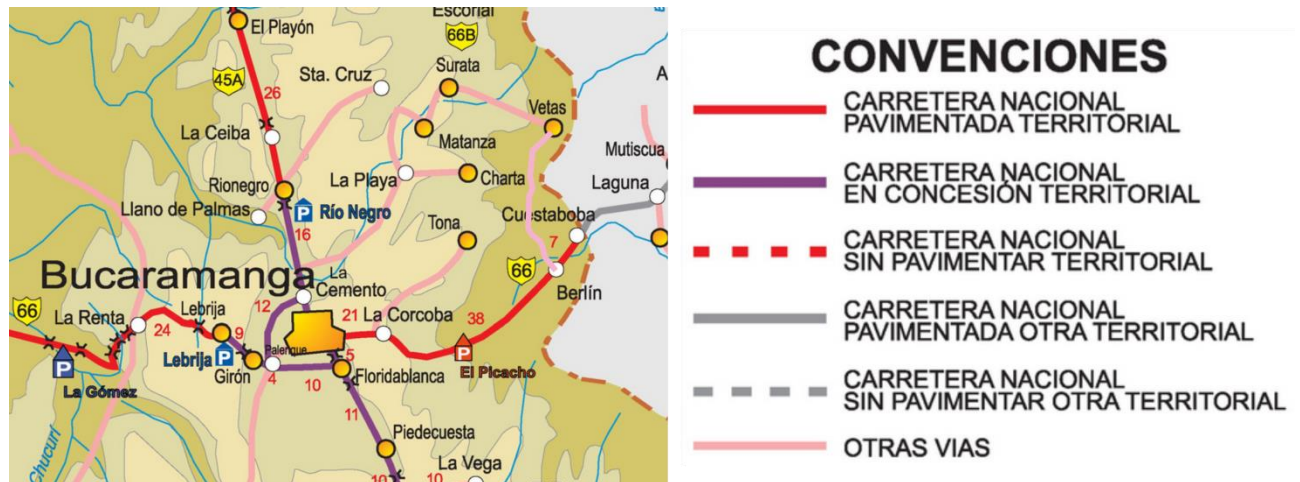
**Fuente:** Modificado de <http://www.galwaygoldinc.com/i/pdf/RPA-Galway-Vetas-NI-43-101-Report.pdf>.

### 3.2 VIAS DE ACCESO

Al área de estudio se puede acceder por la vía que comunica a Bucaramanga con Berlín, la cual se encuentra totalmente pavimentada, luego se hace un desvío tomando la Vía que de Berlín conduce a Vetas, la cual se encuentra sin pavimentar y de ahí el carretable que de Vetas conduce a la vereda El Volcán, el cual se encuentra sin pavimentar.

A esta zona de interés también se puede acceder tomando la vía que de Bucaramanga conduce a California pasando por los municipios de Matanza y Surata, luego tomando la carretera que de California conduce a Vetas la cual se encuentra sin pavimentar (ver FIGURA 8), y de ahí el carretable que de Vetas conduce a la vereda El Volcán, el cual se encuentra sin pavimentar

**FIGURA 8.** Esquema de las vías principales que comunican a Bucaramanga con el municipio de Vetas.



**Fuente:** Modificado de

[http://www.invias.gov.co/images/mapas/imagenes\\_red\\_vial/10052012/22\\_santander.html](http://www.invias.gov.co/images/mapas/imagenes_red_vial/10052012/22_santander.html).

### 3.3 CLIMA Y VEGETACION

Según la CDMB y Corponor (2002), el clima de esta zona se encuentra entre ligeramente húmedo y muy húmedo, de acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite. La precipitación presenta un régimen bimodal, con periodos altos entre los meses de abril y mayo, y septiembre y noviembre, y con valores de precipitación anuales promedio entre 600 y 1.000 mm. De acuerdo con los registros térmicos, los valores medios multianuales oscilan entre los 6 y 12 °C. Las mayores temperaturas medias se dan entre mayo y julio, y el índice de menor temperatura media se da en los meses de octubre y noviembre.

Según un estudio realizado por el grupo de investigación sobre desarrollo regional y ordenamiento territorial (GIDROT) de la Universidad Industrial de Santander (2011), la vegetación de esta zona es de bosque muy húmedo montano, la cual se caracteriza por ser de porte bajo; presenta intervención humana en áreas de mayor accesibilidad. Entre las especies vegetales dominantes se encuentran las

siguientes: tuno (*Miconia summa*), chite (*Hypericum laricifolium*), pegamosco (*Befaria* sp), chusque (*Chusquea tesallata*), helecho (*Dryopteris parallelograma*), frailejón (*Espeletia* sp. ), Mano de oso (*Oreopanax discolor*).

#### 4 CONTEXTO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sistema andino de Colombia, al igual que el de Venezuela (Andes de Mérida) y Ecuador, hacen parte de los denominados Andes del Norte. Los Andes del Norte, se considera han tenido una historia y estilo de deformación diferente, en el cual han dominado los procesos de acreción de terrenos en el marco de una tectónica básicamente de rumbo dextral (transpresiva), en comparación con los Andes Centrales y del Sur (Gansser et al., 1977, Alemán y Ramos, 2000). Pennington (1981), denomina a los Andes del Norte, como Bloque Andino.

Desde el punto de vista de los terrenos o unidades litotectónicas, el área objeto de estudio, la cual hace parte del Macizo de Santander, se proyecta en el denominado Terreno Chibcha, en términos de Restrepo et al. (2011), y en el dominio de la Subplaca de Maracaibo, en términos de Cediél et al. (2003).

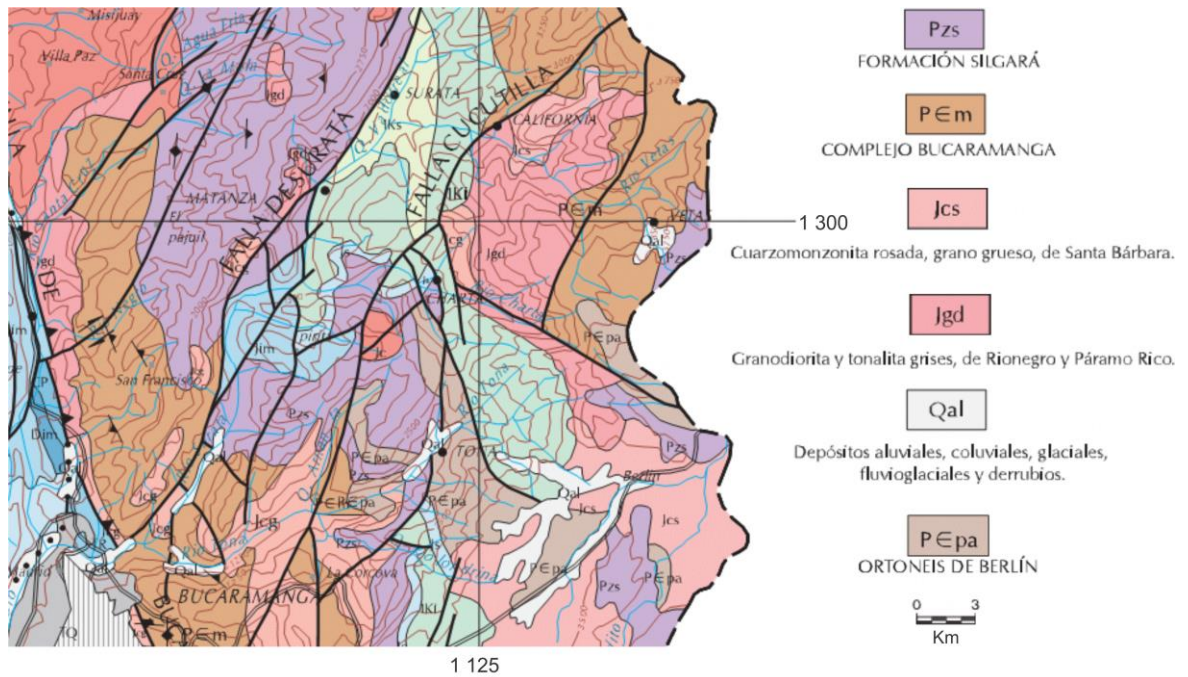
El Macizo de Santander se caracteriza por presentar rocas con metamorfismo regional, las cuales son más antiguas que 470 Ma (Restrepo-Pace y Cediél, 2010; Mantilla et al., 2012). Entre las unidades de roca que hacen parte de estas unidades metamórficas, destacan las formaciones Gneis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará, Ortoneis (ver FIGURA 9) y seguramente también una secuencia de rocas meta-siliciclásticas denominadas en diferentes sectores del MS como Formación La Virgen, Metasedimentitas de Guaca, entre otros nombres relacionados en la bibliografía especializada (Ward et al., 1973; Cordani et al., 2005; Urueña y Zuluaga, 2011; Mantilla et al., 2013). Con posterioridad a éste intervalo de tiempo, se observan rocas ígneas y sedimentarias en diferentes sectores del Macizo de Santander, las cuales se relacionan principalmente con eventos de edad Paleozoico Superior, Mesozoico y Cenozoico. Debido a su mayor distribución espacial, entre las rocas ígneas reconocidas en el Macizo de Santander, se reconocen aquellas relacionadas con eventos magmáticos, principalmente del Paleozoico, Triásico-Jurásico, Cretácico (?) y Mioceno (Goldsmith et al., 1971; Ward et al., 1973; Hargraves et al., 1984; Boinet et al., 1985; Dörr et al., 1995; Royero y Clavijo, 2001; Mantilla et al., 2009, 2011). No se

descarta la presencia de cuerpos ígneos más jóvenes, tal como ha sido señalado por Mantilla et al. (2012), considerando que algunas rocas Miocénicas presentes en el sector central del Macizo de Santander presentan alteraciones hidrotermales epigenéticas.

Con relación al magmatismo Miocénico, Mantilla et al. (2009, 2011), reportan la presencia de rocas ígneas tanto de textura porfirítica-afanítica, como de textura porfirítica-fanerítica, las cuales presentan composiciones entre cuarzomonzodioritas, granodioritas, andesitas porfiríticas y riocacitas porfiríticas. Apoyados en las edades hasta ahora disponibles (en un rango de edades U-Pb en circones entre  $8.4 \pm 0.2$  y  $10.9 \pm 0.2$  Ma), se puede estimar que éste magmatismo Miocénico, por ahora solo reportado en el sector Central del Macizo de Santander (Distrito Minero de Vetas-California), debió tener un periodo de duración de por lo menos 2.5 Ma (Mantilla et al., 2009, 2011). Con éste evento magmático, los autores relacionan algunos de los ambientes de mineralización presentes en el Distrito Minero de Vetas-California.

Concretamente en el área objeto de estudio, se reconocen las siguientes unidades litológicas: Formación Gneis de Bucaramanga, Rocas ígneas de composición leucogranítica de edad Triásico Tardío –Jurásico Temprano (Mantilla et al., 2013) y un grupo de rocas porfiríticas presentes principalmente a manera de diques, consideras de edad Neógeno (Mantilla et al., 2011).

**FIGURA 9.** Esquema de la Geología Regional de la zona objeto de estudio.



**Fuente:** Modificado de Royero, J.M, Vargas, R. Geología del Departamento de Santander a escala 1:300.000. Ingeominas, 1999.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 LITOLOGIAS, ALTERACIONES HIDROTERMALES Y MINERALIZACIONES DE MENA.**

Como se mencionó anteriormente, en términos generales, las unidades litológicas observadas en el área objeto de estudio, son las siguientes: Formación Gneis de Bucaramanga, Rocas ígneas de composición leucogranítica de edad Triásico Tardío –Jurásico Temprano (Mantilla et al., 2013) y un grupo de rocas porfíricas presentes principalmente a manera de diques, consideradas de edad Neógeno (Mantilla et al., 2011). Estas litologías, son observadas tanto a nivel de la geología expuesta en las diferentes galerías que hacen parte del túnel Reina de Oro, como a nivel de la geología expuesta en el sondaje No1.

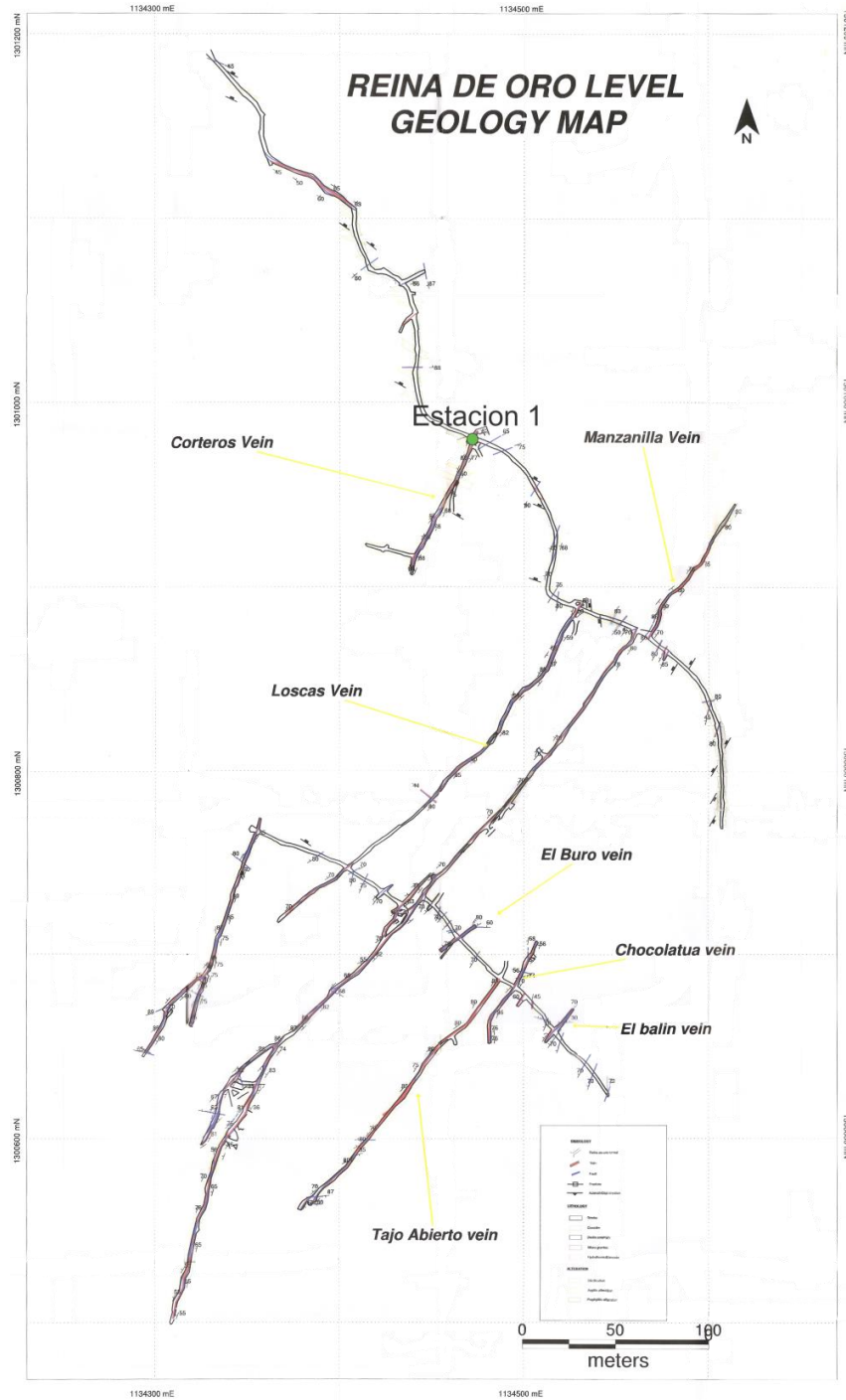
A continuación, primero se relaciona y se describen las variedades litológicas, alteraciones hidrotermales y mineralogía de mena, reconocidas al interior de las galerías, y posteriormente ésta descripción se centrará en los núcleos del Sondaje 1. Aquellos tramos de las galerías, no muestreados o no relacionados aquí, se debe principalmente a que se encuentran tapados por la entibación del túnel, o simplemente por la ausencia reconocible de alteraciones hidrotermales y/o ausencia de minerales de mena, a nivel de muestra de mano.

**5.1.1 Observaciones a nivel de galerías.** El túnel Reina de Oro está conformado por siete (7) galerías, en donde dos (2) de estas galerías siguen a la veta Corteros en diferentes sectores de la mina, tres (3) de estas galerías siguen respectivamente a las vetas Loscas, Manzanilla y Tajo abierto, las otras dos (2) galerías, sirven como conexión entre las galerías anteriormente mencionadas y una de estas sirve como acceso al túnel Reina de Oro (ver FIGURA 10).

- **Porfido riódacítico**

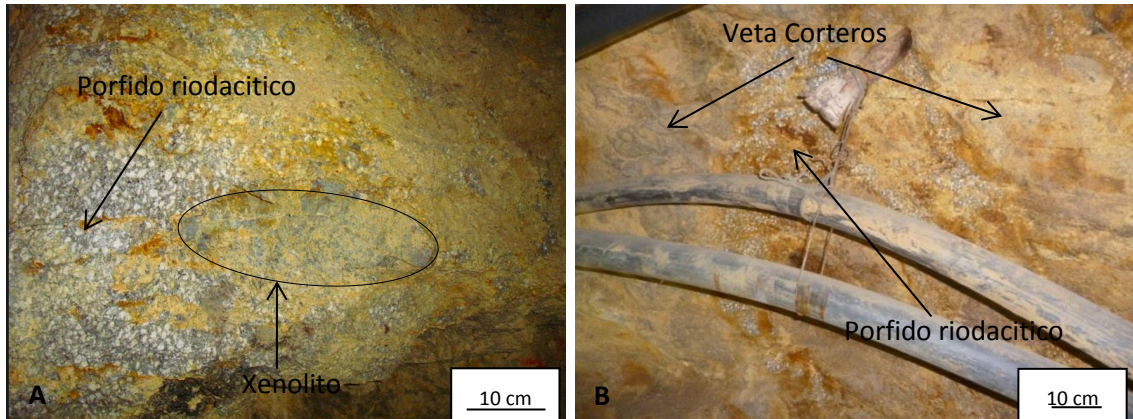
En el punto donde se cruzan la galería que sigue a la veta Corteros y la galería de acceso (estación 1, ver FIGURA 10), se observa un pórfido riódacítico, el cual presenta localmente xenolitos de un material silicificado (ver FIGURA 11A y 12A), al interior del cual se reconocen algunos cristales subhedrales de biotita de color pardo y de tamaños entorno a 1 mm (ver FIGURA 12C). Asimismo, se observan algunos minerales diseminados de color gris oscuro, con tamaños entorno a 0,1 mm, los cuales fueron clasificados como una variedad fina diseminada de molibdenita (ver FIGURA 12B). La biotita anteriormente mencionada, se encuentra alterada a clorita, la cual se presenta formando cristales anhedrales de color verde oscuro de tamaños de 1 mm (ver FIGURA 12 D y E). Asimismo al interior de este xenolito se observan vetillas de cuarzo-pirita con oquedades. Aproximadamente a 5 m de esta estación (en dirección hacia la entrada del túnel) sobre la galería de acceso, se observa la relación de corte entre el cuerpo porfiritico y la veta corteros (ver FIGURA 11 B).

**FIGURA 10.** Esquema de distribución de galerías presentes en la mina Reina de Oro.



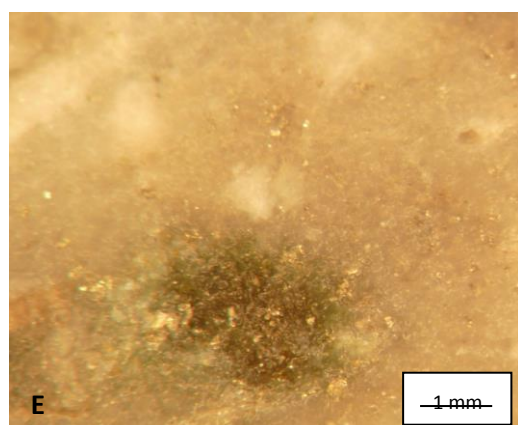
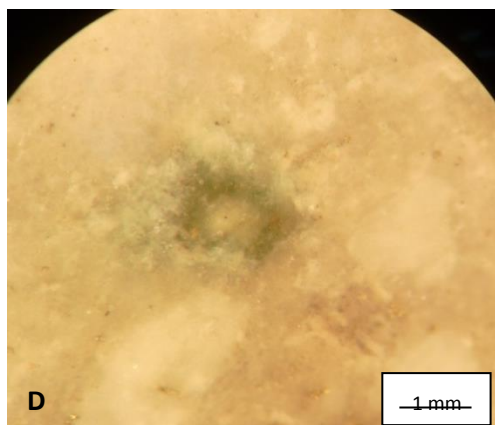
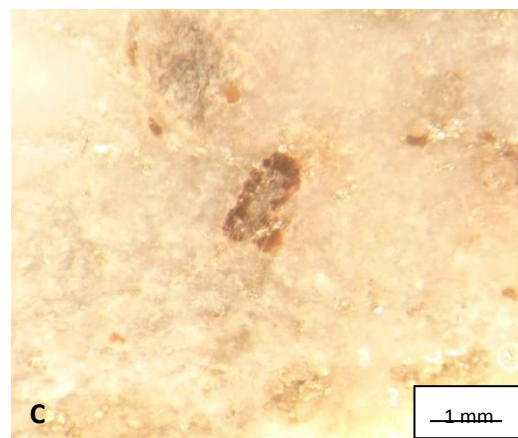
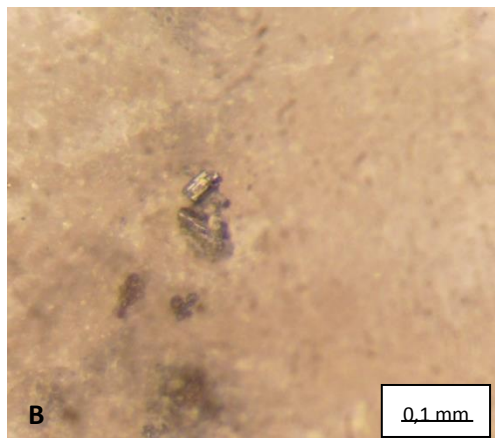
**Fuente:** Base de datos de la empresa Galway Resources.

**FIGURA 11. A.** Xenolito de material silisificado incluido dentro del cuerpo porfirítico. **B.** Aspecto de la relación de corte entre el Pórfido riodacítico y la veta Corteros observada a lo largo de la Galería de acceso.



Este xenolito era algún cuerpo ígneo porfirítico antiguo, afectado por alteración potásica (la molibdenita diseminada y la biotita relíctica, están relacionados con esa etapa), seguidamente este material sufrió una alteración propilítica (representado en la clorita) y posteriormente hubo un evento fílico importante, el cual dejó la mayor cantidad de cuarzo, pirita y algo de sericita. Finalmente, una inyección del material porfirítico atrapó un fragmento de ese material previamente afectado por procesos hidrotermales, pero en el centro ese material no sufrió mayor cambio con ese magma que lo arranco.

**FIGURA 12.** **A.** Aspecto a escala de muestra de mano, del material silicificado, presente a manera de xenolitos al interior del cuerpo ígneo de textura porfírica, reconocido a lo largo de la Galería de conexión. **B.** Aspecto de un cristal relíctico de molibdenita. **C.** Biotita, observada al interior del xenolito. **D y E.** Clorita como producto de alteración de la biotita.

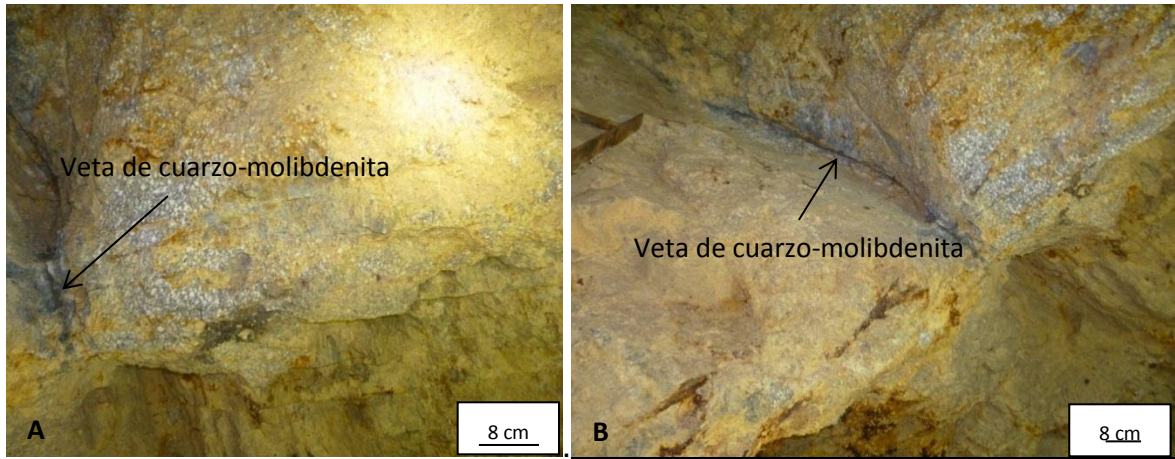


Otro aspecto interesante observado a lo largo de la Galería antes mencionada, está en el hecho de encontrar a su vez, la roca ígnea porfirítica antes descrita cortada por vetas de cuarzo-molibdenita de unos 8 cm de ancho (ver FIGURA 13), las cuales contienen cristales de cuarzo de aspecto ovoide, incoloros y de bordes corroídos, con tamaños entorno a 2-3 mm (ver FIGURA 14B, 15A y 16).

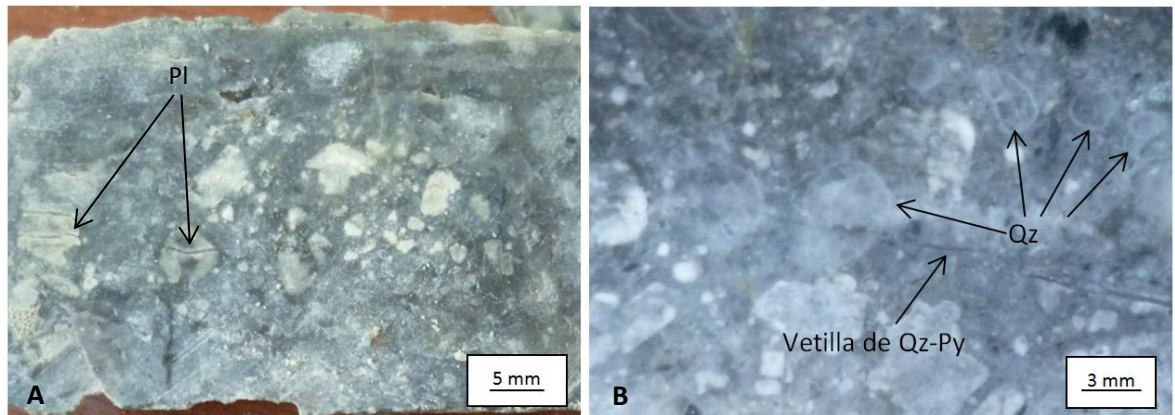
Esta forma y texturas de cuarzo son el producto de procesos de resorción o corrosión, los cuales tienen lugar entre el cristal y el magma que lo rodea., en este caso se considera que puede deberse a mezcla de magmas y simultáneamente pérdida de volátiles por despresurización del fundido (mezcla de magmas y enfriamiento adiabático, con la correspondiente liberación de volátiles). Esto último se propone, debido a un atributo muy interesante observado en los cuarzos corroídos, el cual es su fracturamiento, el cual a su vez se conecta con los bordes corroídos del cristal. La posible presencia de inclusiones fluidas a lo largo de esas zonas de fracturas de los cuarzos sería un indicador adicional del proceso de liberación de volátiles a partir del magma que rodeó y logró corroer el cuarzo, dando lugar al cuarzo de aspecto ovoide que allí tenemos, lo anterior se propone basado en los estudios realizado por Hibbard et al. (1981), Glazner et al. (1990), Müller et al. (2005) y Betsi y Lentz (2010).

En esta veta también se observan cristales subhedrales de plagioclasa de color blanco con tamaños entorno a 2-4 mm cortados por vetillas de cuarzo-pirita (ver FIGURA 14A y 15B), los cuales están alterados principalmente a alunita y caolinita, la alunita se presentan en agregados aciculares y enrejados a manera de cristales muy finos, con tamaños entorno a 0,1 mm (ver FIGURA 17), en donde esta alunita hipógena nos está indicando eventos de alta sulfidación.

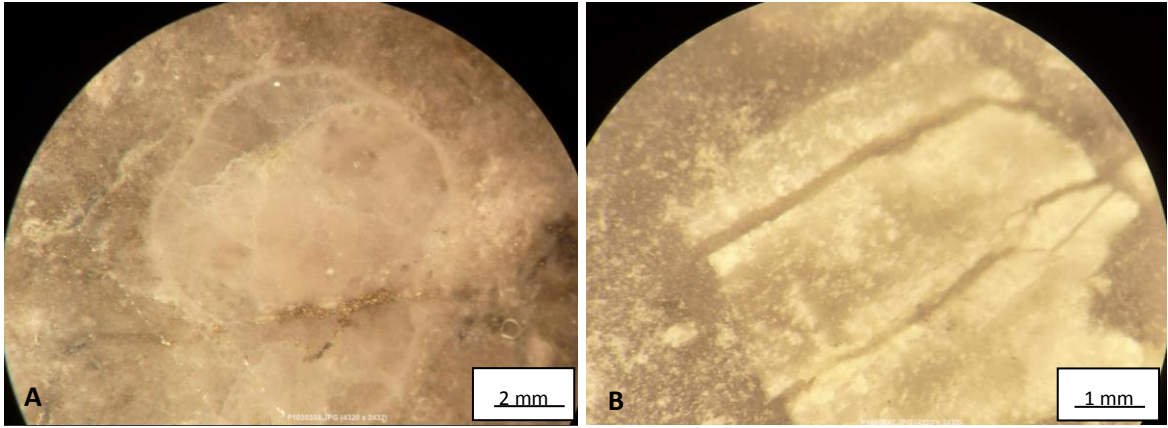
**FIGURA 13. A y B.** Aspecto de la relación de corte, en la cual se observa una veta de cuarzo-molibdenita, cortando al cuerpo ígneo de textura porfiritica, de edad Neógeno.



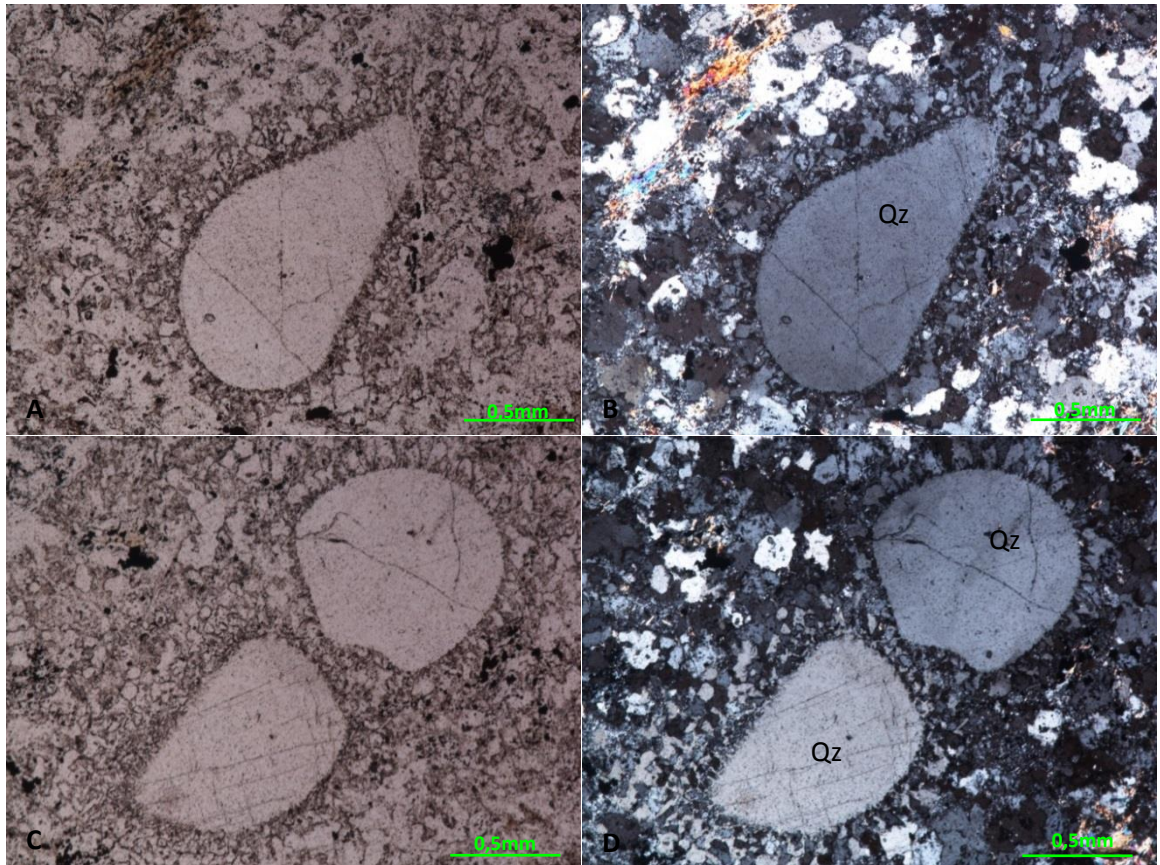
**FIGURA 14.** Aspecto en muestra de mano de la veta de cuarzo-molibdenita que se encuentra cortando al cuerpo porfiritico. **A.** Aspecto de cristales de plagioclasa, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. **B.** Aspecto de los cuarzos de formas ovoides, cortados por vetillas de cuarzo-pirita.



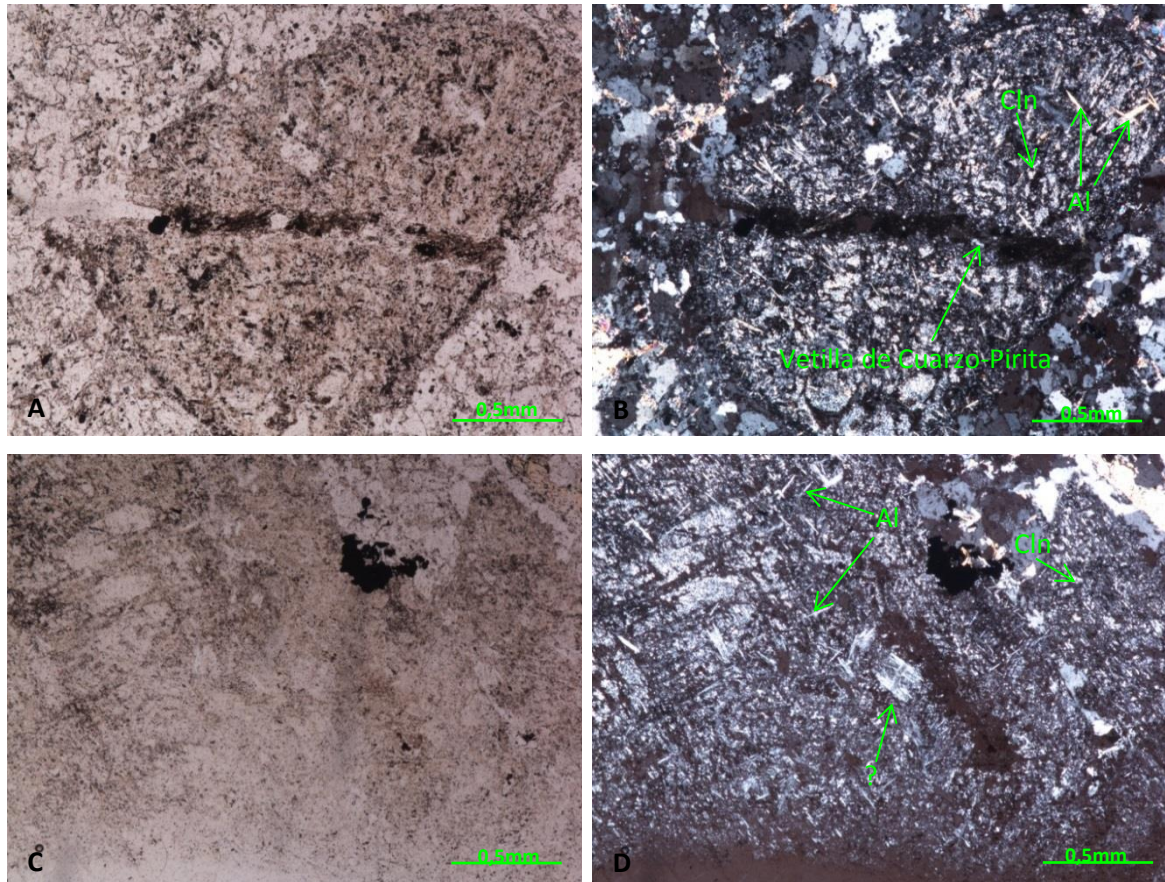
**FIGURA 15.** Aspecto bajo lupa binocular de **A.** Cristales de cuarzo corroídos, cortados por vetillas de cuarzo-pirita. **B.** Cristales de plagioclasa, cortados por vetillas de cuarzo-pirita.



**FIGURA 16.** Aspecto en sección delgada de cristales de cuarzo ovoides, los cuales fueron afectados por procesos de corrosión. **A y C.** Aspecto en PPL. **B y D.** Aspecto en XPL.



**FIGURA 17.** Vista en sección delgada de cristales de plagioclasa alterados a alunita (Al) y caolinita (Cln), indicadores de ambientes de alta sulfidación, los cuales son cortados por vetillas de cuarzo-pirita. **A y C.** Aspecto en PPL. **B y D.** Aspecto en XPL.



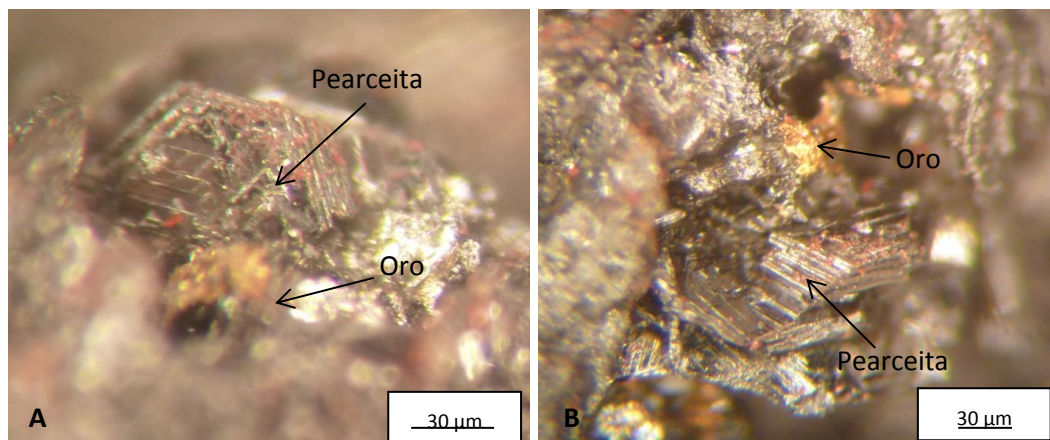
- **Veta al interior de la mina Reina de Oro.** Representada por una veta de la mina Reina de Oro, (ver FIGURA 18), en donde se observa una asociación mineral con oro, el cual se produce como pequeñas inclusiones de oro electrum, rodeado de sulfosales de plata como billingsleyita y sulfosales de cobre y plata, principalmente pearceita, la cual se determinó por sus resultados obtenidos al SEM, la morfología típica de prismas pseudo-hexagonales y haciendo comparaciones con atlas de minerales (ver FIGURA 19), cuarzo, enargita y esfalerita color rojo claro, en donde los

especies minerales de este evento tienen tamaños en promedio de  $5\mu\text{m}$  (ver FIGURA 20 y 21).

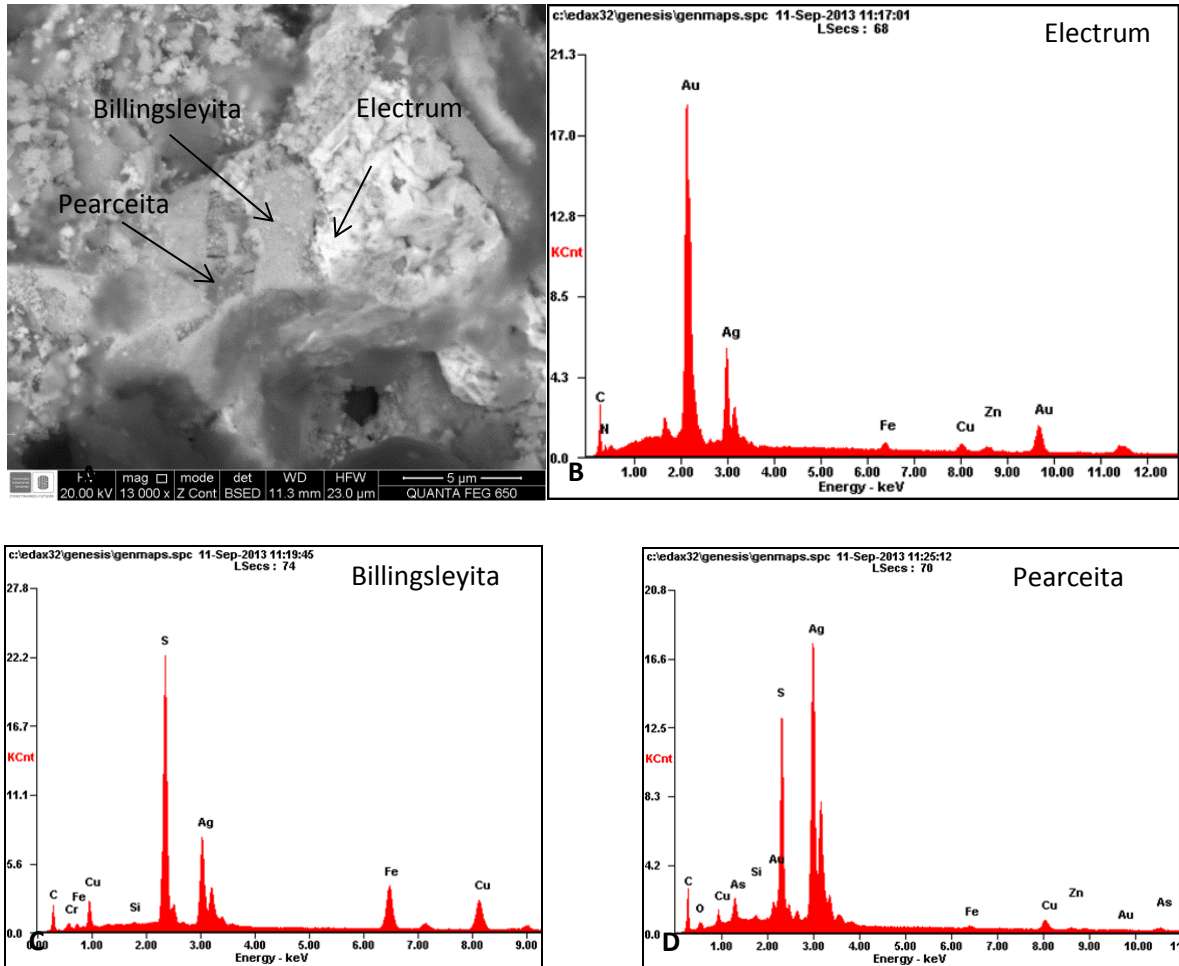
**FIGURA 18.** Foto de la veta que contiene los eventos de baja-intermedia sulfidación asociados al oro electrum.



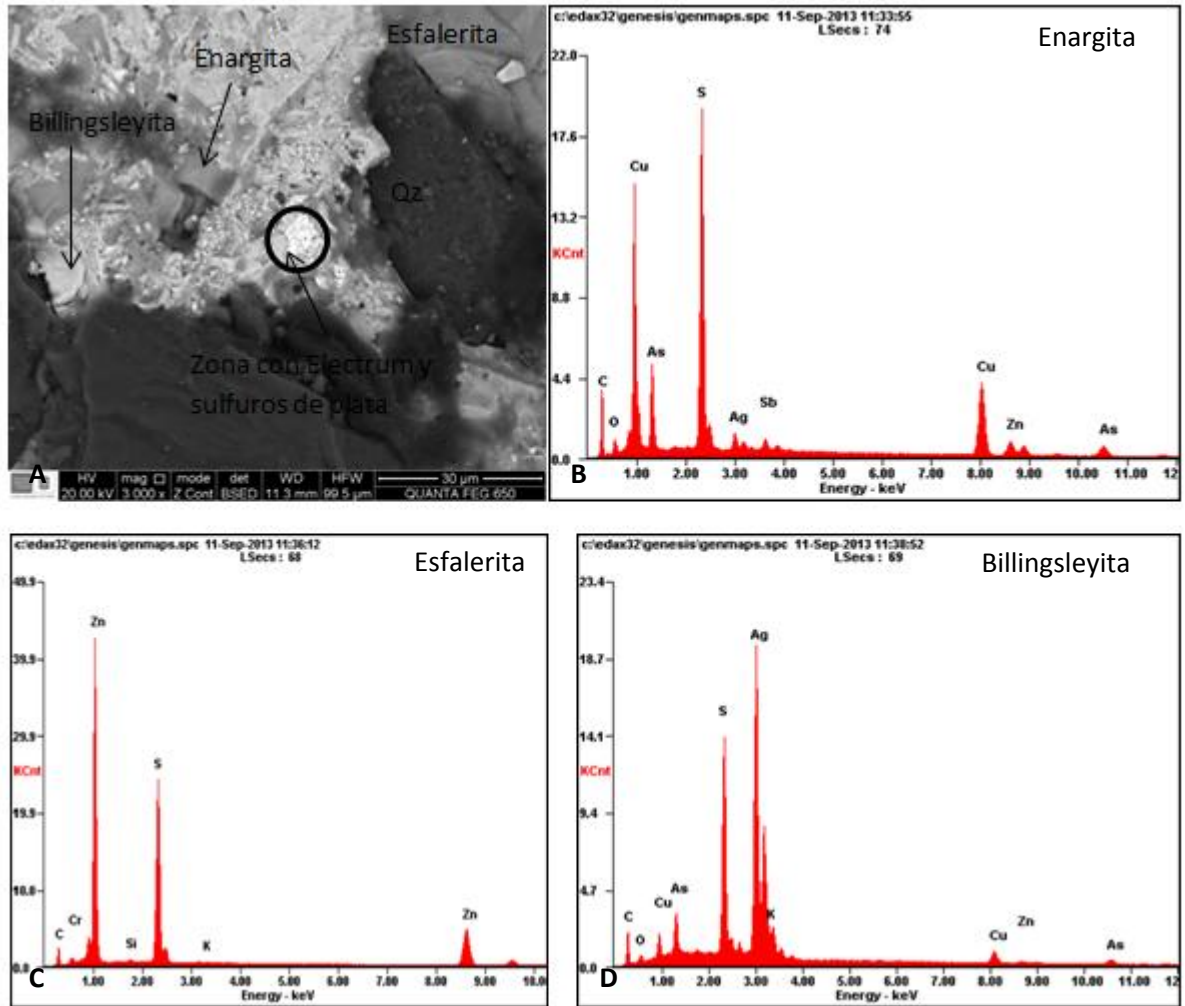
**FIGURA 19. A y B.** Cristales de pearceita en contacto con oro electrum.



**FIGURA 20. A.** Fotografía detallada al SEM del evento asociado con la ocurrencia de oro electrum. **B, C y D.** espectro EDS de los minerales asociados con el oro electrum.



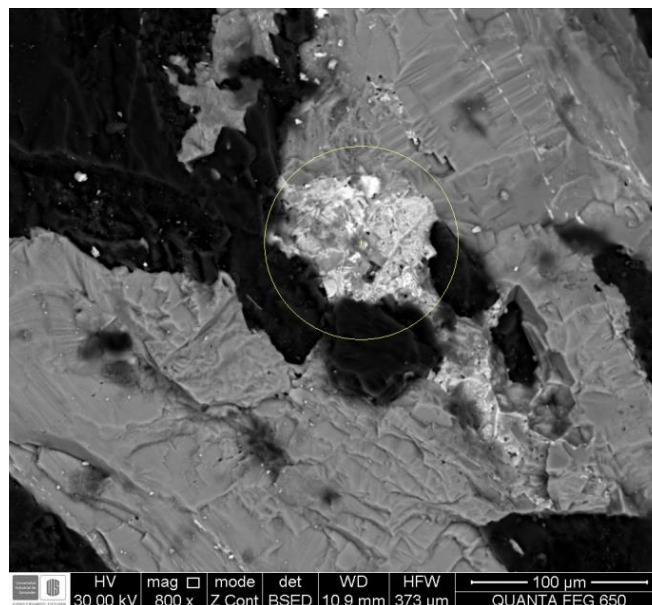
**FIGURA 21. A.** Fotografía de la figura anterior, con un mayor alejamiento, en donde se observa la enargita, representando el evento de alta sulfidación. **B, C y D.** espectro EDS de los minerales asociados con el oro electrum.



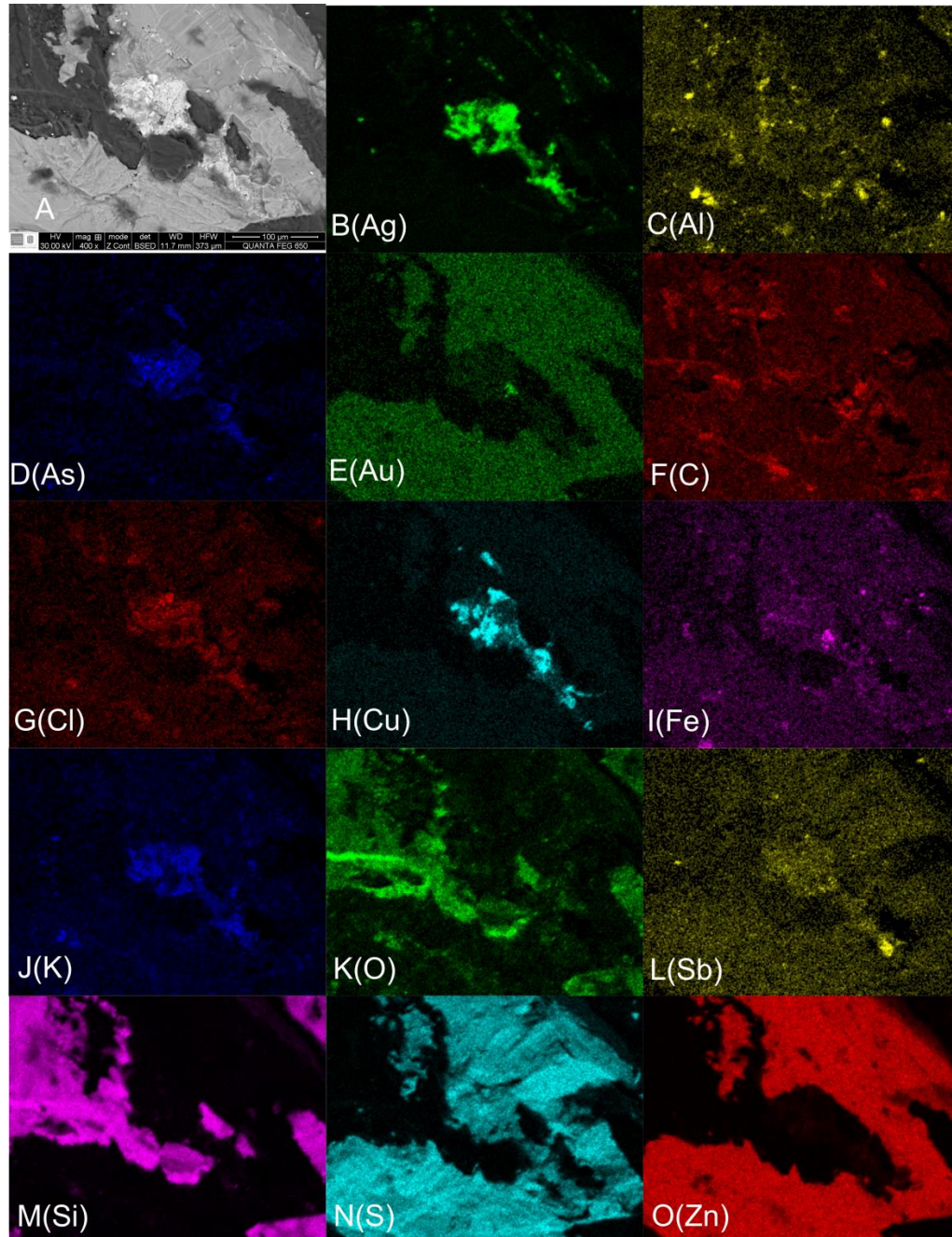
Con el objetivo de definir de manera más detallada la distribución de los minerales asociados al oro electrum en esta zona (ver FIGURA 22), se tomaron mapas elementales (ver FIGURA 23), en donde se observa que la enargita, la cual es representada en el mapa elemental del arsénico y el cobre está siendo invadida por sulfosales de plata y sulfosales de cobre y plata (representadas en el mapa elemental de la plata), lo cual se interpreta como que primero ocurrió un evento epitermal de alta sulfidación y seguidamente invadido por un evento epitermal de intermedia sulfidación, muy posiblemente en una transición de estados de sulfidación.

Al hacer una comparación del mapa elemental del oro (ver FIGURA 23E) con el mapa elemental de la plata y el Zinc (ver FIGURA 23B y 23O) se observa que el oro electrum está fuertemente relacionado con las sulfosales de plata y las sulfosales de cobre y plata, también se observa que se presenta de forma diseminada en pequeñas cantidades con la esfalerita lo que quiere decir que el oro está fuertemente asociado con la esfalerita.

**FIGURA 22.** Zona de la muestra con presencia de minerales asociados al oro electrum, escogida para realizar mapas elementales.

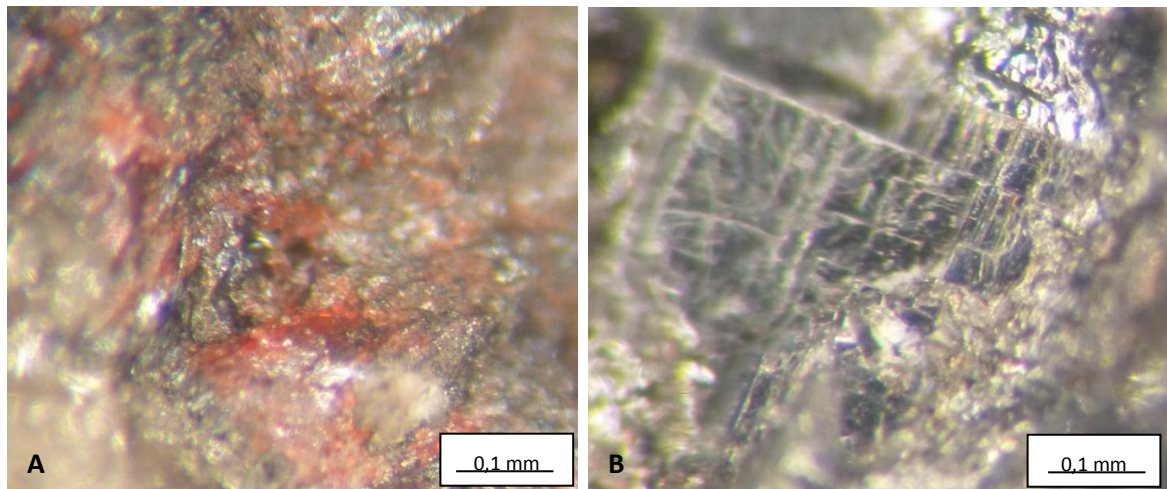


**FIGURA 23.** Sector de la muestra con enargita, oro electrum, esfalerita, cuarzo, sulfosales de cobre y plata y sulfosales de plata **A.** Imagen al SEM en retro-dispersados. **B-O.** Mapas de distribución elemental (para cada elemento).

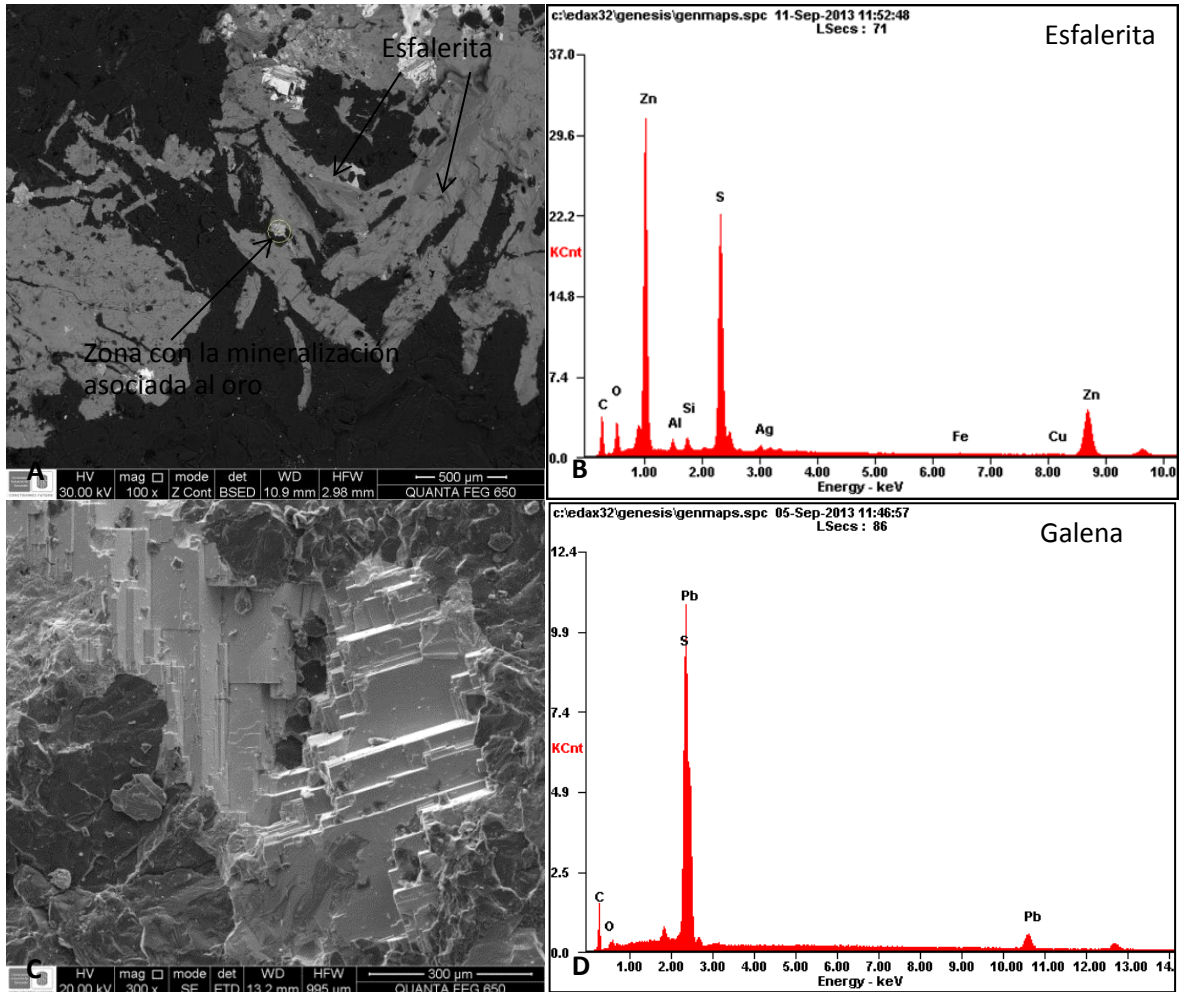


Otro evento representado por cristales de galena de hábito cubico de tamaños de 500  $\mu\text{m}$  de color gris plomo, esfalerita de formas alargadas de color rojo claro (ver FIGURA 24,25 y 26), sulfosales de cobre y plata de habito pseudo-hexagonal y amorfos de tamaños de 600  $\mu\text{m}$ , de acuerdo con las fotografías tomadas, estos sulfosales de cobre y plata corresponden claramente con pearceita, las cuales son sulfosales de cobre y plata típicos de ambientes epitermales de sulfidación intermedia.

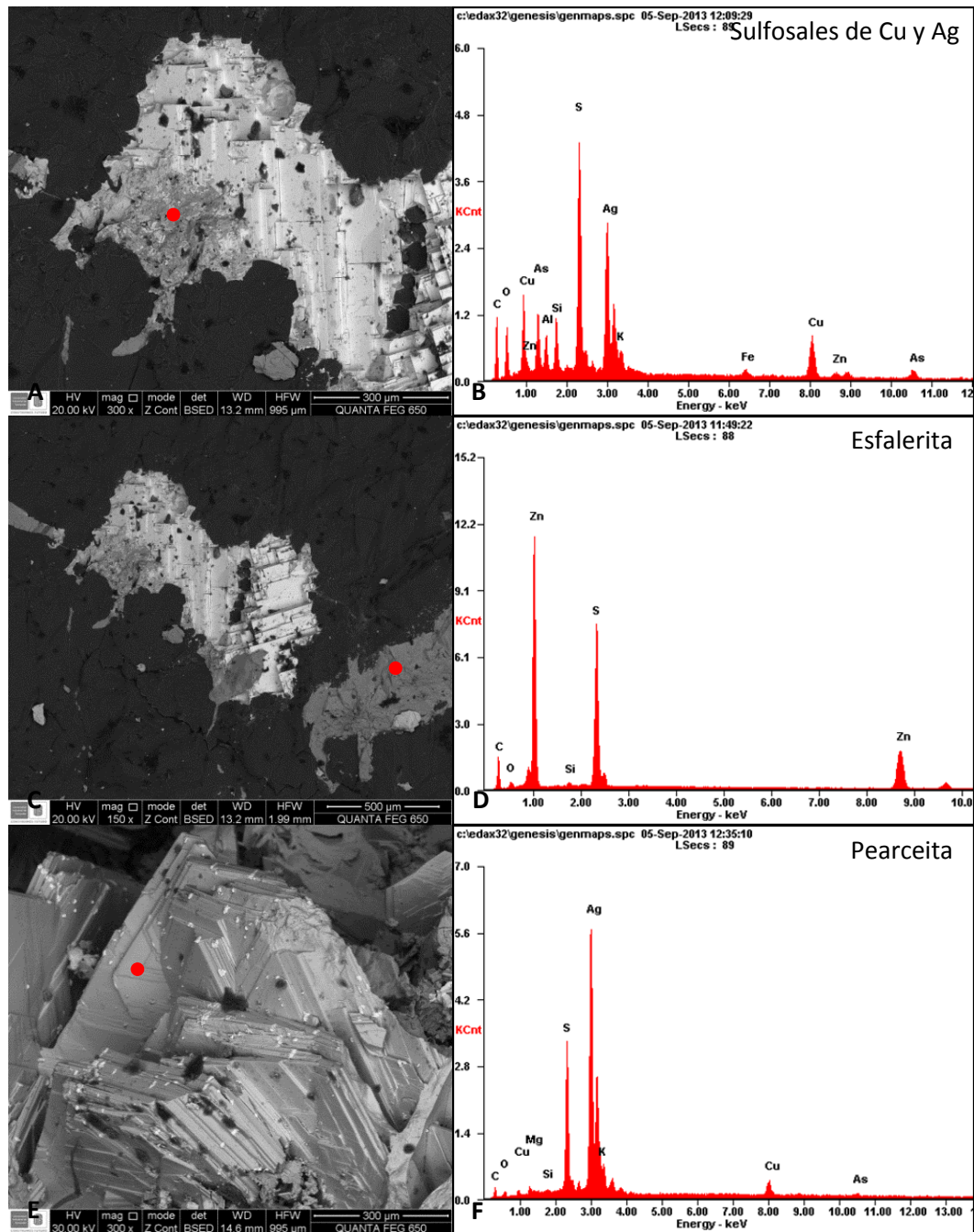
**FIGURA 24.** Fotografía vista en lupa binocular de .**A.** Cristales de esfalerita de color rojo. **B.** Cristales de galena con su clivaje característico.



**FIGURA 25.** Fotografías del evento representado en cristales de mayor tamaño envolviendo al oro electrum. **A y B.** Cristales de esfalerita donde se muestra la zona que contiene el oro (circulo amarillo), con su respectivo espectro EDS. **C y D.** Cristales de galena, con su respectivo espectro EDS.

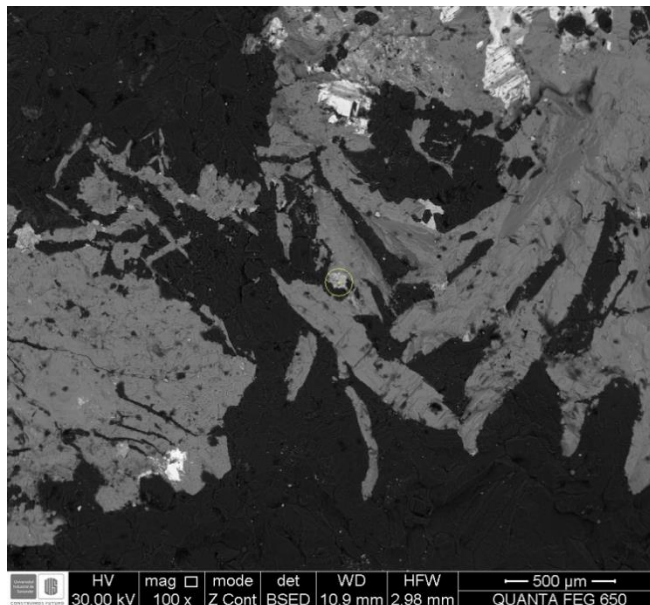


**FIGURA 26. A y B.** Cristales de sulfosales de cobre y plata (tenantita o pearceita?) asociados con la galena, con su respectivo espectro EDS. **C y D.** Fotografía con un alejamiento mayor en donde se observan las fases minerales mencionadas, con su respectivo espectro EDS. **E y F.** Cristales de pearceita de hábito cristalino pseudohexagonal, con su respectivo espectro EDS.

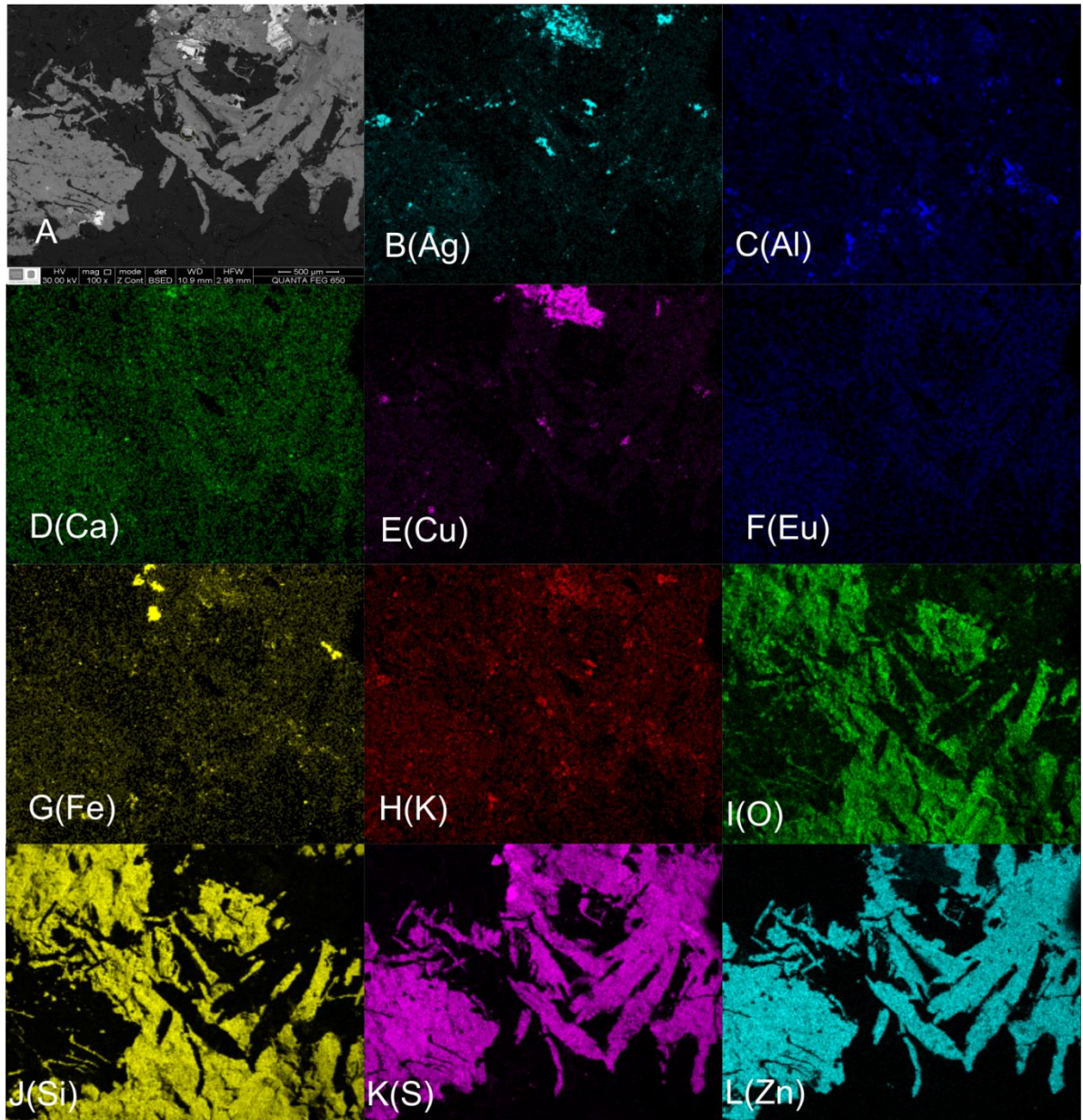


Con el objetivo de observar más claramente la distribución de los minerales a esta escala (ver FIGURA 27), se realizaron mapas elementales en los cuales se observa que predomina el cuarzo seguido por la esfalerita y en menor proporción sulfosales de cobre y plata (ver FIGURA 28), algo que llama la atención es que a esta escala el SEM no detectó el oro.

**FIGURA 27.** Zona con una mayor alejamiento, la cual envuelve al evento con oro electrum anteriormente descrito, en donde se señala la zona con oro electrum (circulo amarillo).



**FIGURA 28.** Imagen a diferente escala (más alejada) de la muestra, en donde se observa esfalerita, cuarzo, sulfosales de cobre y plata y sulfosales de plata **A**. Imagen al SEM en retro-dispersados. **B-L**. Mapas de distribución elemental (para cada elemento).



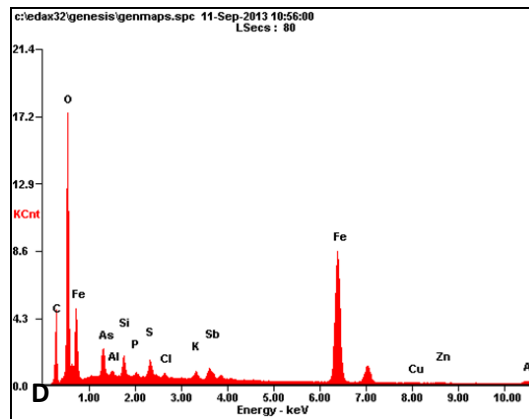
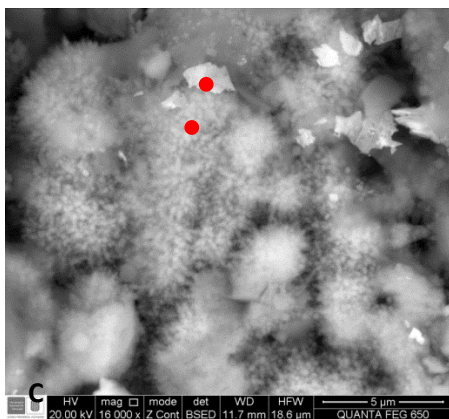
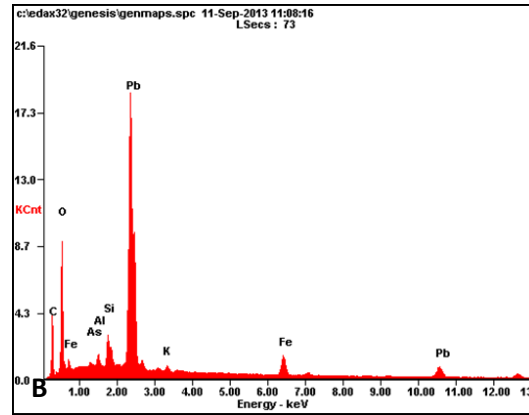
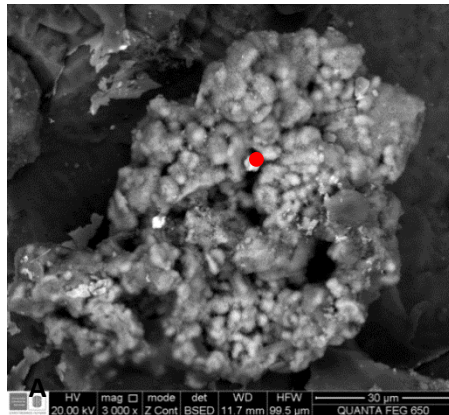
El ensamble mineralógico presente en esta veta con contenido de oro electrum, no presenta características netas de depósitos epitermales de alta o baja sulfidación por lo tanto se propone que esta veta de la mina Reina de Oro corresponde con depósitos epitermales de sulfidación intermedia en donde como el nombre lo indica poseen estados de sulfidación entre tipos de alta y baja sulfidación típicamente con estabilidad de calcopirita tetrahedrita tenantita y esfalerita pobre en hierro, pero carece de apreciable arsenopirita y pirrotita (Einaudi et al., 2003).

También es posible que esté ocurriendo una transición similar a como ocurre en el depósito de Cerro de Pasco en Perú, Goldfield en Nueva Zelanda, Lepanto en Filipinas y Julcani en Perú en donde tienen la transición de alta sulfidación a intermedia sulfidación y la enargita es parte de la otra etapa de mineralización, por lo tanto se plantea que la enargita fue seguida por un evento con sulfuros de plata y oro electrum, lo anterior se propone basado en la presencia de enargita el cual es un mineral típico de ambientes epitermales de alta sulfidación, mezclado con minerales con los que no es compatible como galena, esfalerita y sulfosales de plata y cobre los cuales son minerales de intermedia a baja sulfidación ya que según la literatura científica hay evidencia de relaciones espaciales y en algunos casos genéticas entre depósitos de alta e intermedia sulfidación (Sillitoe, 1999a; Hedenquist et al., 2000) y así estos dos tipos de depósitos pueden ser considerados ocurriendo como potencialmente transicionales (Einaudi et al., 2003), además la presencia de minerales de sulfuros los cuales indican una amplia variación de estados de sulfidación es común (Buchanan, 1981; White et al., 1995), sin embargo si hay información dudosa sobre paragénesis, con ocurrencias de minerales de sulfuros aparentemente incompatibles (ej., extrañas ocurrencias de arsenopirita y pirrotita en depósitos de alta o intermedia sulfidación, o enargita en depósitos de intermedia y baja sulfidación) pueden indicar fluctuaciones locales pero apreciables en los estados de sulfidación durante la vida de muchos sistemas hidrotermales (Giggenbach, 1992; Einaudi et al., 2003).

La mineralogía observada en esta veta de la mina Reina de oro es similar con la de los depósitos epitermales de sulfidación intermedia en Pachuca Real del Monte en México y Fruta del norte en Ecuador, Comstock Lode en Nevada, Rosia Montana en Rusia, cinturón del Cauca Medio en Colombia, también comparte características con las vetas del típico depósito de sulfidación intermedia del distrito de Baguio en Filipinas el cual se caracteriza por vetas con sulfosales de cobre y plata y mineralización asociada a esfalerita, galena y oro electrum, en Colombia el depósito de oro epitermal de Buritica en el departamento de Antioquia en donde de manera similar la mineralogía de las vetas está caracterizada por cuarzo con cantidades variables de calcopirita, galena, pirita esfalerita y en menor cantidad oro nativo o electrum, la plata es un importante componente en el depósito y el oro se produce como granos de oro nativo y electrum, la plata se presenta como galena y sulfosales de plata.

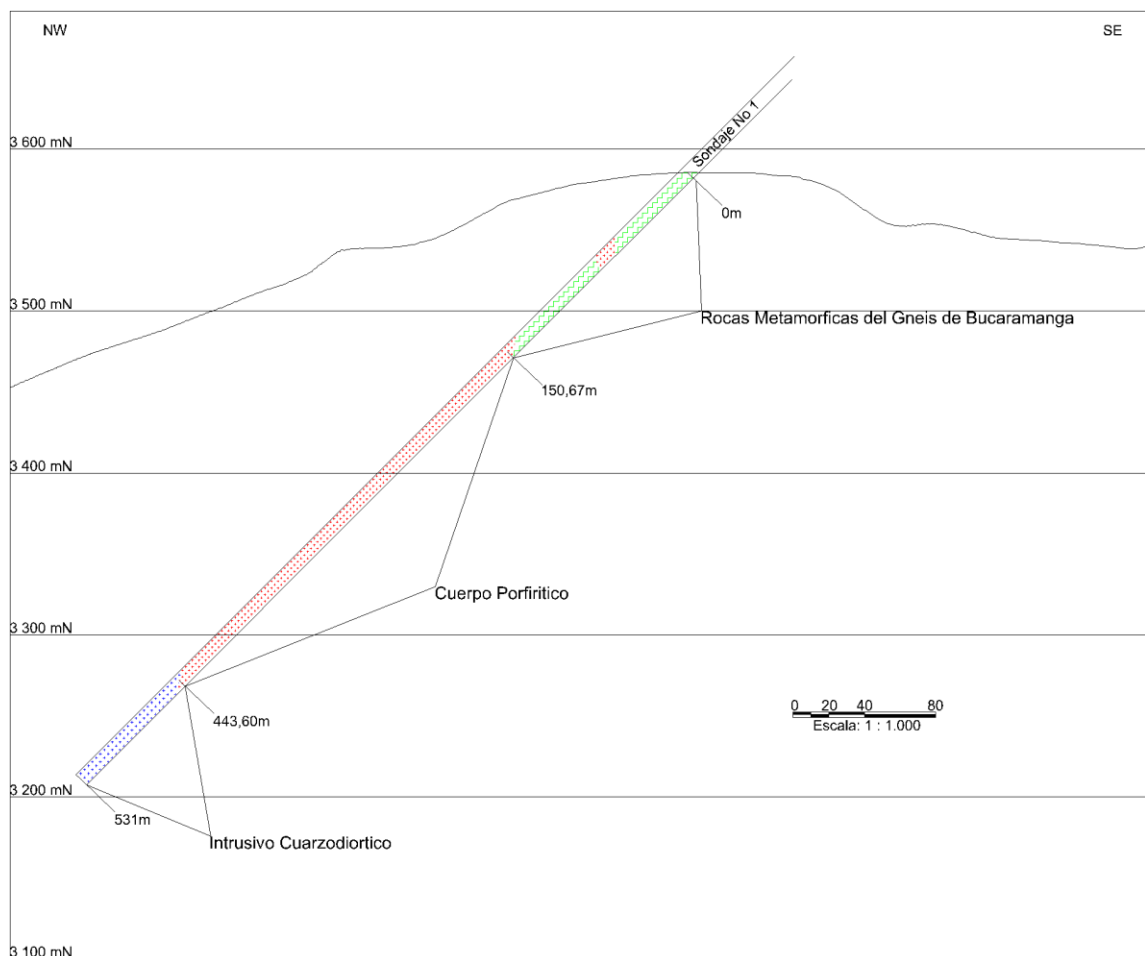
Afectando la litología y los eventos hidrotermales antes mencionados, se identifica una alteración propia de ambientes superficiales-supergenicos, representada en la presencia de minerales muy localizados de óxidos de hierro y óxidos de plomo (posiblemente anglesita o cerusita como producto de alteración de la galena) los cuales vienen con una mezcla de As, Al, Si, Zn, Pb, Sb (ver FIGURA 29). Muy probablemente debido a la interacción de fluidos supergenicos a medida que pasaban por la roca disolviendo y arrastrando los componente de los minerales, en general estos minerales de alteración supergenica se presentan en formas botroidales.

**FIGURA 29.** Fotografías al SEM de minerales de alteración supergénica **A y B.** óxidos de Fe y Pb con una mezcla de As, Al, Si y K, con su respectivo espectro EDS. **C y D.** Óxidos de Hierro con una mezcla de As, Si, Al, P, S, Sb, P, K, Cu y Zn, con su respectivo espectro EDS.



**5.1.2 Observaciones a nivel del sondaje no. 1.** Considerando que el estudio de las alteraciones hidrotermales y la mineralogía de la mena, realizado para fines de identificar los diferentes estilos de mineralización, se desarrollaron también y principalmente sobre muestras de núcleos, colectados del sondaje No. 1 (coordenadas X: 1133802; Y: 1300832, Z: 3586), a continuación se relacionará más detalladamente éstas litologías aquí observadas (ver FIGURA 30).

**FIGURA 30.** Esquema del sondaje No 1, en donde se muestra la distribución de las variedades litológicas reconocidas.



- **Tramo comprendido entre 531,87m y 443,60m.**

A lo largo de éste tramo del sondaje 1, se observan rocas ígneas de textura fanerítica, las cuales están representadas principalmente por un cuerpo intrusivo cuarzodiorítico (ver FIGURA 31). La mineralogía de este cuerpo intrusivo está representada por cristales subhedrales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y biotita, con tamaños promedio de 2 mm.

**FIGURA 31. A.** aspecto a escala de núcleos de perforación del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico. **B.** aspecto a escala detallada en donde se observan los constituyentes minerales del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico.



Desde el punto de vista de las alteraciones hidrotermales hipógenas y la mineralogía de mena, es posible reconocer localmente evidencias de antiguas alteraciones potásicas, gracias especialmente a la presencia de vetillas pirita-calcopirita y de cuarzo-pirita-molibdenita. Ésta última mineralogía, también se ha observado de manera diseminada en diferentes sectores del cuerpo ígneo fanerítico. Una alteración hidrotermal, desarrollada con posterioridad a la alteración potásica mencionada, al parecer está representada por una asociación de minerales tipo cuarzo-pirita-sericita (alteración sericítica o fílica) y otra con predominio de caolinita e illita (alteración argílica, ver FIGURA 32).

**FIGURA 32.** Apariencia del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico, afectado moderadamente por alteración argílica.



La alteración potásica y la alteración fílica mencionadas, representarían respectivamente ambientes de alteración hidrotermal hipógena, propias de los estilos de mineralización porfirítica (profunda y somera-parte apical de un sistema porfirítico).

La presencia localizada de clorita en algunos sectores del tramo perforado con éstas litologías ígneas, podrían estar representando la existencia de una antigua alteración hidrotermal propilítica. Sin embargo, la relación temporal de ésta

alteración, respecto a las alteraciones previamente descritas, no pudo ser establecida.

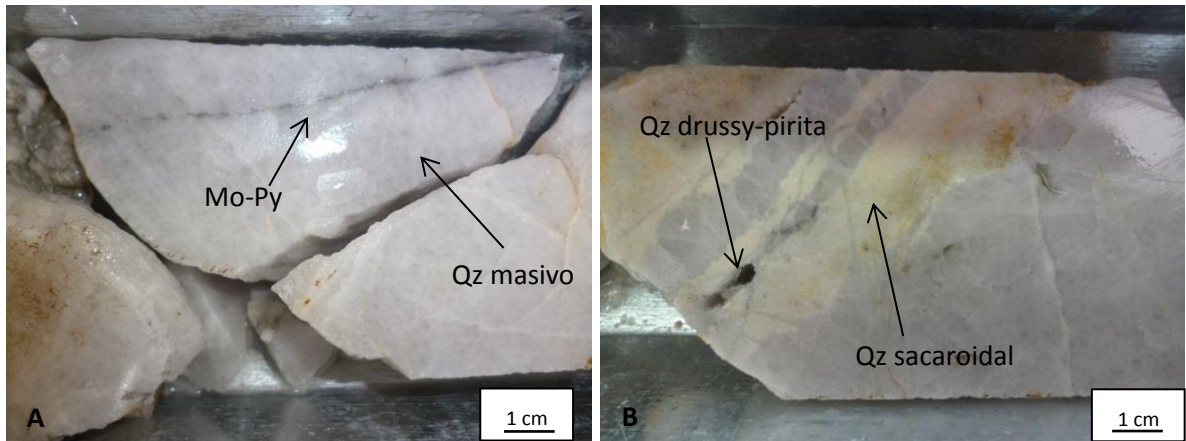
En general las alteraciones hidrotermales más fuertemente desarrolladas sobre este cuerpo intrusivo cuarzodiorítico se pueden dividir en los siguientes dos (2) Sub-tramos.

➤ **Sub-tramo comprendido entre 531,60 Y 478,36**

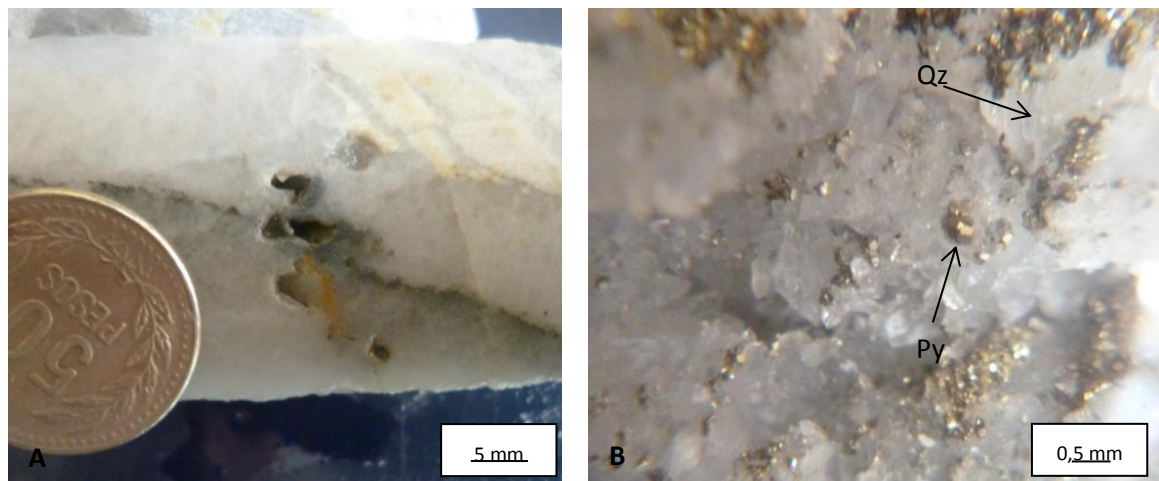
Se observan varias zonas silicificadas, con pirita y molibdenita de forma diseminada y vetillas de cuarzo-molibdenita-pirita, asimismo vetillas de cuarzo-pirita, localmente se desarrolla alteración argílica y filica.

A una profundidad de 531,60 (al final del sondaje) el cuerpo intrusivo cuarzodiorítico es cortado por una zona silicificada, en la cual se observan varios eventos, el primer evento corresponde con un cuarzo masivo e incoloro, el cual es cortado por vetillas de molibdenita-pirita y también por un cuarzo sacaroidal de color blanco, con leve cantidad de pirita diseminada (ver FIGURA 33) (no se observan relaciones de corte de la vetilla de molibdenita-pirita con la de cuarzo sacaroidal). A su vez estas vetillas de molibdenita-pirita son cortadas por vetillas de cuarzo drussy-pirita (ver FIGURA 34), las cuales presentan oquedades y se interpretan como producto de un evento epitermal tardío de muy baja presión y temperatura.

**FIGURA 33. A.** Zona silicificada, la cual corta al intrusivo cuarzodiorítico en donde se observa la relación de corte entre el cuarzo masivo y las vetillas de molibdenita-pirita. **B.** Zona silicificada, la cual corta al intrusivo cuarzodiorítico en donde se observa la relación de corte entre el cuarzo masivo, el cuarzo sacaroidal y las vetillas de cuarzo drussy-pirita.



**FIGURA 34. A.** Relación de corte entre la vetilla con oquedades, compuesta por cuarzo drussy-pirita y la vetilla de molibdenita-pirita. **B.** vista detallada, en lupa binocular de la vetilla de cuarzo drussy-pirita.



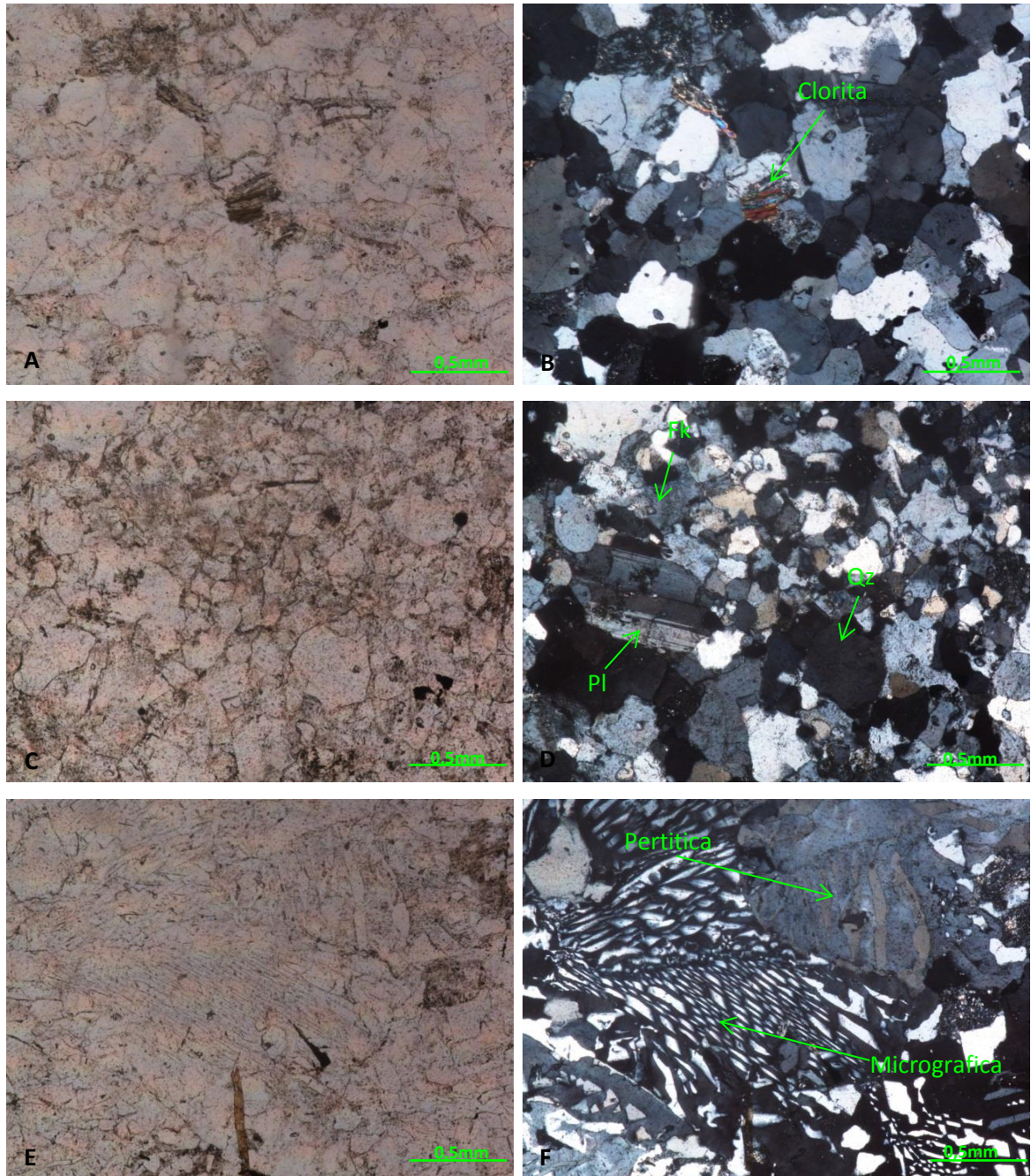
A una profundidad de 525,70 se observa otra zona silicificada de 65 cm de ancho, la cual corta al intrusivo cuarzodiorítico (ver FIGURA 35), sobre esta zona silicificada se realizó petrografía de sección delgada con el objetivo de reconocer

su mineralogía, en donde se observó la presencia de clorita en la zonas de contacto con la roca encajante, como producto de alteración de la biotita (ver FIGURA 36A), en la zona silisificada como tal se observan cristales de cuarzo, plagioclasa albitica y feldespatos alcalinos(ver Figura. 36B), los cuales desarrollan texturas micrográfica y pertítica. (Ver Figura. 36C), la textura micrográfica se interpreta como un intercrecimiento de cuarzo con feldespato alcalino y también como evidencia de que este evento corresponde con las fases intrusivas más tardías del sistema. Es entonces un producto de una cristalización subsolvus a alta presión de H<sub>2</sub>O que se produce en presencia de abundantes fluidos, su formación se interpreta como debido a un proceso de cristalización simultánea de los dos minerales (feldespato potásico y cuarzo) en un punto eutéctico, la textura pertítica se origina por desmezcla en estado sólido de feldespato potásico y albita, al dejar de ser miscibles por descenso de la temperatura, la textura pertítica está definida por cristales de plagioclasa ácida dentro de un cristal de feldespato potásico (López et al 2006).

**FIGURA 35.** Aspecto de la zona silisificada que corta el cuerpo intrusivo cuarzodiorítico.



**FIGURA 36. A y B.** Aspecto en PPL y XPL de clorita, en la zona silificada que corta al intrusivo cuarzodiorítico. **C y D.** Aspecto en PPL y XPL de los constituyentes minerales en la zona silificada. **E y F.** Aspecto en PPL y XPL de la textura micrográfica y pertítica presentes en esta zona silificada.



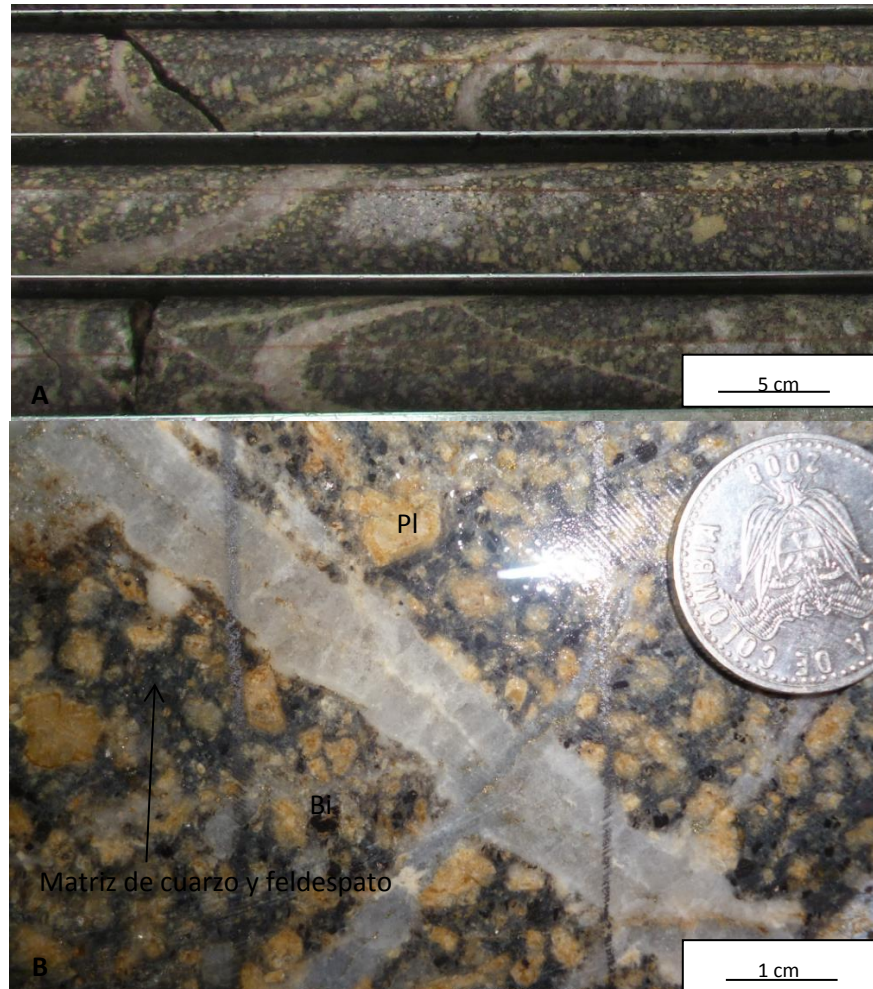
➤ **Sub-tramo comprendido entre 478.36 Y 443.60.**

En este tramo predomina la alteración argílica (ver FIGURA 32) en donde el intrusivo cuarzodiorítico presenta pirita, molibdenita y calcopirita diseminados, contiene vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita y pirita-calcopirita, moderada alteración argílica representada por caolinita e illita y levemente desarrollo de alteración silicea, moderada alteración filica y leve alteración propilítica.

• **Tramo comprendido entre 443,60M Y 150.67M.**

A lo largo de éste tramo, se observan fundamentalmente rocas ígneas de textura porfírica, las cuales están representadas por un cuerpo riódacítico porfírico (ver FIGURA 37A). Los minerales reconocidos en éste cuerpo ígneo, son principalmente fenocristales subhedrales de plagioclasa de color blanco y de tamaños entorno a 1 cm, asimismo cristales de biotita de color negro y de tamaños entorno a 2-3 mm, estos cristales se encuentran embebidos en una matriz afanítica de cuarzo y feldespatos (ver FIGURA 37B). Tal como se mencionará más detalladamente en el apartado 'Geocronología', éste cuerpo tiene una edad entorno a 11.0 Ma.

**FIGURA 37. A.** Aspecto a escala de núcleo de perforación del cuerpo riódacítico porfirítico. **B.** Aspecto a escala más detallada del cuerpo riódacítico porfirítico, en donde se alcanza a observar sus constituyentes minerales.



Desde el punto de vista de las alteraciones hidrotermales hipógenas y la mineralogía de mena, es posible reconocer localmente evidencias de antiguas alteraciones potásicas, gracias especialmente a la presencia de vetillas de cuarzo sinuoso tipo A (puntualmente algunas con calcopirita en su zona central de aspecto suturado, ver FIGURA 40A y 40B). Vetillas consideradas de tipo B (cuarzo-molidenita), también han sido reconocidas a lo largo de éste tramo de rocas porfíricas, las cuales también se consideran como formadas en los ambientes de alteración hidrotermal potásica.

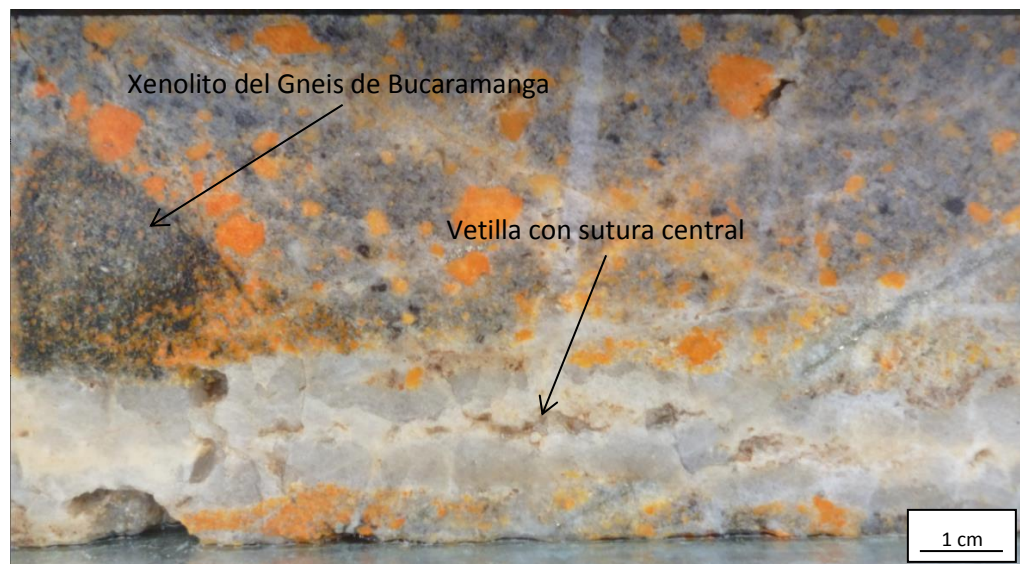
Asimismo, y de manera localizada, se han reconocido asociaciones minerales propias de alteraciones propilítica, sericitica y clorita-sericita (argílica intermedia)

A continuación se muestra la distribución de las alteraciones hidrotermales a lo largo de este cuerpo porfirítico, en sub-tramos.

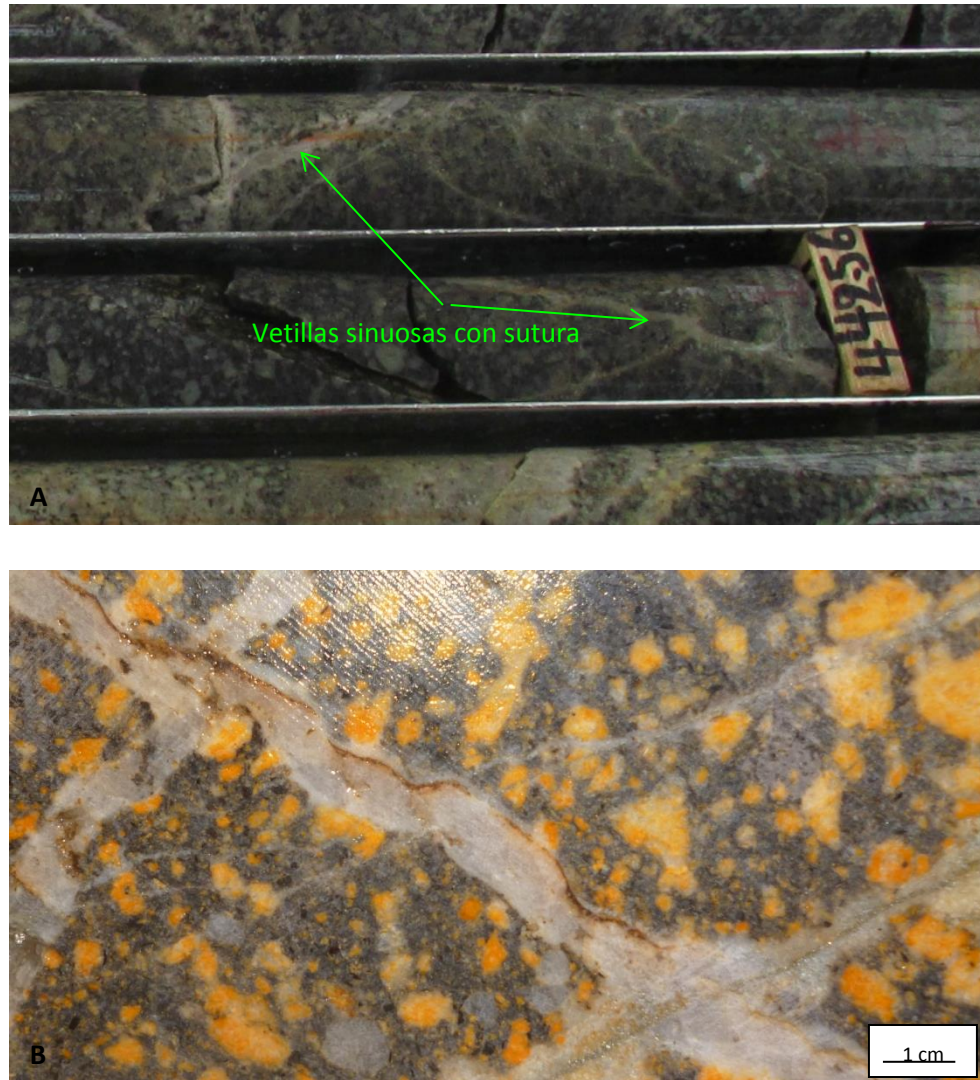
➤ **Sub-tramo comprendido entre 443,60 y 197,47.**

Este sub-tramo está caracterizado por la presencia de vetillas sinuosas con sutura central, las cuales se empiezan a observar cerca al contacto con el intrusivo cuarzodiorítico y se terminan de observar a una profundidad de 197,47m también caracterizado por presencia de xenolitos del Gneis de Bucaramanga y vetillas de cuarzo-molibdenita-pirita.

**FIGURA 38.** Vetilla con sutura central, en donde también se observa un xenolito del Gneis de Bucaramanga, esta foto se tomó a una profundidad de 219m.



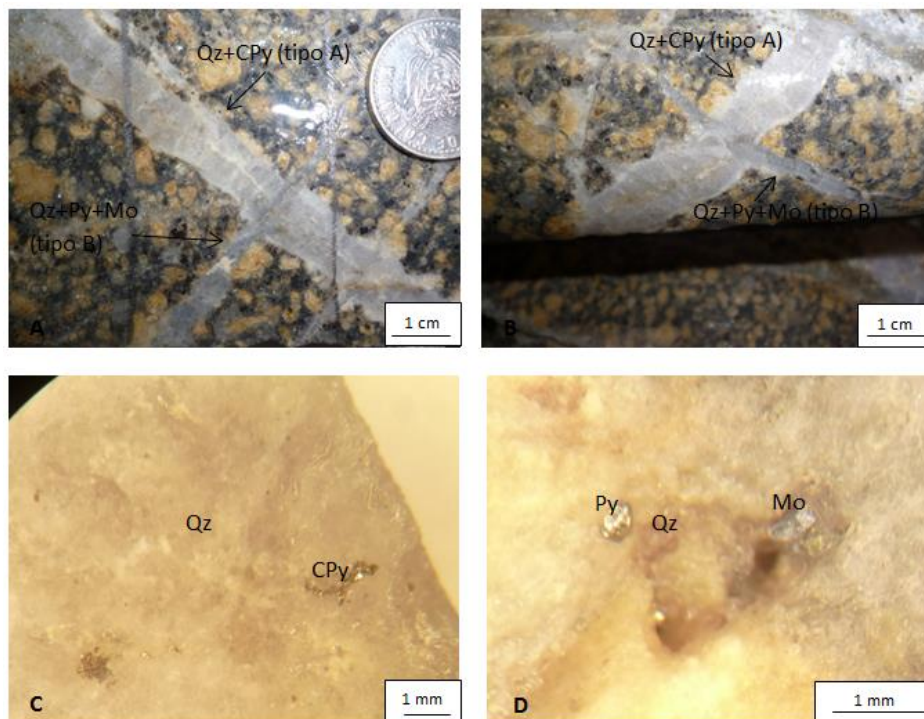
**FIGURA 39.** Aspecto de las vetillas sinuosas **A.** Cerca al contacto con el intrusivo cuarzodiorítico **B.** A una profundidad de 228,08m



A una profundidad de 261,98 m en el sondaje No 1, se observa alteración potásica, la cual corresponde con la zona más interna del sistema porfírico, esta alteración potásica está representada por vetillas tipo A de cuarzo-calcopirita de 1 cm de ancho con sutura central y bordes bastante sinuosos (ver FIGURA 40A, 40B Y 40C), que corresponden con las vetillas más tempranas en este intrusivo porfírico, esta alteración también fue determinada por su mineralogía típica representada en biotita secundaria.

A la misma profundidad de 261,98, se desarrolla una alteración filica la cual se superpone sobre la alteración potásica, esta alteración filica fue determinada principalmente por la presencia de vetillas rectas tipo B o D? de cuarzo-pirita-molibdenita de 3 mm de ancho las cuales se encuentran cortando las vetillas tipo A (ver FIGURA 40 A, 40B y 40D), este evento desarrolla una silicificación sobre los fenocristales de plagioclasas del pórfido.

**FIGURA 40. A y B.** Vetillas tipo A con sutura central cortada por vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita sobre el cuerpo porfirítico. **C.** Vetilla tipo A vista al detalle. **D.** Vetilla tipo B vista al detalle.



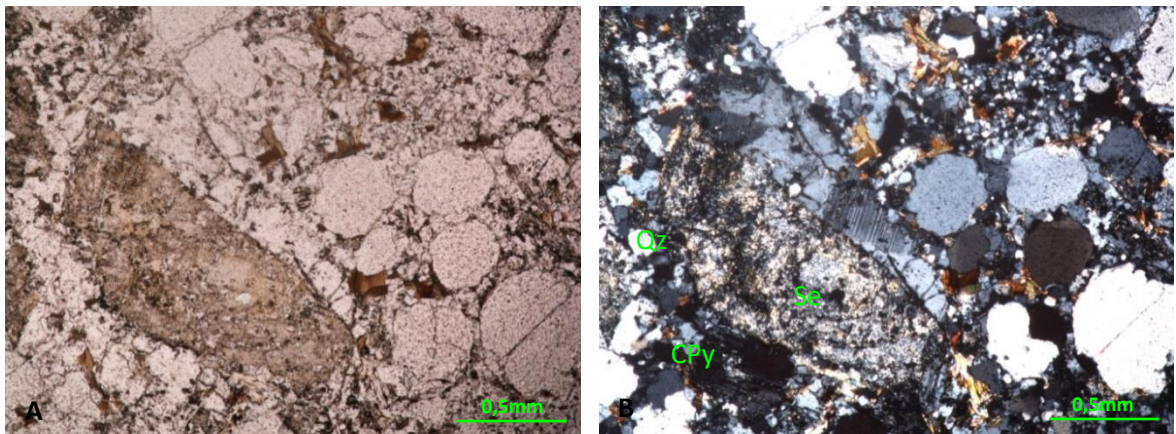
A una profundidad de 219 m se desarrolla una alteración filica sobre el cuerpo porfirítico riodacítico, la cual está representada en vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita de 2 mm de ancho la cual desarrolla un halo de alteración de cuarzo-sericita (ver FIGURA 41). La mineralogía desarrollada en el halo de alteración de esta vetilla se determinó mediante petrografía de sección delgada en donde se observó cristales de cuarzo subhedrales de tamaños finos de 0,1 mm y sericita la

cual se presenta como producto de alteración de las plagioclasas sódicas (ver FIGURA 42).

**FIGURA 41.** Vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita cortando al cuerpo riódacítico porfiritico.



**FIGURA 42.** Halo de alteración filica a los bordes de la vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita, visto en sección delgada. **A.** Aspecto en PPL. **B.** Aspecto en XPL.

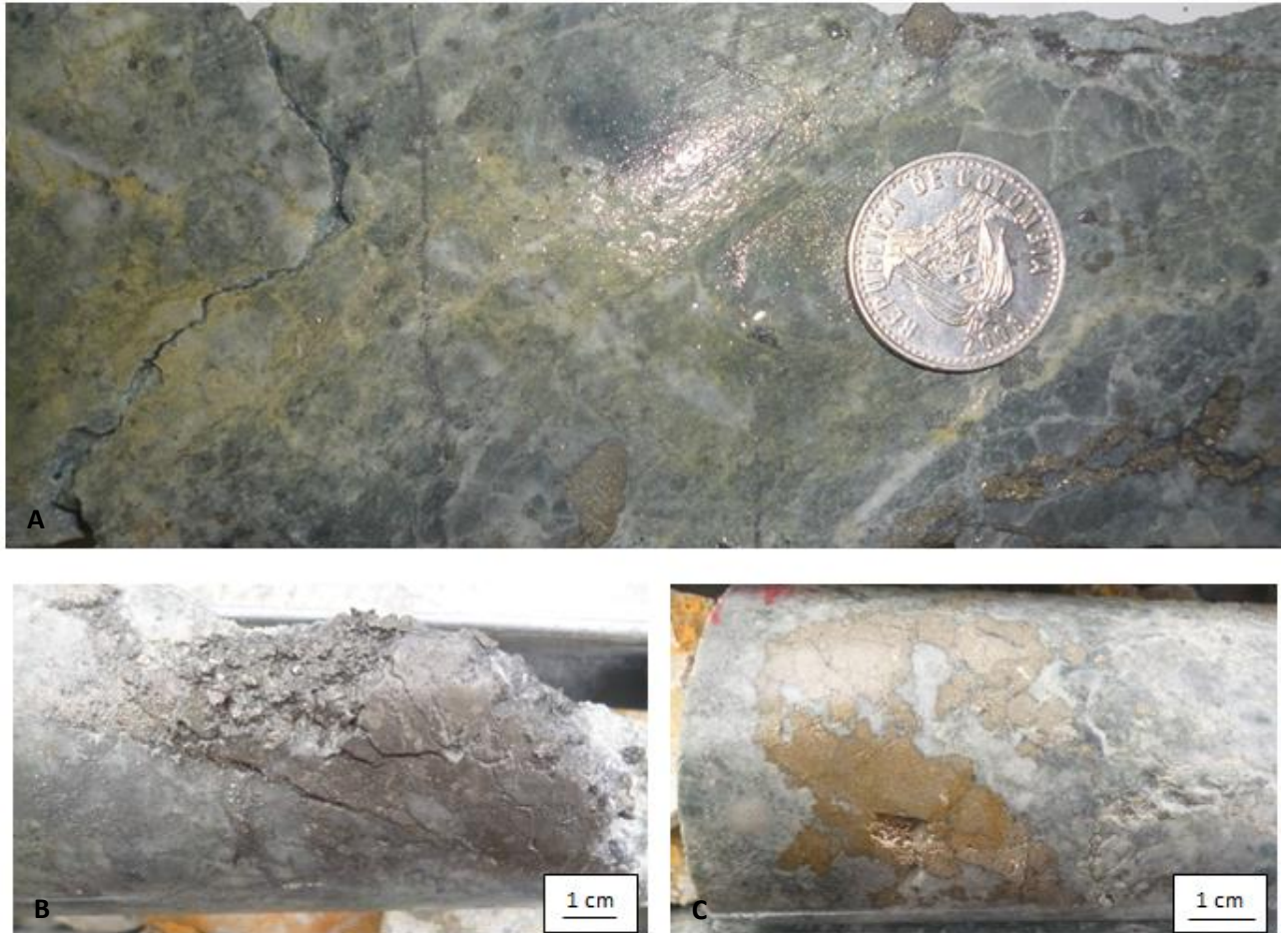


➤ **Sub-tramo comprendido entre 197,47 Y 183,6.**

En este sub-tramo, el porfido riódacítico se encuentra afectado por una alteración clorita-sericita (argílica intermedia), más específicamente a una profundidad de 188 m, se encuentra la zona de este tramo con más fuerte alteración clorita-sericita, en donde no se alcanza a reconocer la litología del encajante y se

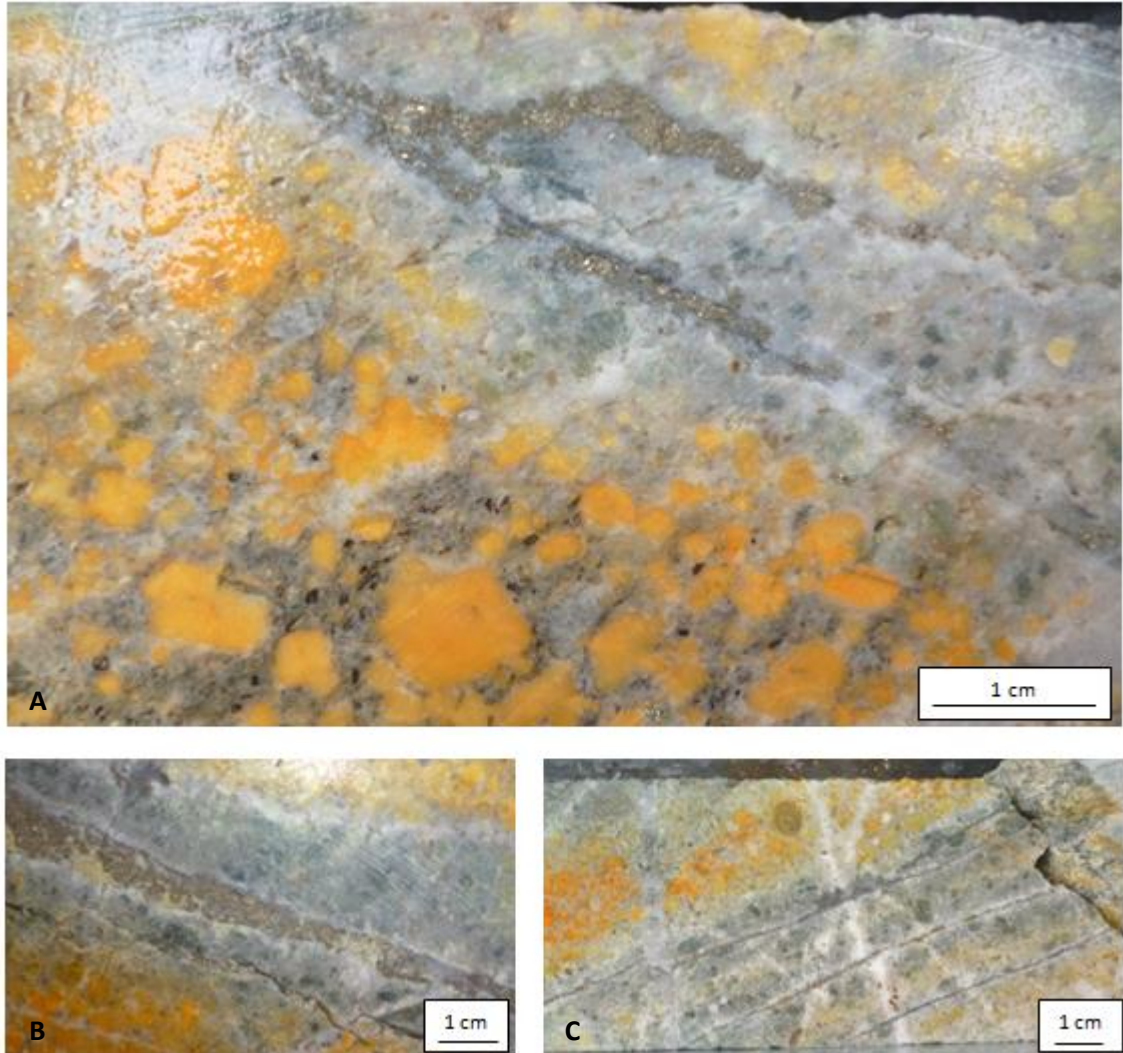
desarrolla un color verde oscuro, se observan cantidades importantes de pirita y calcopirita que se presentan de manera masiva con zonas de hasta 5 cm (ver FIGURA 43), también vetillas de illita.

**FIGURA 43. A, B y C.** Zona de fuerte alteración clorita-sericita en donde se observa un importante contenido de pirita y calcopirita.



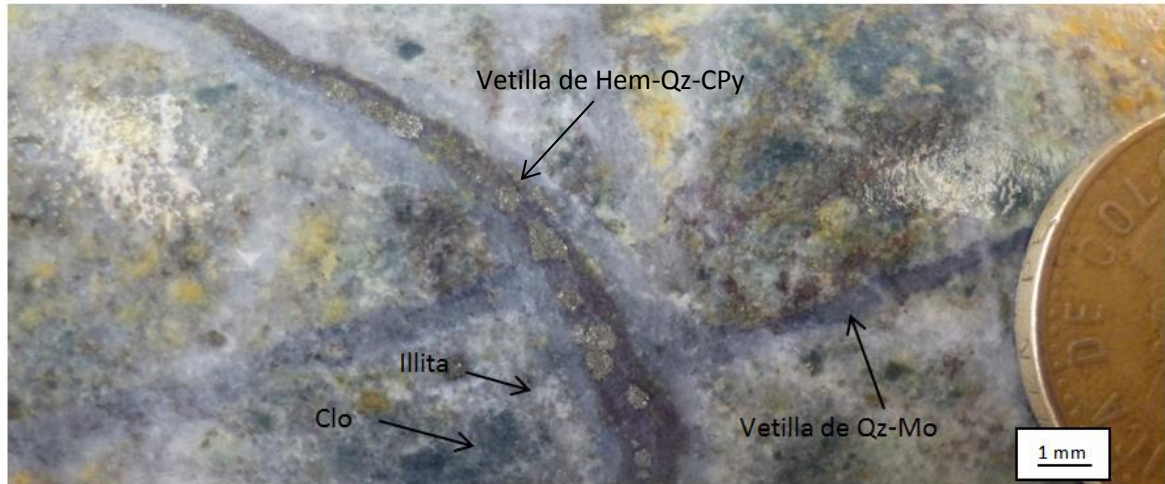
Otra observación detallada se realizó a una profundidad de 188m, en la cual se desarrolla una alteración clorita-sericita (argilica intermedia) representada en vetillas de pirita-calcopirita-illita de 5 mm de ancho que desarrollan un halo de alteración mineral de clorita-sericita-illita con tonalidades verdosas (ver FIGURA 44).

**FIGURA 44. A, B y C.** Halos de alteración clorita-sericita alrededor de las vetillas de pirita-calcopirita-illita.

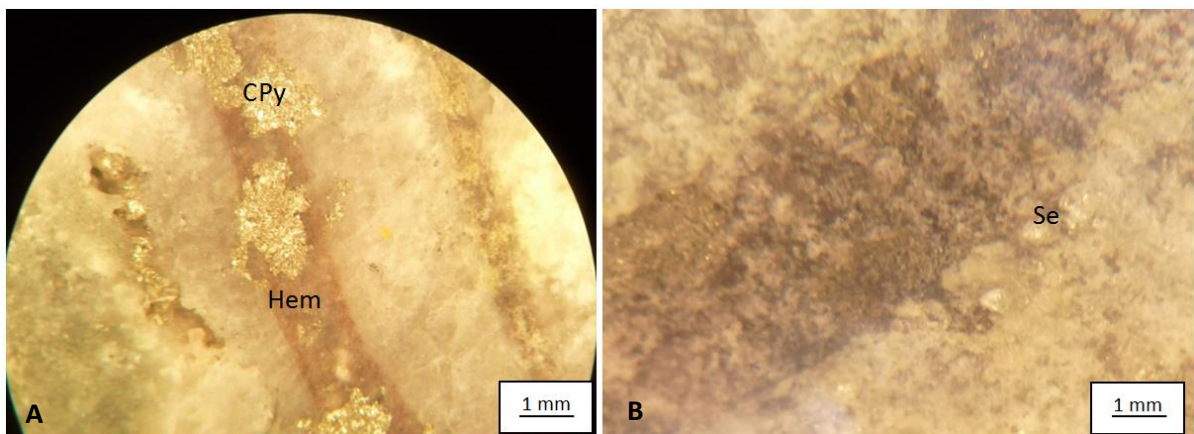


También se desarrollan halos de alteración con sericita-clorita-illita alrededor de vetillas de hematita+cuarzo+calcopirita de 1mm de ancho las cuales contienen residuos de molibdenita (ver FIGURA 45 y 46), estas vetillas están cortando a vetillas tipo B de cuarzo-molibdenita, de 1mm de ancho.

**FIGURA 45.** Aspecto de las vetillas con hematita-cuarzo-calcopirita cortando a la vetilla de cuarzo-molibdenita.



**FIGURA 46. A y B.** Vetilla con cuarzo-hematita–calcopirita vista al detalle, en donde se observa sericita en su halo.

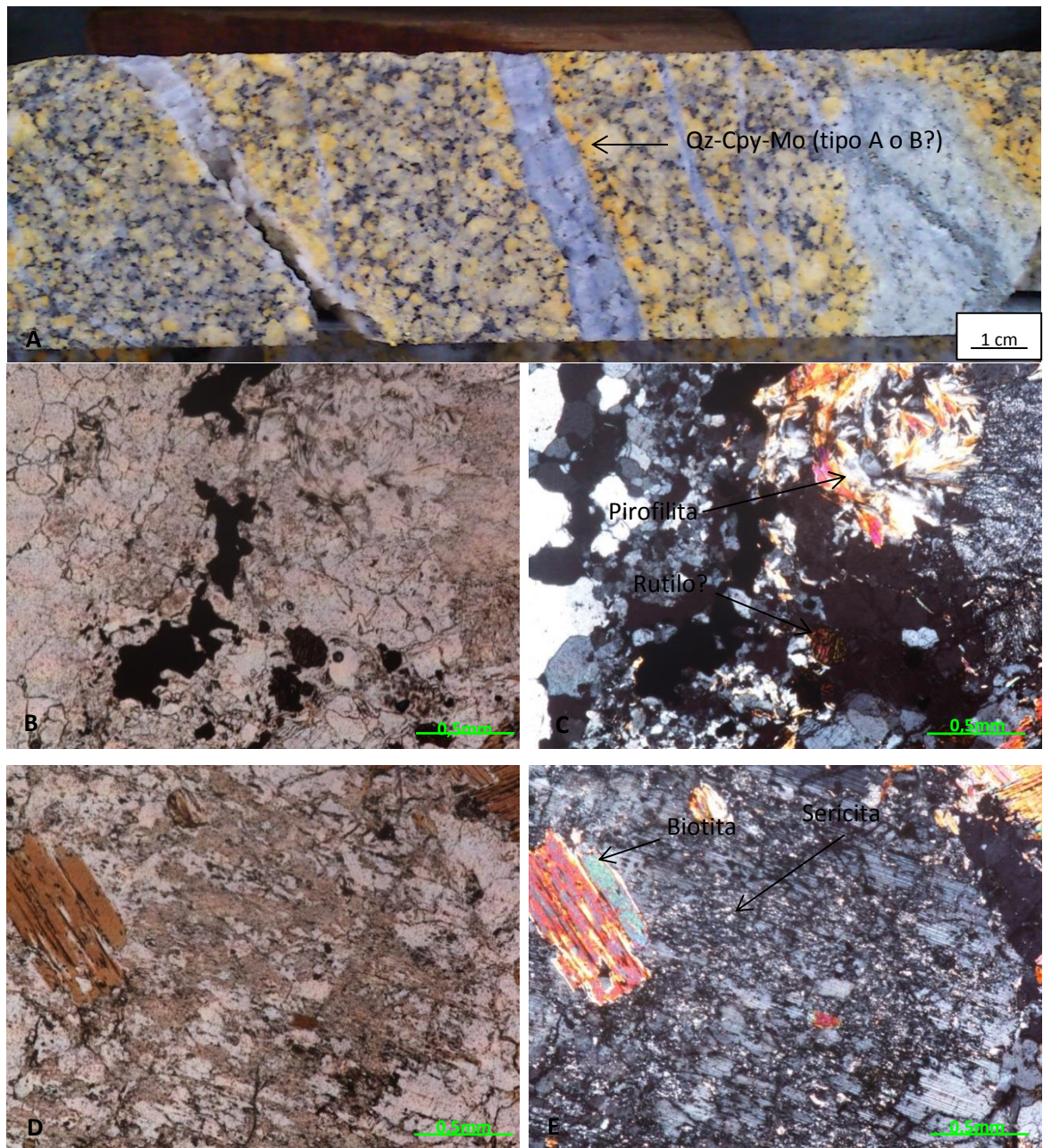


➤ **Sub-tramo comprendido entre 183,6M. Y 150.67M**

En este subtramo el porfido riódacítico es cortado por vetillas de cuarzo-pirita, las cuales son cortadas por vetillas de cuarzo-molibdenita-pirita con algo de illita, las cuales en su halo silisifican y sericitizan esta roca, se desarrolla moderada alteración sílica, débilmente alteración argílica (con illita y caolinita), localmente (en sectores muy cortos) fuerte alteración propilítica.

Específicamente a una profundidad de 177m en donde la litología encajante presenta leve alteración argilica, se observan vetillas sinuosas tipo A o B? de cuarzo-calcopirita-molibdenita con sutura central (ver FIGURA 47A), a la cual se le realizó petrografía de sección delgada, con el fin de determinar más detalladamente la mineralogía desarrollada alrededor de estas vetillas, en donde se observó biotita-sericita-rutilo (o zircón?)-pirofilita (anhidrita?), la biotita se presenta como cristales subhedrales de tamaños entre 0,5-1 mm, los rutilos se presentan como cristales subhedrales en tamaños de 0,3 mm de color café a un alto relieve y son muy escasos en la muestra, los cristales de pirofilita se presenta en agregados fibrosos y radiados en tamaños de 0,25 mm, la sericita se presenta como alteración de plagioclasas sódicas (ver FIGURA 47B, 47C,47D y 47E).

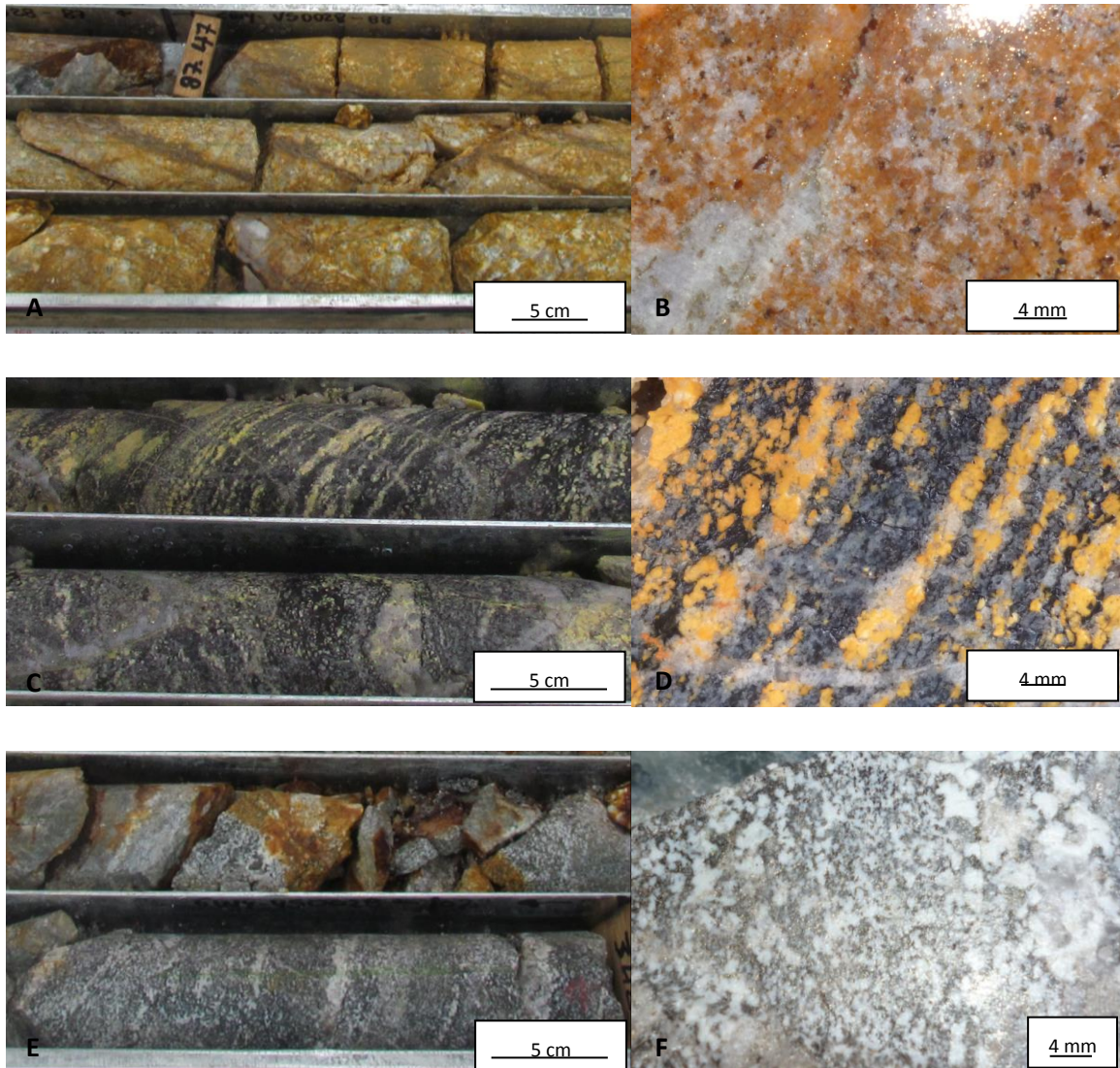
**FIGURA 47. A.** Cuerpo porfiritico con vetillas sinuosas con sutura central. **B y D.** Fotografía bajo microscopio petrográfico de los minerales presentes alrededor de la vetillas sinuosas con sutura central, vista en PPL. **C y E.** Fotografía bajo microscopio petrográfico de los minerales presentes alrededor de la vetilla tipo A, vista en XPL.



- **Tramo comprendido entre 150.67m-superficie.**

En el tramo comprendido de 150,67m hasta la superficie (cota 3586 msnm), se observan nuevamente las rocas metamórficas del Gneis de Bucaramanga, las cuales están representadas en éste tramo, por las siguientes variedades: A). Gneis Cuarzo-Feldespático (ver FIGURA 48A y 48B); el cual contiene cristales de plagioclasa de color blanco, alineados con la foliación del gneis, con tamaños entorno a 0,4-0,5 cm, las cuales se encuentran alteradas a minerales arcillosos tipo illita, caolinita y sericita de color amarillento., de igual manera se observa un cuarzo ligeramente cristalino. En este gneis se observan evidencias de procesos de alteración supergénica, los cuales están representado en óxidos de Fe tipo hematita y pirita oxidada, también se observan vetillas de cuarzo-pirita (oxidada), de hasta 0,5cm de ancho, con un desarrollo de halos de alteración cuarzo sericiticos. En algunas zonas de este gneis cuarzo-feldespático se presenta una fuerte alteración silica. B). Gneis Biotítico (ver FIGURA 48C y 48D); en el cual se observa un notorio bandeamiento, presenta sulfuros diseminados principalmente pirita y molibdenita, igualmente presenta vetillas de cuarzo-pirita-molibdenita, vetillas de pirita-cuarzo, y vetillas de pirita-cuarzo drussy, con fuerte alteración argilica (illita y caolinita), propilítica, y localmente una débil alteración sericitica. C). Gneis Anfibolítico (ver FIGURA 48E y 48F), el cual presenta un bandeamiento característico de bandas claras y oscuras, contiene de forma diseminada calcopirita fina y pirita fina.

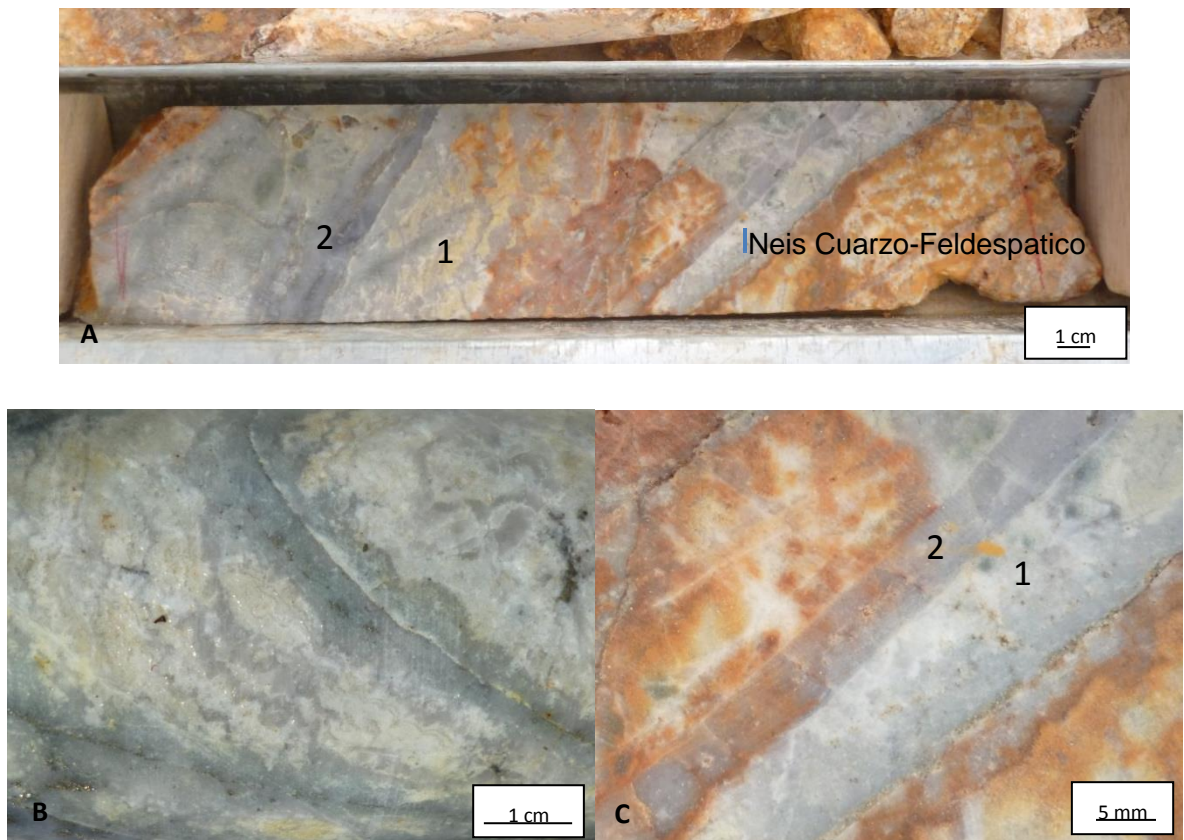
**FIGURA 48. A y B.** Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Cuarzo-Feldespatico. **C y D.** Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Biotítico. **E y F.** Aspecto a escala de muestras de núcleos y a escala detallada del Gneis Anfibolítico.



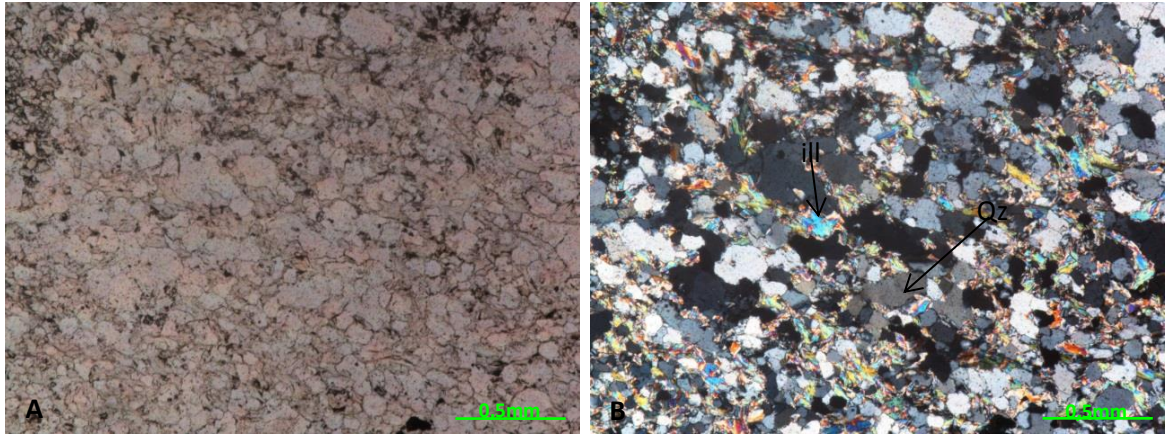
A una profundidad de 92,80m, se observa una zona silisificada, en la cual se reconocen dos eventos que cortan al Gneis Cuarzo Feldespático (ver FIGURA 49A), el primer evento corresponde con una zona silisificada de 13 cm de ancho con leve contenido de illita y pirita diseminadas y desarrollo texturas crustiformes (ver FIGURA 49B), en sección delgada los cristales están alineados lo cual

sugiere que estas texturas pueden ser producto de metamorfismo (ver FIGURA 50), el segundo evento está representado por vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita de 1.5 cm de ancho (ver FIGURA 51A).

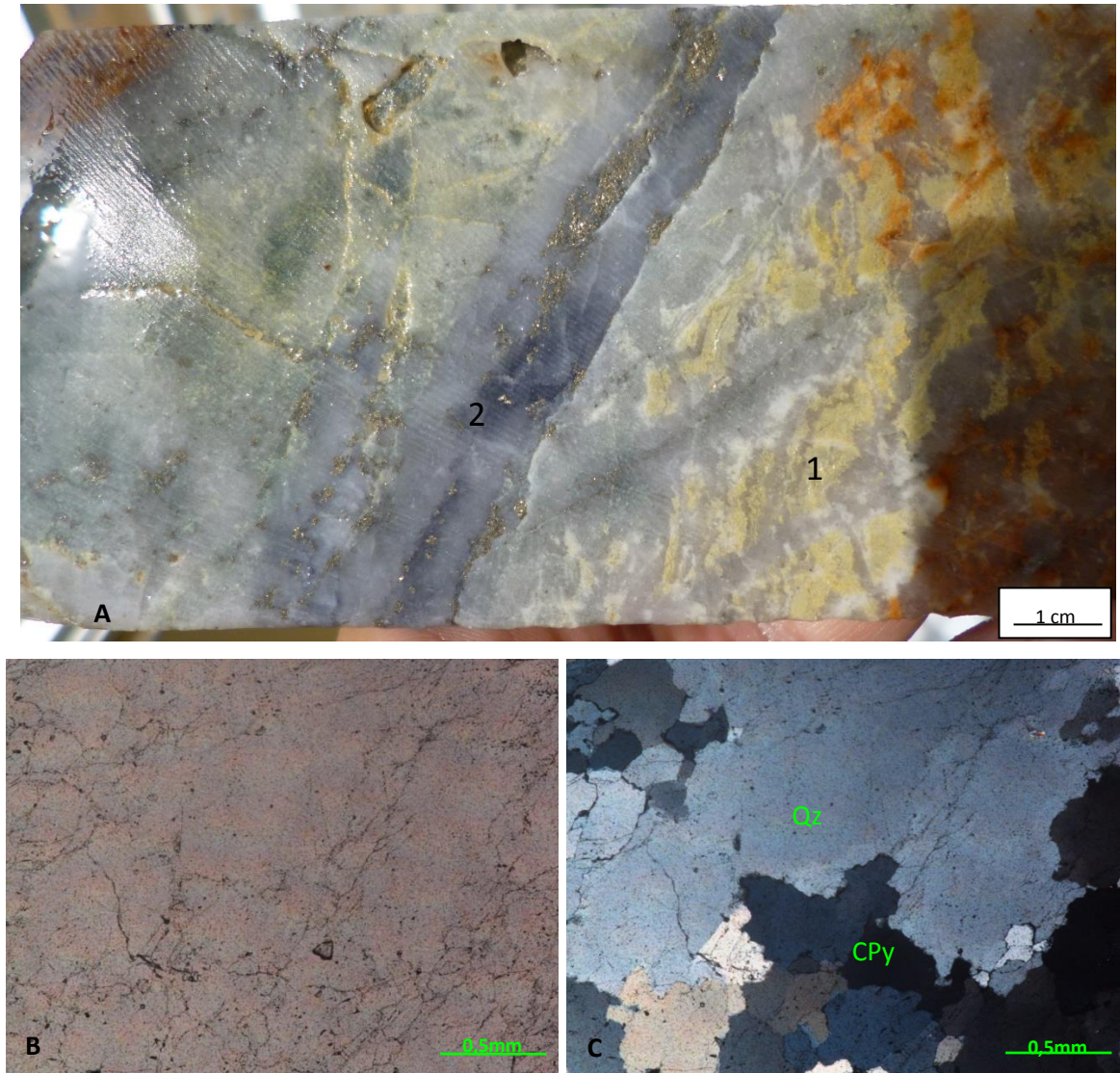
**FIGURA 49.** Fotografías de **A.** Los dos (2) eventos porfiriticos cortando al Gneis Cuarzo-Feldespatico. **B.** Texturas crustiformes desarrolladas en el primer evento. **C.** Relación de corte de los dos eventos.



**FIGURA 50.** Vista al microscopio petrográfico del primer evento. **A.** Aspecto en PPL. **B.** Aspecto en XPL



**FIGURA 51. A.** Fotografías del evento porfiritico representado en vetillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita. **B.** Aspecto al microscopio petrográfico de la vetilla de cuarzo-molibdenita-calcopirita en PPL. **C.** Aspecto al microscopio petrográfico de la vetilla de cuarzo-molibdenita-calcopirita en XPL.



A una profundidad de 48,30m se observa un evento de alteración supergénica, el cual está representado por vetillas de 2 mm de ancho de color blanco la cual se encuentra cortando al neis cuarzo-feldespatico (ver FIGURA 52), en donde mediante análisis de difracción de rayos x se determinó que la fase más probable

de arcillas que componen esta vetilla son sericita, halloysita y caolinita (ver TABLA 1), cuando la halloysita es identificada en ambientes epitermales o porfiriticos, este mineral es interpretado como un polimorfo de baja temperatura de la caolinita y es un indicativo de procesos supergenicos (Kyne et al., 2013).

Alrededor de estas vetillas se observan cristales de 5 mm y de color blanco en los cuales mediante análisis de difracción de rayos x se determinó que las fases minerales corresponden con sanidina y microclina que se encuentran parcialmente alterados a sericita e illita.

**FIGURA 52.** Aspecto de las vetillas del evento supergenico compuestas por halloysita y caolinita.



**TABLA 1.** Resultados de difracción de rayos x de las fases minerales de la figura 52.

**1. APD57131 (C5TA)**

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
<b>Cristalinos</b>	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 \cdot 2 H_2O$	000-29-1489	Haloisita
	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$	010-74-1784	Caolinita
	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$	000-13-0375	Haloisita
	$(Na_{0.37} K_{0.60}) (Al_{1.84} Ti_{0.02} Fe_{0.10} Mg_{0.06}) (Si_{3.03} Al_{0.97}) O_{10} (OH)_2$	010-85-2147	Moscovita

**2. APD57132 (C5TB)**

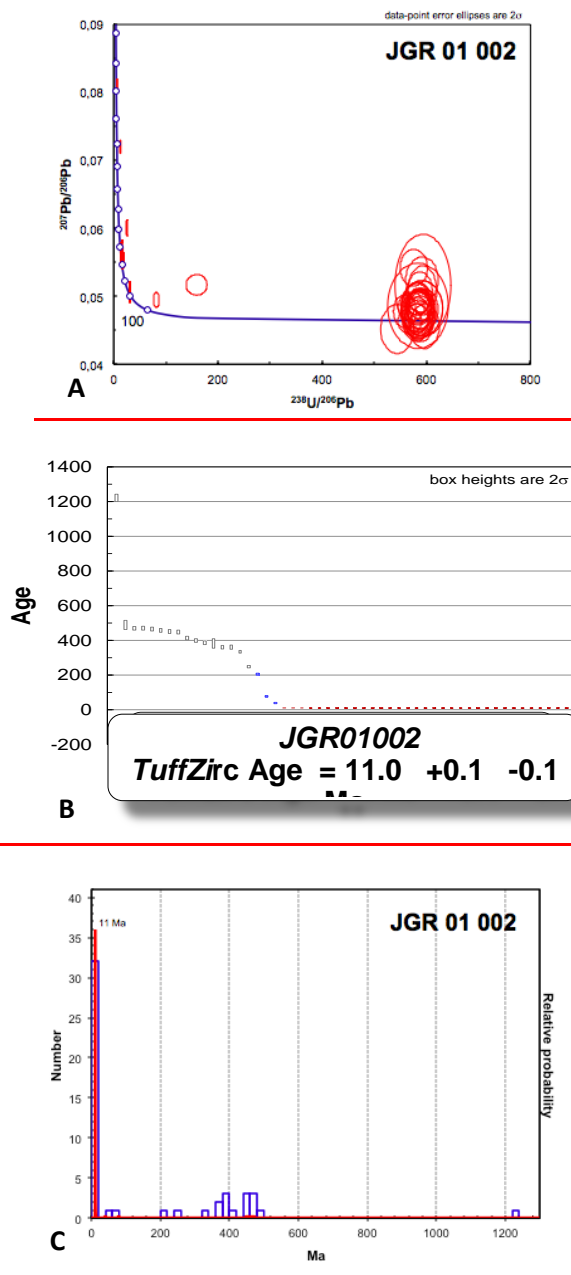
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
<b>Cristalinos</b>	$K (Al Si_3 O_8)$	010-80-2109	Sanidina
	$Si O_2$	030-65-0466	Cuarzo
	$K (Al Si_3 O_8)$	010-89-8573	Microclina
	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 \cdot 2 H_2O$	000-29-1489	Haloisita
	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$	010-80-0885	Caolinita
	$(Na_{0.37} K_{0.60}) (Al_{1.84} Ti_{0.02} Fe_{0.10} Mg_{0.06}) (Si_{3.03} Al_{0.97}) O_{10} (OH)_2$	010-85-2147	Moscovita

## 6 GEOCROLOGIA

Los datos analíticos y las relaciones isotópicas U-Pb determinadas en las diferentes zonas de crecimiento de los circones analizados mediante la técnica LA-MC-ICPMS (muestra JGR-01-002; ver TABLA 2), indican la presencia de por lo menos dos grupos de edades: (a) uno conformado por treinta y tres (33) de los cincuenta y dos (52) análisis realizados ( $\approx 63.5$  % del total de los análisis), el cual presenta un rango de edad claramente relacionado con la cristalización de los cuerpos porfiríticos estudiados, siendo éste entre 10.8 y  $11.8 \pm 0.2$  Ma (edad determinada en  $11.0 \pm 0.1$  Ma, luego de considerar los errores analíticos y sistemáticos; ver FIGURA 53) y; (b) otro grupo conformado por diez y nueve análisis (19) de los cincuenta y dos análisis (52) realizados ( $\approx 36.5$  % del total de los análisis), con edades que oscilan entre  $1222.1 \pm 10.4$  Ma y  $40.4 \pm 2.1$  Ma.

En el segundo grupo de edades mencionado, es posible diferenciar los siguientes subgrupos por su edad: (1) un grupo conformado por cuatro análisis, con edades entre  $1222.1 \pm 10.4$  y  $470.2 \pm 5.6$  Ma; (2) otro grupo conformado por cuatro análisis, con edades entre  $466.4 \pm 5.6$  Ma y  $448.3 \pm 5.5$  Ma; (3) otro grupo conformado por siete análisis, con edades entre  $413.5 \pm 5.2$  Ma y  $334.7.1 \pm 4.0$  Ma; (4) otro grupo conformado por dos análisis, con edades entre  $248.9 \pm 3.5$  Ma y  $205.6 \pm 3.0$  Ma; y (5) otro grupo conformado por dos análisis, con edades entre  $78.3 \pm 2.2$  Ma y  $40.4 \pm 2.1$  Ma (ver TABLA 2).

**FIGURA 53.** Edades U-Pb obtenidas a partir del análisis de circones de la muestra JGR-01-002, mediante la técnica LA- MC-ICPMS ( $11.0 \pm 0.1$  Ma). **A.** Diagrama concordia U-Pb a partir de circones, donde se muestran las diferentes edades heredadas y edad de cristalización del cuerpo porfirítico del Neógeno estudiado (JGR-01-002). **B.** Diagrama de distribución de las edades obtenidas (error 2s); **C.** Distribución de los rangos de edades obtenidas a partir del análisis de las diferentes zonas al interior de los circones, en la cual se muestra la dominancia de las edades entorno a 11.0 Ma.



En el sentido antes mencionado, es posible sugerir que las edades de  $1222.1 \pm 10.4$  y  $470.2 \pm 5.6$  Ma, se consideran relacionadas con herencia de circones derivados de las rocas metamórficas Pre-Devónicas presentes en el Macizo de Santander (circones detríticos de la Formaciones Neis de Bucaramanga y Ortogneis). Las edades obtenidas entre  $466.4 \pm 5.6$  Ma y  $448.3 \pm 5.5$  Ma, se interpretan como edades heredadas, relacionadas con circones de origen magmático, derivados de antiguos eventos tectonomagmáticos del Paleozóico (Ordovícico Medio-Tardío), los cuales han sido reportados en Boinet *et al.* (1985). Las siete edades obtenidas en el rango entre  $413.5 \pm 5.2$  Ma y  $334.7.1 \pm 4.0$  Ma (Devónico y Carbonífero-Mississippiano) pueden estar representando una mezcla de edades (posibles edades obtenidas en zonas intermedias de circones zonados) o posiblemente pueden estar relacionadas con una herencia de circones derivados de rocas ígneas más antiguas (del Devónico y Carbonífero-Mississippiano), las cuales pueden estar presentes en el Macizo de Santander, según algunos datos puntuales reportados en Boinet *et al.* (1985), pero las cuales han sido pobremente estudiadas. Las edades entre  $248.9 \pm 3.5$  Ma y  $205.6 \pm 3.0$  Ma se relacionarían con circones heredados de rocas que se consideran asociadas al periodo magmático Triásico Tardío-Jurásico Temprano, el cual ha sido documentado en Goldsmith *et al.* (1971), Dörr *et al.* (1995) y Mantilla *et al.* (2013), entre otros. Las edades entre  $78.3 \pm 2.2$  Ma y  $40.4 \pm 2.1$  Ma, como en el caso anteriormente mencionado, pueden estar representando una mezcla de edades (posibles edades obtenidas en zonas intermedias de circones zonados) o posiblemente pueden estar relacionadas con una herencia de circones derivados de rocas ígneas más antiguas (Cretácico Tardío-Eoceno), las cuales aún no se han identificado en el contexto del Macizo de Santander.

**TABLA 2.** Resultados analíticos U-Pb en varias de las zonas al interior de los circones estudiados en la muestra JGR-01-002 y sus respectivas edades.

Sample	U	Th	238U	1 Sigma	207Pb	1 Sigma	206/238	1 Sigma	207/206	1 Sigma	Best age	1 Sigma
Name	(ppm)	U	206Pb	% error	206Pb	% error	Age	Abs err	Age	Abs err	(Ma)	Abs err Ma
JGR01002_52	376	0,01	30,8584	1,47%	0,0507	1,36%	205,6	3	225,4	31,1	205,6	3
JGR01002_51	2.075	0,16	558,7329	1,60%	0,0478	2,07%	11,5	0,2	89	48,3	11,5	0,2
JGR01002_50	2.085	0,23	568,5387	1,62%	0,0464	1,66%	11,3	0,2	15,9	39,5	11,3	0,2
JGR01002_49	984	0,19	591,7067	1,82%	0,0477	2,73%	10,9	0,2	84,2	63,5	10,9	0,2
JGR01002_48	343	0,53	25,408	1,44%	0,0601	0,88%	248,9	3,5	607,3	18,9	248,9	3,5
JGR01002_47	1.931	0,26	581,6615	1,65%	0,0496	1,90%	11,1	0,2	176	43,8	11,1	0,2
JGR01002_46	1.316	0,22	591,7722	2,15%	0,0524	2,60%	10,9	0,2	304,8	58,1	10,9	0,2
JGR01002_45	472	0,34	12,6691	2,80%	0,072	0,56%	489,7	13,2	986,1	11,3	489,7	13,2
JGR01002_44	1.132	0,22	581,952	1,81%	0,0461	2,46%	11,1	0,2	2,7	58,2	11,1	0,2
JGR01002_43	2.206	0,1	591,8358	2,73%	0,0482	3,45%	10,9	0,3	110,6	79,5	10,9	0,3
JGR01002_42	2.206	0,1	591,8358	2,73%	0,0482	3,45%	10,9	0,3	110,6	79,5	10,9	0,3
JGR01002_41	1.708	0,29	588,315	1,65%	0,0455	1,92%	10,9	0,2	0	16,4	10,9	0,2
JGR01002_40	952	0,22	596,8582	1,93%	0,0456	2,94%	10,8	0,2	0	45,1	10,8	0,2
JGR01002_39	1.260	0,28	575,9149	1,89%	0,0542	2,01%	11,2	0,2	378,9	44,7	11,2	0,2
JGR01002_38	2.727	0,85	16,1653	1,40%	0,0565	0,43%	386,9	5,3	473,7	9,5	386,9	5,3
JGR01002_37	1.348	0,29	571,3801	1,79%	0,0485	1,78%	11,3	0,2	123,3	41,5	11,3	0,2
JGR01002_36	1.508	0,34	583,0204	1,59%	0,0497	2,01%	11	0,2	181,3	46,2	11	0,2
JGR01002_35	621	0,51	81,8043	2,80%	0,0495	0,95%	78,3	2,2	169,4	21,9	78,3	2,2
JGR01002_34	974	0,75	13,2162	1,23%	0,0568	0,46%	470,2	5,6	484,5	10,2	470,2	5,6
JGR01002_33	1.034	0,82	13,7652	1,23%	0,0567	0,47%	452,1	5,4	480,1	10,3	452,1	5,4
JGR01002_32	2.346	0,05	17,3578	1,44%	0,0554	0,44%	361,1	5,1	429	9,7	361,1	5,1
JGR01002_31	1.332	0,22	585,4219	1,70%	0,0485	2,27%	11	0,2	123,3	52,7	11	0,2
JGR01002_30	227	1,44	13,3289	1,25%	0,0565	0,72%	466,4	5,6	470,6	15,9	466,4	5,6
JGR01002_29	978	1,05	15,0945	1,31%	0,0563	0,49%	413,5	5,2	462,5	10,8	413,5	5,2
JGR01002_28	229	0,33	6,2785	1,35%	0,081	0,53%	952,7	11,9	1222,1	10,4	1222,1	10,4
JGR01002_27	1.707	2,39	15,6422	1,27%	0,0565	0,44%	399,5	4,9	470,5	9,6	399,5	4,9
JGR01002_26	1.045	0,23	593,6002	1,99%	0,0481	2,64%	10,9	0,2	102,4	61,3	10,9	0,2
JGR01002_25	1.194	0,31	584,9491	1,77%	0,0479	2,36%	11	0,2	94,8	55	11	0,2
JGR01002_24	2.117	0,22	590,2459	1,66%	0,0488	1,89%	10,9	0,2	136,5	43,8	10,9	0,2
JGR01002_23	1.560	0,21	585,4861	1,70%	0,0486	2,02%	11	0,2	127,1	46,9	11	0,2
JGR01002_22	806	0,2	584,0596	4,07%	0,0486	5,28%	11	0,4	128,4	119,7	11	0,4
JGR01002_21	141	0,47	16,3565	3,66%	0,0564	1,45%	382,5	13,6	469	31,7	382,5	13,6
JGR01002_20	875	1,39	13,8839	1,26%	0,057	0,56%	448,3	5,5	490,1	12,3	448,3	5,5
JGR01002_19	480	0,63	13,5983	1,29%	0,0562	0,93%	457,4	5,7	459,5	20,6	457,4	5,7
JGR01002_18	638	0,81	13,2073	1,16%	0,0567	0,91%	470,5	5,2	479,6	20,1	470,5	5,2
JGR01002_17	638	0,29	544,1563	2,39%	0,0452	3,28%	11,8	0,3	0	32,4	11,8	0,3
JGR01002_16	2.498	0,23	18,7627	1,23%	0,0553	0,85%	334,7	4	425,5	18,9	334,7	4
JGR01002_15	1.035	0,17	588,6384	1,82%	0,0482	2,51%	10,9	0,2	108,3	58,2	10,9	0,2
JGR01002_14	5.986	0,01	17,363	1,71%	0,0551	0,85%	361	6	415,6	18,9	361	6
JGR01002_13	903	0,13	593,5788	3,69%	0,0516	5,95%	10,9	0,4	267,8	131	10,9	0,4
JGR01002_12	930	0,18	592,4867	1,91%	0,0509	2,89%	10,9	0,2	235,1	65,5	10,9	0,2
JGR01002_11	595	0,15	159,2604	5,21%	0,0517	1,22%	40,4	2,1	271	27,7	40,4	2,1
JGR01002_10	1.016	0,15	588,6693	1,64%	0,0471	2,54%	10,9	0,2	56,2	59,4	10,9	0,2
JGR01002_9	643	0,13	585,3274	2,04%	0,0472	3,05%	11	0,2	59,5	71,2	11	0,2
JGR01002_8	824	0,15	583,0608	2,22%	0,0484	3,11%	11	0,2	117,2	71,7	11	0,2
JGR01002_7	1.532	0,14	581,3686	1,64%	0,0465	2,15%	11,1	0,2	21,8	51	11,1	0,2
JGR01002_6	1.105	0,19	584,7968	1,86%	0,0466	2,49%	11	0,2	29,2	58,6	11	0,2
JGR01002_5	895	0,13	595,8962	5,73%	0,0565	7,71%	10,8	0,6	471,3	162,1	10,8	0,6
JGR01002_4	1.187	0,18	587,6172	1,71%	0,0506	2,40%	11	0,2	223,4	54,5	11	0,2
JGR01002_3	690	0,14	584,7	2,26%	0,0473	3,05%	11	0,2	62,5	71,1	11	0,2
JGR01002_2	1.570	0,15	581,5308	1,87%	0,0483	2,04%	11,1	0,2	113,5	47,4	11,1	0,2
JGR01002_1	1.357	0,13	582,1561	1,63%	0,0473	2,25%	11,1	0,2	64,2	52,8	11,1	0,2

## 7 CONCLUSIONES

- En el sector de la Mina Reina de Oro, se han reconocidos litologías metamórficas del Gneis de Bucaramanga (de edad Greenvilliano); rocas ígneas leucograníticas, al parecer relacionadas con los eventos magmáticos del Triásico Tardío-Jurásico Temprano; y rocas ígneas porfiríticas de edad Neógeno.
- Las dataciones U-Pb en circones, mediante la técnica LA-MC-ICP-MS, arrojaron edades de  $11.0 \pm 0.1$  Ma, lo cual corrobora la existencia de éste importante evento magmático en el Macizo de Santander (especialmente en el distrito Minero de Vetas-California), de edad Mioceno Tardío (Tortoniano).
- La presencia de Vetillas tipo A, B y D, confinadas especialmente en las rocas porfiríticas del Neógeno, y localmente en las rocas metamórficas del Gneis de Bucaramanga y las rocas ígneas consideradas de edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano, apuntan a la existencia de eventos de alteración hidrotermal, propios de los estilos de mineralización porfirítico. En éste mismo sentido, apuntan las asociaciones minerales propias de alteraciones hidrotermales potásicas, sericíticas o fílicas, argílica intermedia y propilítica, reconocidas tanto en diferentes puntos de las galerías, como en diferentes tramos del sondaje No. 1.

- La presencia de vetillas con esfalerita, pirita, minerales de plata y oro asociado, y de algunas texturas crustiformes, se consideran asociadas a ambientes de mineralización epitermal, los cuales aquí denominamos como de baja-intermedia sulfidación. Por otro lado, la presencia de enargita, pirita y alunita hipógena, apuntan igualmente a la existencia de ambientes de mineralización propios de condiciones epitermales de alta sulfidación, siendo éste último, al parecer, anterior a los eventos mineralizantes de baja-intermedia sulfidación.

## 8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la datación U-Pb del intrusivo cuarzodiorítico con el objetivo de tener certeza de la relación temporal con el dique porfírico riódacítico, así como también realizar dataciones Re-Os de las vetillas con contenido de Mo anteriores y posteriores al dique porfírico riódacítico con edades de 11 ma.
- Reconocer los sondajes aledaños al sondaje No 1, con el fin de reconocer continuidades y variaciones mineralógicas y de alteraciones hidrotermales.
- Hacer estudios de microtermometría en inclusiones fluidas en los diferentes tipos de vetillas reconocidas, para fines de conocer las características físico-químicas de los paleo-fluidos hidrotermales, relacionados con la formación y evolución de los diferentes paleo-sistemas magmático-hidrotermales desarrollados en el sector de la Mina Reina de Oro, en diferentes momentos de su historia geológica, principalmente Neógena.

## 9 BIBLIOGRAFIA

Alemán A. y Ramos V.A. 2000. The Northern Andes. In Tectonic Evolution of South America, Cordani UG, Milani EJ, Thomaz Filho A, Campos DA (eds). 31st International Geological Congress: Río de Janeiro, 453–480.

Aspden, J.A.; McCourt, W.J. y Brook, M., 1987. Geometrical Control of Subduction - Related Magmatism: The Mesozoic and Cenozoic Plutonic History of Western Colombia. *Journal of the Geological Society*. London. Vol. 144. pp. 893 -905.

Bayona, G., Rapalini, A., and Costanzo-Alvarez, V., 2006. Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the northern Andes and its implications in Mesozoic tectonics of northwestern South America. *Earth, Planets, and Space*, v. 58, pp. 1255–1272.

Betsi, Th., Lentz, D., (2010). The nature of “quartz eyes” hosted by dykes associated with Au–Bi–As–Cu, Mo–Cu, and base-metal–Au–Ag mineral occurrences in the Mountain Freegold region (Dawson Range), Yukon, Canada. *Journal of Geosciences*, 55 (2010), pp. 347–368.

Boinet, T., Bourgois, J., Bellon, H., Toussaint, J., 1985. Age et repartition du magmatisme Premesozoïque des Andes de Colombie. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de L'Académie des Sciences. Serie D: Sciences Naturalles* 300(II), pp. 445-450.

Buchanan, L.J., 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest: *Arizona Geological Society Digest*, v. 14, pp. 237–262.

Cediel, F., Shaw, R.P., Caceres, C. 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. In: Bartolini, C., Buffler, T., Blickwede, J. eds., *The Circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. AAPG (Memoir 79), pp. 815-848.

Chang, Z., Hedenquist, J W., White, N C., Cooke, D R., Roach, M., Deyell, C L., Garcia, J., Gemmell, J B., Mcknight, S., and Cuisson, A L. 2011. Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from the Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines. *Economic Geology*, v. 106, pp. 1365–1398.

Chew, D.M., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M.J., Gutjahr, M., Spikings, R.A., Misković, A., 2007. U–Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. *Geological Society of America Bulletin* 119, pp. 697–711.

Clavijo, J., Mantilla, F. L. C., Pinto, J., Bernal, L., Pérez, A., 2008. Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, Norte del Valle Medio del Magdalena y Noroeste de la Cordillera Oriental. *Boletín de Geología UIS* 30 (1), pp. 45-62.

Clavijo, J., 1994. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. Informe interno INGEOMINAS. p.67.

Cooper, M.B., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J., Taborda, A., 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *A.A.P.G. Bulletin* 79, pp. 1421-1443.

Cordani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., Nutman, A., 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Terrane Processes at Margins of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications. Edited by Vaughan, A.; Leat, P.; Pankhurst, R. Vol. 246, pp. 329-346.

CDMB., Corponor., (2002). Estudios de caracterización y zonificación ambiental de la unidad biogeográfica de Santurbán. Informe final. Documento de caracterización biofísica y socioeconómica, evaluación, prospectiva y zonificación ambiental.

Dengo, C.A., and Covey, M.C., 1993, Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for trap styles and regional tectonics: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 77, p. 1315–1337.

Departamento de Santander: Secretaria de Planeación., Universidad Industrial de Santander: Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial – GIDROT-, 2011. SANTANDER 2030, Diagnóstico Dimensión Biofísico Ambiental Territorial de Santander.

Dörr, W., Grösser, J., Rodríguez, G., Kramm, U., 1995. Zircon U-Pb age of the Páramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. Journal of South American Earth Sciences 8, pp. 187-194.

Einaudi, M T., Hedenquist, J W., Inan E E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10, pp. 285-313.

Etayo-Serna, F., Barrero, D., Lozano, H., Espinoza, A., González, H., Orego, A., Zambrano, F., Duque, H., Vargas, R., Núñez, A., Álvarez, J., Ropaín, C., Ballesteros, I., Cardozo, E., Forero, H., Galvis, N., Ramírez, C., Sarmiento, L., 1983. Mapa de Terrenos geológicos de Colombia, Ingeominas Publicación Geológica Especial 14, Bogotá, pp. 235.

Evans, J., 1977. Geological and Geochemical Reconnaissance in the central Santander Massif, Departments of Santander and Norte de Santander, Colombia. U. S. Geological Survey (edits). 43 p.

Fabre A., Delaloye, M., 1983. Intrusiones Básicas Cretácicas de la Cordillera Oriental. Geología Norandina, Bogotá, 6, pp. 19-28.

Fabre, A., 1985. Subsistencia y maduración de la material orgánico; un modelo de la evolución de la Cordillera Oriental y los Llanos durante el Cretácico y el Terciario (Abstract). Mem. IV Congreso Latinoamericano de Geología. Bogotá, 2, pp. 421-422.

Fabre, A., 1987. Tectonique et génération d'hydrocarbures: Un modèle de l'évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du Bassin de Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire: Archives des Sciences Genève, v. 40, pp. 145–190.

Felder, G., Ortiz, G., Campos, C., Monsalve, I., Silva, A., 2005. ANGOSTURA PROJECT, A High Sulfidation Gold-Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Greystar Resources Ltd. Thech. Report. ([http://www.greystarresources.com/i/pdf/Angostura\\_Greystar\\_ProExplo\\_2005Final.pdf](http://www.greystarresources.com/i/pdf/Angostura_Greystar_ProExplo_2005Final.pdf)).

Forero, A., 1990. The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: An allochthonous terrane in northwestern South America. *Journal of South America Earth Sciences* 3, pp. 141-151.

Galvis, V. J., 1998. Una caldera volcánica en el Macizo de Santander, Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 22 (84), pp. 355-362.

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

Gansser, A. 1973. Facts and theories on the Andes. *J. geol. Soc. London*, 129, pp. 93-131.

Glazner, AF., Ussler, M., Mathis, AC. (1990). Interpretation of plagioclase texture in volcanic rocks. *EOS (Transactions of the American Geophysical Union)* 71, pp. 1678.

Goldsmith, R., Marvin, R.F., Mehnert, H.H., 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 750-D, pp. D44-D49.

Gregory-Wodzicki, K. M., 2000. Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. *GSA Bulletin*; v. 112., No 7, pp. 1091–1105.

Hargraves, R. N., Shagam, R., Vargas, R., Rodriguez, G. I., 1984. Paleomagnetic results from rhyolites (Early Cretaceous?) and andesite dikes at two localities in Ocaña area, northern Santander Massif, Colombia. *Geological Society of America. Memoir* 162. pp. 299-302.

Hedenquist, J. W., Arribas, A., Jr., and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits: Reviews in Economic Geology, v. 13, pp. 245–277.

Hibbard, M.J., (1981) The magma mixing origin of mantled feldspar. Contrib Mineral Petrol 76, pp. 158–170.

Horton, B. K., Saylor, J. E., Nie, J., Mora, A., Parra, M., Reyes-Harker, A., Stockli, D. F., 2010. Linking sedimentation in the northern Andes to basement configuration, Mesozoic extension, and Cenozoic shortening: Evidence from detrital zircon U-Pb ages, Eastern Cordillera, Colombia. GSA Bulletin; September/October 2010; v. 122; No. 9/10; pp. 1423–1442.

Juliver, M., 1963a. Sobre la presencia de Fallas de edad Precretácica y Post-Girón (Jura-triásico) en el flanco W del Macizo de Santander. Boletín de Geología. UIS. No. 12, pp. 5-17.

Juliver, M., 1963b. Nuevos datos sobre la Dinámica del ámbito del Macizo de Santander durante el Secundario (Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología. UIS. No. 12, pp. 45-49.

Kellogg, J.N., and Vega, V., 1995, Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from global positioning system geodetic studies and gravity, in Mann, P., ed., Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America: Geological Society of America Special Paper 295, pp. 75–90.

Leal-Mejia, H., Melgarejo I Draper, J. C., Shaw, R. P., 2011. Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes, in Proceedings Let's talk ore deposits, SGA biennial meeting, Antofagasta, Chile.

López, J., Bellos, L., 2006. Texturas y Estructuras de las Rocas Ígneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas. INSUGEO, Miscelánea 15, pp 7-57.

Mantilla F. L. C., Valencia, V. A., Barra, F., Pinto, J., Colegial, J., 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos Porfiríticos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Santander, Colombia). Boletín de Geología UIS 31 (1), pp. 31-43.

Mantilla, F. L. C., Mendoza, F. H., Bissig, T., Hart, C., 2011. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Mioceno en el distrito minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología UIS 33 (1).

Kyne, R., Hollings, P., Jansen, N.H., Cooke, D.R., 2013. Supergene and Hypogene Halloysite in a Porphyry-Epithermal Environment at Cerro la Mina, Chiapas, Mexico, *Economic Geology*, v. 108, pp. 1147–1161.

Mantilla, F. L. C., Bissig, T., Cottle, J., Hart, C., 2012. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian eastern cordillera). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 38; pp. 1-12.

Mantilla, F. L.C, Bissig, T., Mendoza, H., Rueda, J., Cruz, N., Pinilla, O., Reyes, S., Mendoza, M., Suarez, G., Sanchez, S., Palacio, A., Rojas, J., Reyes, J., Mendoza, G., Carrillo, J., León, H., Hart, C., 2013. Consideraciones sobre el magmatismo Neogeno en el macizo de santander (Cordillera Oriental, Colombia) y su relación con la metalogénesis del Au ( $\pm$ Ag, Mo, Cu). XIV Congreso Colombiano de Geología 2013.

Mathur, R; 2003. Re–Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences* 15. 815–821.

Mendoza H., Jaramillo, L., 1979. Geología y geoquímica del área de California, Santander. *Boletín Geológico Ingeominas*, vol. 22, pp. 3-52.

Müller, A., Breiter, K., Seltmann, R., Pecskey, Z. (2005). Quartz and feldspar zoning in the eastern Erzgebirge Volcano–plutonic Complex (Germany, Czech Republic): evidence of multiple magma mixing. *Lithos* 80, pp. 201–227

Nie, J., Horton, B. K., Mora, A., Saylor, J. E., Housh, T. B., Rubiano, J., Naranjo, J., 2010. Tracking exhumation of Andean ranges bounding the Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Geology*, 38, 5, 451-454.

Ordóñez-Cardona, O., Restrepo-Alvarez, J.J., Pimentel, M.M., 2006. Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 372–382.

Pennington, W.D., 1981, Subduction of the eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America: *Journal of geophysical research*, V. 86, pp. 10753-10770.

Pindell, J. Kennan., 2001. Kinematic Evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean. GCSSEPM Foundation 21st Annual Research Conference Transactions, Petroleum Systems of Deep-Water Basins, December 2-5, 2001, pp. 193-220.

Pisarevsky, S.A., Murphy, J.B., Cawood, P.A., Collins, A.S., 2008. Late Neoproterozoic and early Cambrian palaeogeography: models and problems. Geological Society of London, Special Publications 294, 9–31.

Polania, J. H., 1980. Die Uranvorkommen von California bei Bucaramanga (Kolumbien). 152 p. Stuttgart, 1980.

Polania, J. H., 1983. Mineralizaciones de Uranio y otros metales en California (Santander del Sur). Geología Norandina. 57-65.

Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G., Cosca, M., 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in Columbian Andes: new constraints for late Proterozoic-early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americas. Earth and Planetary Sciences Letters 154. 331-347.

Restrepo-Pace, P. A., Cediél F., 2010. Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. Journal of South American Earth Sciences 29, 764–771.

Restrepo, J. J., Ordóñez-Carmona, O., Armstrong, R., Pimentel, M., 2011. Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. Journal of South American Earth Sciences. 1-11.

Ríos, C., García, C., Takusa, A., 2003. Tectono-metamorphic evolution of the Silgara´ Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences 16, 133–154.

Royero J. y Vargas R. 1999. Geología del Departamento de Santander. Ingeominas.

Royero, G. J. M., Clavijo, J., 2001. Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Informe Ingeominas. 92 p.

Sarmiento, R. L. F., 1989. Stratigraphy of the Cordillera Oriental west of Bogotá, Colombia. M. Sc. Thesis University of South Carolina, Columbia, SC., 102 pag.

Sarmiento, R. L. F., 2001. Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Ecopetrol Vrije Universiteit Amsterdam. Colombia. 295 p.

Schäfer, J., Grösser, J. R., Rodríguez, G. I., 1998. ¿Proterozoic Formation Silgará, Cordillera oriental, Colombia: metamorphism and geochemistry of amphibolites. Zbi. Geol. Paläont. Teil I. H.3-6. 531-546.

Selby, D., Creaser, R A., 2001. Late and Mid-Cretaceous Mineralization in The Northern Canadian Cordillera: Constraints From Re-Os Molybdenite Dates. Economic Geology, v. 96, pp. 1461–1467.

Shagam, R., Banks, P. O., Kohn, B. P., Dasch, L. E., Vargas, R., Pimentel, N., Rodríguez, G. I., 1984. Tectonic Implications of Cretaceous-Pliocene fission-track ages from rocks of the circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia. Geological Society of America. Memoir 162. pp. 385-412.

Sillitoe, R H., 2008. Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera: Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. Economic Geology, v. 103, pp. 663–687.

Sillitoe, R H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, v. 105, pp. 3–41.

Sillitoe, R H., and Hedenquist, J W., 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. *Special Publication 10*, p. 315–343.

Sillitoe, R H., 1999, Styles of high-sulphidation gold, silver and copper mineralization in the porphyry and epithermal environments, in Weber, G., ed., *Pacrim '99 Congress, Bali, Indonesia, 1999, Proceedings: Parkville, Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 29–44.

Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Castro, J. E. and Rivera, C., 1999. Geodynamics of the Northern Andes: Intra-continental subduction and The Bucaramanga Seismicity Nest (Colombia). *Fourth ISAG, Goettingen (Germany)*, pp. 719-723. }

Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C., 2000. Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intracontinental Deformation (Colombia). *Tectonics*, 19: 787-813.

Tschanz C.; Marvin R.; Cruz B.; Mehnert H.; Cebulla C., 1974. Geologic Evolution of Sierra Nevada de Santa Martha, Northerastern Colombia, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85. pp. 273-284.

Urueña, S. C. L.; Zuluaga C. A., 2011. Petrografía del Gneis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetas – Santander. *Geología Colombiana*, 2011 - Vol. 36 No. 1. Pp.37-55.

Van der Hilst, R., Mann, P., 1994. Tectonic implication of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology* 22, 451–454.

Ward, D.E., Goldsmith, R., Cruz, J., Restrepo, H., 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. *Bol. Geológico INGEOMINAS*. Vol 21, N° 1-3, p 1-132.

Villagómez, D., Spikings, R., Mora, A., Guzmán, G., Ojeda, G., Cortés, E., van der Lelij, R., 2011. Vertical tectonics at a continental crust-oceanic plateau plate boundary zone: Fission Track thermochronology of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Tectonics*, Vol. 30. 1-18.

Villamil, T., 1999. Campanian-Miocene tectonostratigraphy, deconcenter evolution and basin development of Colombia and Western Venezuela. *Paleogeog. Paleoclim. Paleoecolog.*, 153: 239-275.

White, N.C., Poizat, V., 1995. Epithermal deposits: Diverse styles, diverse origins?, in Mauk, J.L., and St George, J.D., eds., *Pacrim Congress 1995*, Auckland, Proceedings: Parkville, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 623–628.

Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325–343.