

**ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES
ASOCIADAS, PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA 'REINA DE ORO'
(MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA)**

SANDRA MILENA SÁNCHEZ AVILA

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

2013

**ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES
ASOCIADAS, PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO
URBANO DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA 'REINA DE ORO'
(MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA)**

SANDRA MILENA SÁNCHEZ AVILA

Trabajo de grado para la obtención del título de GEÓLOGA

Director:

Ph. D. Geol. Luis Carlos Mantilla Figueroa

Co-Director:

MSc. Geol. Jesús Hernando Mendoza Forero

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

2013

DEDICATORIA

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente;

No temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios

Estará contigo en dondequiera que vayas.

Josué 1:9

A mi Dios, quien día a día me llenó de fe, fortaleza y entusiasmo para iniciar mis estudios y llegar a esta etapa de mi vida.

A mi madre, por su dedicación y esfuerzo en la realización de mis sueños, por su confianza y su amor incondicional. Eres el regalo más maravilloso que Dios ha dado a mi vida.

A mis abuelos Nestor y Carmen Rosa que desde el cielo guían mi vida y junto a Dios celebran mi triunfo.

A mis hermanos por estar a mi lado y por ser parte importante de mi vida.

A mis sobrinos Camilo, Juan José y Saray por darme la oportunidad de disfrutar de su compañía y su sonrisa que ilumina mi existir.

AGRADECIMIENTOS

A mi director Luis Carlos Mantilla, por su calidad humana, por su paciencia y por su dedicación como profesor, que me ayudó a ver en la minería un amplio campo de conocimiento y me permitió sumergirme en tan hermoso mundo. Siempre le estaré agradecida por permitirme aprender a su lado y por mostrarme la importancia de la familia en la vida de todo ser humano. Profe, que Dios te siga bendiciendo en tu vida y yo como muchos a los que has dado una mano te deseo las mejores oportunidades del mundo y nunca olvidaré una persona tan maravillosa y generosa.

A mi codirector, El profesor Jesús Hernando Mendoza por sentarse a mi lado y darme la oportunidad de aprender de su experiencia y de enseñarme a no temer de las correcciones con su famoso bolígrafo rojo, muchas gracias por permitirme ver más allá de mis ojos.

A mis calificadores, quienes con sus sabios consejos dieron pauta a mi vida estudiantil y me permitieron alcanzar uno de mis más preciados sueños, ser una gran profesional.

A todos y cada uno de los profesores de la Escuela de Geología, quienes con su conocimiento me dieron las armas para enfrentar mi vida profesional, en especial al profesor Jairo Clavijo por su paciencia y dedicación a su trabajo.

A mis compañeros Yohani, Sergio, Cesar y Gina, por su amistad incondicional, por su compañía y por su paciencia en momentos de dificultad.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo General	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 METODOLOGIA	17
2. GENERALIDADES DE LA REGIÓN	23
2.1 LOCALIZACION.....	23
2.2 VIAS DE ACCESO.....	25
2.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	26
3. MARCO GEOLÓGICO	28
3.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL	28
3.1.1 Tectónica	28
3.1.2 Eventos magmáticos.....	31
3.2 MARCO GEOLOGICO LOCAL	32
3.3 MINERALIZACIONES Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA	36
4. RESULTADOS.....	40
4.1. LITOLOGÍAS AFLORANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	40
4.1.1 Neis de Bucaramanga – Precámbrico	42
4.1.2 GRANITOIDES - Triásico-Jurásico	47
4.1.3 Rocas Porfíricas - Neógeno	56
4.2 GEOQUÍMICA EN ROCA TOTAL.....	62

5. CONCLUSIONES	72
6. RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS.....	79
ANEXO 1. CATALOGO DE MUESTRAS.....	80
ANEXO 2. CATALOGO PETROGRÁFICO.....	96
ANEXO 3. RESULTADOS DE ANALISIS DE DIFRACCIÓN X (DRX).....	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas y condiciones bajo las cuales se realizaron los análisis de DRX, utilizando un difractómetro de polvo marca SIEMENS modelo D500.	20
Tabla 2. Condiciones técnicas del equipo utilizado para DRX	21
Tabla 3. Clasificación de las rocas del área de estudio con su respectiva localización	41
Tabla 4. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas metamórficas (Neis biotítico) y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicoles paralelos e Izquierda: nicoles cruzados)	45
Tabla 5. Fases minerales presentes en las rocas pertenecientes al Neis de Bucaramanga (Muestras BLV-27-1 y BLV-27-2).....	46
Tabla 6. Muestras pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico	48
Tabla 7. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas ígneas pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicoles paralelos e Izquierda: nicoles cruzados)	53
Tabla 8. Fases minerales presentes en las rocas pertenecientes a las rocas del grupo de los granitoides (Muestras BLV-25-1, BLV-26-1 y BLV-28-3).....	54
Tabla 9. Muestras pertenecientes al grupo de los pórfidos del Neógeno	56
Tabla 10. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas ígneas pertenecientes al grupo de los Pórfidos del Neógeno y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicoles paralelos e Izquierda: nicoles cruzados)	60
Tabla 11. Fases minerales de las rocas porfiríticas del Neógeno.....	61
Tabla 12. Muestras analizadas mediante geoquímica de elementos MMT	63
Tabla 13. Geoquímica de roca total de las muestras ígneas	63
Tabla 14. Resultados de los análisis de Geoquímica de roca total (Composición de Elementos Traza).....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Microscopio NIKON ECLIPSE E200 50/POL, utilizado para el presente estudio (Laboratorio Microscopía óptica, Escuela de Geología, UIS)	19
Figura 2. Localización Geográfica de la Mina Reina de Oro “El Volcán” - Municipio de Vetas, Santander. Fuentes: http://www.google.com.co/imgres?q=santander . Modificado de Ward et al. (1970)	24
Figura 3. Vías de acceso al Municipio de Vetas, Santander. Fuente: Google Maps http://maps.google.es/	25
Figura 4. Ubicación de la Quebrada El Volcán en el área de estudio. Fuente: Croquis del Municipio de California y Vetas, Santander, Colombia. Ward et al. (1970)	27
Figura 5. A. Esquema tectónico del Departamento de Santander y B. Esquema estructural del Departamento de Santander. Fuente: Modificado de Memoria explicativa del Departamento de Santander. Clavijo y Royero (2001)	30
Figura 6. Mapa Geológico de la zona de estudio. Modificado de Cuadrángulo H13 Pamplona-INGEOMINAS.....	33
Figura 7. Vista de afloramiento de rocas metamórficas pertenecientes al Neis de Bucaramanga, Estación de trabajo BLV-27.	35
Figura 8. Vista de afloramiento de rocas ígneas pertenecientes al área de estudio, Estación de trabajo BLV-25.....	36
Figura 9. Esquema de localización de las estaciones de muestreo. Modificado de Ward et al. (1970).	41
Figura 10. Textura Granolepidoblástica en Neis Biotítico del Neis de Bucaramanga. Qz=cuarzo y Bt= biotita	44
Figura 11. Muestras de mano de rocas pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico. Las denominaciones de las litologías se encuentran incluidas en la Tabla 6.	50
Figura 12. Plagioclasa maclada, con microfracturas rellenas de óxidos de Fe y sericitizada. Muestra BLV-25-1. Pl= plagioclasa.....	51
Figura 13. Rocas porfíricas del Neógeno	57

Figura 14. A, B Plagioclasa maclada, C, D Plagioclasa zonada en Muestra BLV-26-2 y E,F Plagioclasa con alteración sericítica. Pl=plagioclasa, Qz=cuarzo y Bt=biotita.....	58
Figura 15. Mapa de estaciones de muestreo. Esquema de fondo, modificado de Ward et al, (1970)	62
Figura 16. Diagrama test de alteración. Davies and Whitehead (2006)	65
Figura 17. Clasificación de rocas ígneas. Diagrama Zr/TiO ₂ vs Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977) Minpet 2.0	67
Figura 18. Diagrama Ta vs Yb, Pearce et al. (1984).	68
Figura 19. Diagrama multielemento normalizado al manto primitivo. McDonough et al. (1989).....	69
Figura 20. Diagrama de normalización respecto al condrito – Sun and McDonough (1989).	70

ANEXOS

ANEXO 1. CATALOGO DE MUESTRAS.

ANEXO 2. CATALOGO PETROGRÁFICO

ANEXO 3. RESULTADOS DE ANALISIS DE DIFRACCIÓN X (DRX)

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS, PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA 'REINA DE ORO' (MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA)*

AUTOR: Sandra Milena Sánchez Avila. **

PALABRAS CLAVES: Alteración hidrotermal, propilítica, sericitica, argílica y argílica avanzada, estilos porfiríticos, mineralización epidermal.

DESCRIPCIÓN: El estudio geológico realizado en el tramo comprendido entre el casco urbano del Municipio de Vetas y la Mina El Volcán (hoy conocida como Reina de Oro), permitió reconocer la presencia de rocas metamórficas del Gneis de Bucaramanga (edad Precámbrico, rocas ígneas graníticas del evento magmático Triásico Tardío-Jurásico Temprano, y rocas de textura porfirítica del Neógeno.

Apoyados en análisis de laboratorio como microscopía óptica y difracción de rayos X, se determinó la presencia de alteraciones hidrotermales, tipo propilítica (clorita-epidota-albita), sericitica (serita-cuarzo-pirita), argílica (minerales del grupo de la caolinita) y argílica avanzada (alunita hipógena). Adicionalmente se realizaron análisis geoquímicos de roca total, dando como resultado que las rocas ígneas en general del Triásico-Jurásico, así como las del Neógeno, se formaron en un ambiente de subducción, en un contexto tectónico de emplazamiento de tipo arco volcánico según el diagrama Ta vs Yb (Pearce *et al.*, 1984).

Finalmente, la evidencia encontrada de alteraciones hidrotermales tanto sericitica como propilítica, indican ambientes de alteración propias de estilos de mineralización porfirítica, por otra parte las alteraciones argílica y argílica avanzada (hipógenas), apunta a ambientes propios de estilo de mineralización epidermal; tal como ha sido reportado en trabajos anteriores para otras zonas del Distrito Minero de Vetas-California.

*Trabajo de grado, modalidad investigación

**Facultad de Ingenierías Físico-química. Escuela de Geología. Director: PhD Luis C. Mantilla F.
Co-director: MSc. Jesús H. Mendoza.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE LITHOLOGY AND HYDROTHERMAL ALTERATIONS RELATED, PRESENT IN THE SECTION BETWEEN VETAS MUNICIPALITY AND THE 'REINA DE ORO' MINE. (SANTANDER MASSIF-COLOMBIA)*

AUTHOR: Sandra Milena Sánchez Avila. **

KEY WORDS: Hydrothermal alteration, **propylitic**, sericitic, argillic, advanced argillic, porphyritic style, epithermal mineralization.

DESCRIPTION: In this geological study in the section between Vetas and the 'El Volcan' mine (known as 'Reina de oro' mine), were recognized metamorphic rocks of the Bucaramanga Gneiss (Precambrian age), granitic igneous rocks (Late Triassic-Early Jurassic age) and igneous rocks with porphyritic texture (Neogene age).

Supported by laboratory analysis (optical microscopy and X-ray diffraction), were determined hydrothermal alterations such as propylitic (chlorite-epidote-albite), sericitic (sericita-quartz-pyrite), argillic (minerals of the kaolinite group) and advanced argillic (hypogene alunite). Also, were made geochemical analyzes where the igneous rocks of the Triassic-Jurassic age and the igneous rocks of the Neogene age show that they were formed in a subduction setting, in a tectonic context of volcanic arc type, according to the diagram Ta vs. Yb (Pearce et al., 1984).

Finally, the evidence of the hydrothermal alterations found in the sector of study indicate settings of a porphyritic mineralization style (sericitic and propylitic alterations) and settings of an epithermal mineralization style (argillic and advanced argillic (hypogenes) alterations). It has been reported in previous studies for other areas in the Vetas-California Mining District.

*Graduation Project, Research Modality

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Ph. D Luis C. Mantilla F.
Co-director: Ms. Sc. Jesús H. Mendoza.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta éste trabajo de tesis de pregrado Modalidad Investigación, para estudiar las litologías aflorantes en el tramo objeto de estudio; desde el punto de vista mineralógico-petrográfico y geoquímico; y las alteraciones hidrotermales asociadas. Además de realizar una contribución al conocimiento sobre la geología del Distrito Minero de Vetas-California y sobre la metalogénesis del oro en el distrito.

El área objeto del presente estudio se localiza en Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia), en inmediaciones al Municipio de Vetas (Distrito Minero Vetas-California, Departamento de Santander). El tramo o segmento aquí estudiado, alcanza una longitud aproximada de 1km, y se localiza en la margen este de la Quebrada el Volcán, siguiendo el trayecto de la carreteable que comunica el casco urbano del Municipio de Vetas y la Mina El Volcán (también conocida como mina Reina de Oro). A lo largo de éste drenaje de dirección NW-SE, se localizan algunos socavones desarrollados para la extracción de material rocoso mineralizado, rico en metales preciosos. El área de mayor importancia en éste tramo, por su historia minera, es la Mina El Volcán.

Este trabajo bajo el auspicio y la dirección técnica del grupo de investigación MINPETGEO (Mineralogía, Petrología y Geoquímica), hoy llamado grupo de investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA), adscrito a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Estudiar las litologías y las alteraciones hidrotermales asociadas, presentes en un tramo de ~1 km de longitud, localizado a lo largo de la Quebrada el Volcán (Municipio de Vetas, Macizo de Santander, Cordillera Oriental de Colombia), para fines de contribuir al conocimiento de la metalogénesis del oro en el Distrito Minero de Vetas-California.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio mineralógico y petrográfico de las rocas aflorantes.
2. Realizar análisis geoquímicos (especialmente de elementos mayores, menores y trazas) de las litologías ígneas con el fin de clasificar y determinar el contexto tectónico de emplazamiento de los magmas relacionados genéticamente a éstas.
3. Identificar y documentar los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales que han afectado las litologías aflorantes apoyados en análisis macroscópicos, microscopía óptica y DRX, con el fin de contribuir al conocimiento de los posibles estilos de mineralización y las condiciones físico-químicas de su formación.
4. Establecer a la luz de los nuevos datos, la temporalidad relativa de los eventos geológicos identificados en el área de estudio.

1.2 METODOLOGIA

Para el logro de los objetivos antes mencionados, se pretende seguir una metodología convencional, la cual se compone de las siguientes fases: Oficina (búsqueda y análisis de la información existente), Campo (toma de muestras y datos georeferenciados), Laboratorio, Interpretación de datos y elaboración del documento técnico final (trabajo de tesis de pregrado). Debido a la importancia en la obtención de nuevos datos, a continuación se documenta de manera más amplia, lo relacionado con el método de trabajo.

Fase de campo

Para esta fase se tiene en cuenta la colaboración de los estudiantes de la asignatura de Campo II del segundo semestre de 2010 y de los docentes Luis Carlos Mantilla Figueroa y Jesús Hernando Mendoza (Director y Codirector de esta Tesis de Grado respectivamente), quienes realizaron el muestreo y toma de datos.

Sin embargo, se realiza una visita a campo en el Municipio de Vetas con el fin de hacer un reconocimiento del área y puntos de control, de la procedencia del muestreo realizado con anterioridad en las 5 estaciones.

Fase de laboratorio

Durante la fase de laboratorio, se realizó: (a) la descripción macroscópica de las muestras colectadas previamente en la fase campo, (b) los análisis de microscopía óptica, (c) la identificación de las fases minerales presentes en las muestras de roca, mediante análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y (d) análisis geoquímicos de las rocas. A continuación se describe las condiciones en las

cuales se realizaron los respectivos análisis de laboratorio, y las características de los equipos analíticos utilizados.

Durante el proceso de descripción macroscópica de las muestras y análisis de microscopía óptica, se documentó, entre otros rasgos, el color, la composición mineralógica de las rocas y sus rasgos estructurales y texturales. Para apoyar ésta descripción, se utilizó una LUPA BINOCULAR marca NIKON N1-150, Modelo C-PS, localizada en el Laboratorio de Lupas de la Escuela de Geología (Universidad Industrial de Santander).

Para los análisis microscópicos de las muestras; realizados especialmente en láminas delgadas (elaboradas según el método convencional para estudios petrográficos de muestras de roca); se utilizó un microscopio óptico de luz transmitida, marca NIKON ECLIPSE E200 50/POL (Figura 1), con cámara digital y pantalla incorporada, tipos Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1, respectivamente. Durante los análisis de microscopía óptica, se documentaron en mayor detalle, las características mineralógicas y petrográficas de las rocas estudiadas.



Figura 1. Microscopio NIKON ECLIPSE E200 50/POL, utilizado para el presente estudio (Laboratorio Microscopía óptica, Escuela de Geología, UIS)

Para la realización de los análisis de DRX, se utilizó una Trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI y un Mortero de Agatha RM100 RETSH (Laboratorio de trituración, Molienda, Tamizado, División de muestras y pulverización de la Escuela de Geología - Universidad Industrial de Santander), para obtener un agregado en polvo, que posteriormente se montó en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal, y seguidamente se llevó al equipo para su correspondiente análisis. El equipo de DRX utilizado, es un difractómetro de polvo marca SIEMENS modelo D500. Las condiciones bajo las cuales se realizaron los análisis de difracción de rayos X, se indican en la Tabla 1

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Voltaje	40(kV)
Corriente	30(mA)
Rendija de divergencia	0.15mm
Rendija Soller Primario	2°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Monocromador	Grafito
Detector	Centelleo
Tipo de barrido	Continuo
Tiempo de muestreo	1 segundo

Tabla 1. Especificaciones técnicas y condiciones bajo las cuales se realizaron los análisis de DRX, utilizando un difractómetro de polvo marca SIEMENS modelo D500.

Los resultados obtenidos fueron cualitativos y cuantitativos, respaldados del respectivo difractograma; una vez obtenido este, se realizó la revisión de la información cualitativa, comparando el perfil observado con los perfiles de difracción que se encuentran en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD). En cuanto al analisis cuantitativo este se realizó mediante el refinamiento siguiendo el método Método de Rietveld de los perfiles observados añadiendo a las muestras una cantidad conocida de un estándar interno (Aluminium oxide-100 mesh, 99% α -phase. Aldrich No. 23,474-5) correspondiente al 20%.

La porción de cada muestra seleccionada fue montada en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal. El equipo utilizado fue un difractómetro de polvo marca Panalytical modelo X'PERT PRO MPD, bajo ciertas condiciones que se pueden verificar en la Tabla 2.

Voltaje	45(kV)
Corriente	40(mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (Incidencia y Difracción)
Rendijas Fijas	1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)
Muestreo	0.013° 2theta
Rango de Medición	4-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Filtro	Ni
Detector	de estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos
Tipo de barrido	Continuo

Tabla 2. Condiciones técnicas del equipo utilizado para DRX

Los análisis geoquímicos de roca total, se realizaron para cuantificar el contenido de elementos mayores, menores y trazas (MMT), los cuales son de una gran ayuda para clasificar la roca y poder establecer entre otros aspectos ambientes tectónicos de emplazamiento de sus magmas genéticamente relacionados.

Las muestras seleccionadas para los análisis geoquímicos de roca total fueron enviadas para su preparación a la sede del laboratorio '**ALS Laboratory**', localizada en la ciudad de Bogotá. Las muestras se analizaron mediante el paquete analítico ME-MS41.

La preparación de las muestras (5 en total), comienza con la partición de las mismas hasta llevarlas a un tamaño de 6mm y posteriormente llevarlas a un molino para su trituración y pulverización hasta alcanzar un tamaño de 75 micrones. Posteriormente, cada muestra triturada y pulverizada, pasa por un proceso de digestión en una mezcla de ácido nítrico y clorhídrico, preparada a 1 gramo de muestra, esto para los análisis de múltiples elementos.

Para los análisis de elementos traza y REE las muestras llevan otra preparación que consiste en la mezcla de la misma con borato de litio para solubilizar la mayoría de los elementos incluyendo los altamente refractarios.

El análisis de óxidos (elementos mayores) se realizó mediante fluorescencia de rayos X, preparando la muestra con borato de litio, dejando como excepción el análisis de FeO ya que para este óxido se hace digestión ácida de H₂SO₄-HF. Luego de preparar las muestras para su análisis se procede a aplicar la técnica de ICP-MS (espectrómetro de masa con fuente de plasma de acoplamiento inductivo).

Fase de oficina

En esta fase se recopilan los resultados obtenidos en los análisis para su interpretación y así elaborar un informe escrito para optar al título de Geóloga de la Escuela de Geología, adscrita a la Universidad Industrial de Santander.

Interpretación geoquímica

De acuerdo a los análisis de elementos mayores, menores y trazas se procede a introducir esta información en diagramas tales como: a) Diagrama test de alteración (Davies and Whitehead 2006), para mostrar la re-movilización de elementos, b) Diagramas de clasificación de rocas ígneas, c) Diagramas normalización al manto primitivo y al condrito.

2. GENERALIDADES DE LA REGIÓN

2.1 LOCALIZACION

El área de estudio abarca un segmento o tramo de aproximadamente 1 Km de longitud, localizado en el margen este de la Quebrada El Volcán (Municipio Vetas, Macizo de Santander), siguiendo el trayecto de la carretable que comunica el casco urbano del Municipio de Vetas con la Mina El Volcán (también conocida como Reina de Oro, ver Figura 2). Éste segmento, se proyecta en el extremo SE de la plancha topográfica 110-I-C (a escala 1:25.000), según la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La cota del tramo estudiado, oscila entre 3310 y 3380 msnm.

Se tiene un área aproximada a 1Km, dentro del rectángulo formado por las coordenadas:

X1: 1.301.340

X2: 1.301.897

Y1: 1.134.040

Y2: 1.134.322

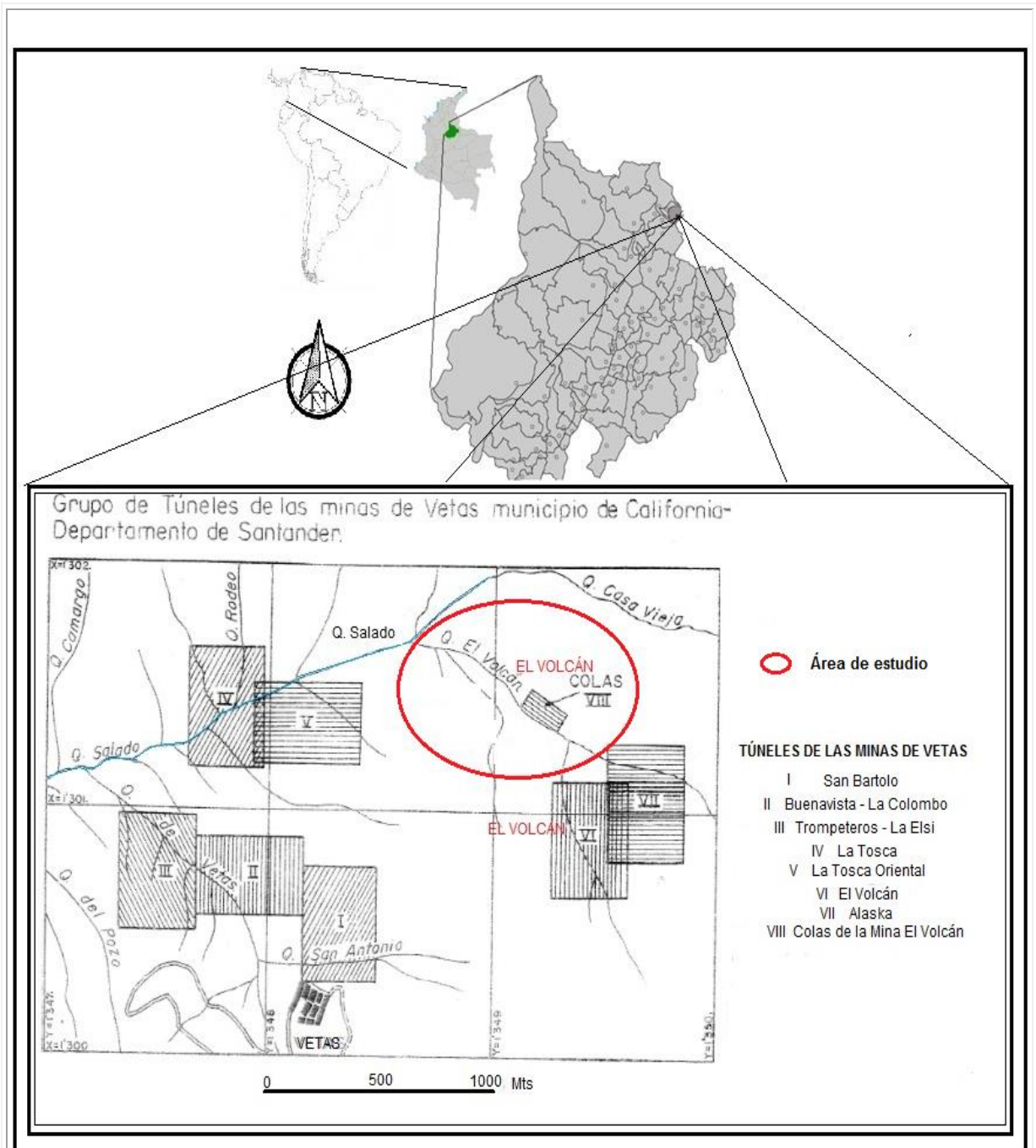


Figura 2. Localización Geográfica de la Mina Reina de Oro “El Volcán” - Municipio de Vetas, Santander. Fuentes: <http://www.google.com.co/imgres?q=santander>. Modificado de Ward *et al.* (1970)

2.2 VIAS DE ACCESO

Para acceder al área de estudio se cuentan con dos vías de acceso: a) Vía Bucaramanga-Matanza-Suratá-California-Vetas (localizada a 52 Km al noreste de Bucaramanga) y b) Vía Bucaramanga-Berlín-Vetas (localizada a 85 Km al noreste de Bucaramanga por la vía nacional que conduce a la ciudad de Cúcuta), ver Figura 3.



2.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Las temperaturas del área de estudio, oscilan entre los 6 y 17°C en promedio. La humedad en el área de estudio, así como lo es para el área del Municipio de Vetas, es relativamente alta y los suelos son ricos en materia orgánica pero pobre en nutrientes, con fertilidad baja a muy baja. (Tomado de: Plan de ordenamiento y manejo ambiental Subcuenca (POMCA) Río Suratá-CDMB, 2008).

Se tiene un relieve montañoso predominante en la zona de estudio, de pendiente media a alta, cuya vegetación consiste generalmente de árboles y arbustos de baja a media altura. Las zonas de drenaje se caracterizan por valles estrechos y moderada susceptibilidad a la erosión, por otra parte las zonas de pendiente más elevada, conservan relieves quebrados y algo escarpados dejando al descubierto afloramientos rocosos.

Desde el punto de vista hidrográfico, la Quebrada Vetas (Figura 4) se encuentra atravesando el área de estudio, y se constituye como el drenaje de referencia más importante para este trabajo de investigación, el cual desemboca al río Vetas. Éste último, a su vez desemboca al río Suratá. Por esta razón, el área de estudio se considera parte de la subcuenca del río Suratá, tal como se documenta en el informe POMCA - Subcuenca Suratá de la CDMB (2008).

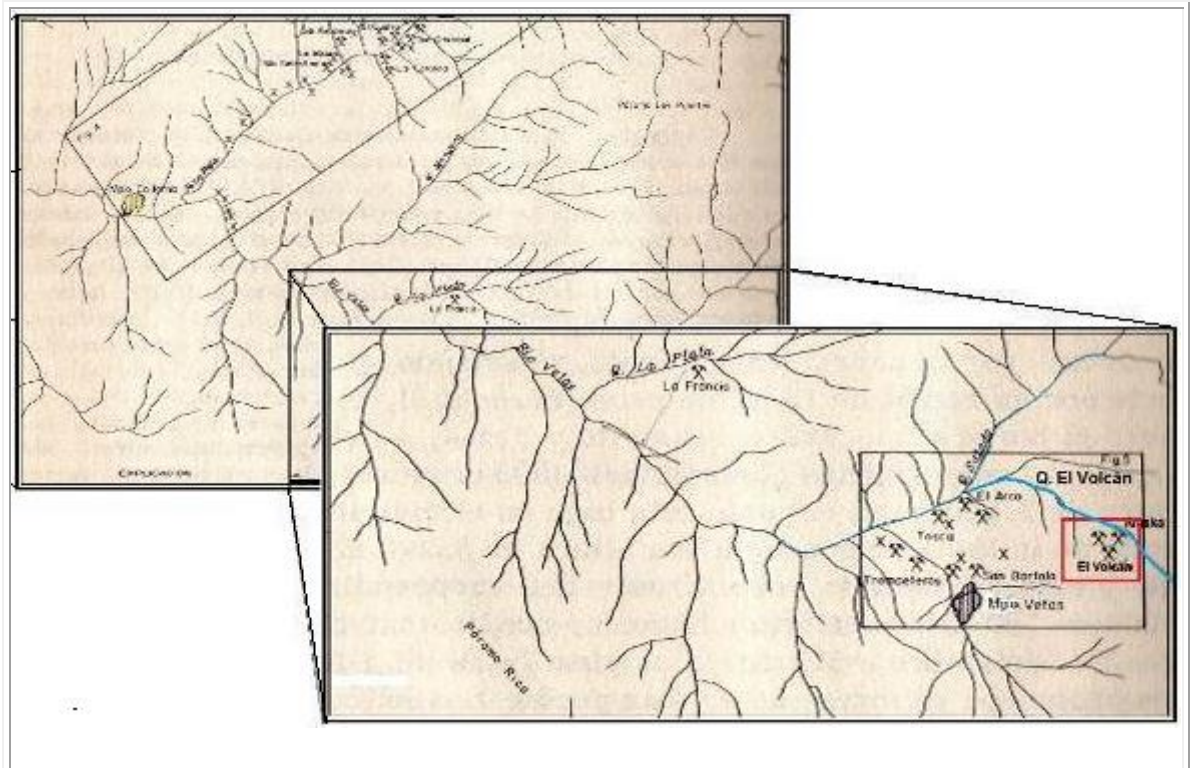


Figura 4. Ubicación de la Quebrada El Volcán en el área de estudio. Fuente: Croquis del Municipio de California y Vetas, Santander, Colombia. Ward *et al.* (1970)

3. MARCO GEOLÓGICO

Con el propósito de contextualizar el área de estudio, en el marco de la geología regional y local, a continuación se resume lo relacionado con estudios geológicos anteriores que han contribuido al conocimiento de la zona. Adicionalmente en el marco geológico regional se presentarán rasgos importantes encontrados en la zona objeto de este estudio.

3.1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Desde el punto de vista de las litologías aflorantes en el Macizo de Santander y su relación con el objeto de estudio (Municipio de Vetas), es importante resaltar: a) la presencia del Gneis de Bucaramanga llamado así por Ward *et al.*, (1973) y posteriormente conocido como Complejo de Bucaramanga, según Clavijo, (2001); b) el magmatismo del Paleozóico Inferior (Ward *et al.*, 1973), c) el conjunto plutónico de Santander (de edad Triásico-Jurásico); d) la sedimentación de ambiente transicional y marina del Cretácico y e) el magmatismo asociado al Mioceno Tardío (Ward *et al.*, 1973; Clavijo y Royero, 2001, Mantilla *et al.*, 2011).

3.1.1 Tectónica

El Macizo de Santander limita al oeste con la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al este con el sistema de fallas Pamplona-Cubogón-Mercedes (Clavijo y Royero, 2001). El Distrito Minero de Vetas-California, se localiza en una posición relativamente esquinera, dentro del denominado Bloque de Maracaibo, el cual está delimitado por las fallas de Bucaramanga-Santa Marta, La Falla Boconó (la cual

sigue un trazo paralelo a los Andes de Mérida) y la Falla de Oca al Norte (Mantilla *et al.*, 2011).

El Departamento de Santander se encuentra localizado en el oriente del país, lo cual lo ubica en una región tectónica bastante compleja con influencia de límites entre placas tectónicas, de acuerdo a esto se ha realizado una división en cuatro bloques, donde la zona de estudio se ubica en el Bloque Ocaña, el cual se caracteriza un estilo estructural de fallamiento en bloques menores (Clavijo y Royero, 2001), con predominio de rocas ígneas de edad Triásico-Jurásico y rocas metamórficas de edad Precámbrico y Paleozoico. (Ver figura 5A)

En cuanto a estructuras el área del proyecto se encuentra con predominio de fallas regionales pueden haber tenido algún control sobre la mineralización de oro y sulfuros, de tal forma los sistemas de fallas del Distrito Minero de Vetas y California no han sido cartografiados con detalle, en general las fallas del área tienen rumbo N-NE. Sin embargo, uno de los rasgos estructurales más representativos sin duda en la zona de objeto de este estudio es el Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta (Ver figura 5B), que se ha catalogado como una falla de rumbo y de movimiento sinistral (Ward *et al.*, 1973), de tal forma se describen a continuación algunas fallas que se encuentran adyacentes a este sistema.

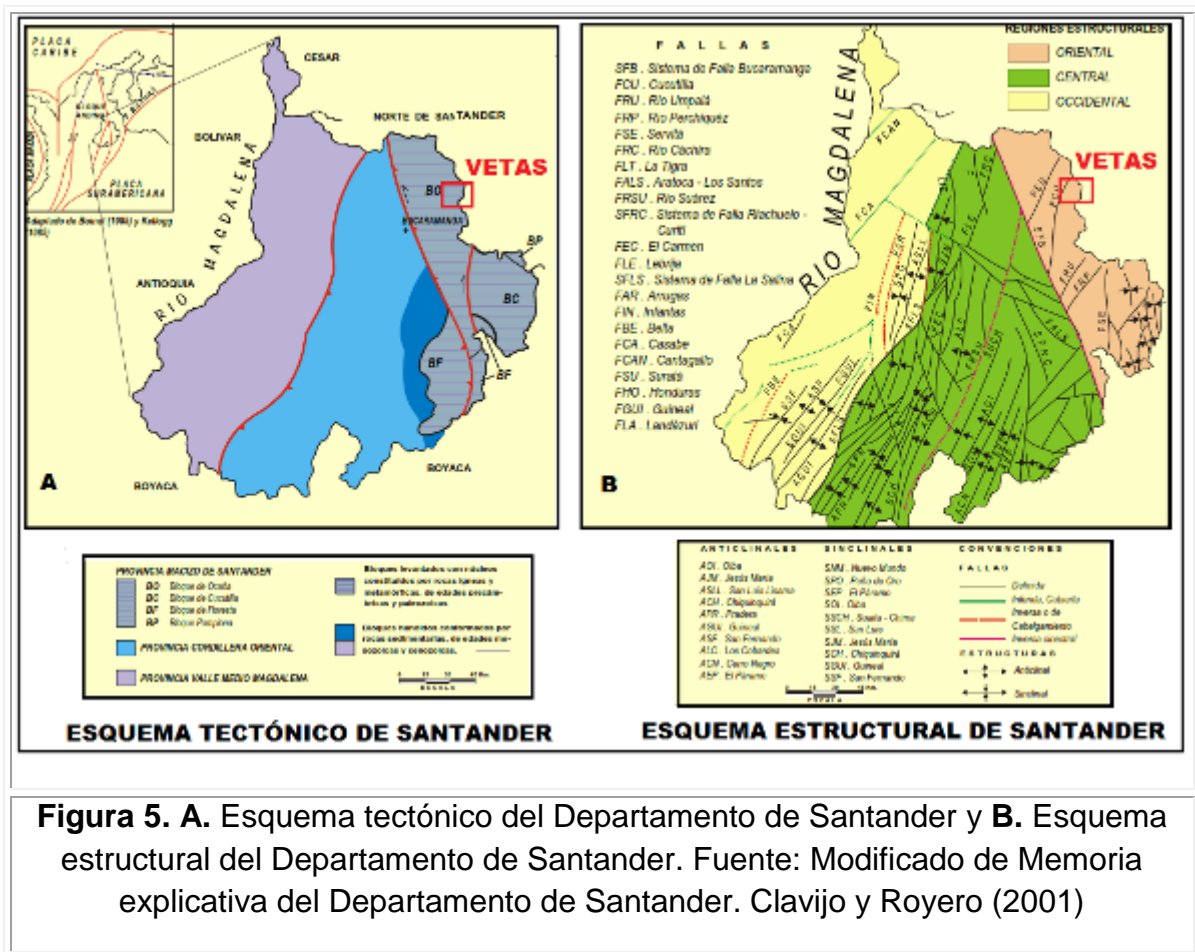


Figura 5. A. Esquema tectónico del Departamento de Santander y B. Esquema estructural del Departamento de Santander. Fuente: Modificado de Memoria explicativa del Departamento de Santander. Clavijo y Royero (2001)

Hacen presencia e influencia en la zona objeto de este estudio la Falla del Salado, que hace parte del sistema NE-SW, a lo largo de la quebrada que lleva el mismo nombre, acompañada además de una gran cantidad de diaclasas y fracturas con dirección NE-SW que se presentan en toda la región.

También se presenta la influencia de la Falla el Volcán, con rumbo de N30W y atraviesa el este de Vetás (Lasprilla y Lozano 2000), que corresponde a una falla normal de alto ángulo y su trazo pasa por la quebrada Reina de Oro.

3.1.2 Eventos magmáticos

Desde el punto de vista del conocimiento de la historia magmática del Macizo de Santander, es importante resaltar que estudios geológicos previos (Goldsmith *et al.*, 1973, Polania, 1982, Dörr *et al.*, 1995), permiten identificar mínimamente cinco eventos magmáticos:

1. Un evento relacionado con inyecciones de fundidos graníticos, responsables de la formación de plutones y pegmatitas, al cual se le asigna una edad K-Ar entorno a 461 ± 10 Ma, a partir del estudio de una muscovita de una pegmatita (Ward *et al.*, 1973);
2. Un evento granítico, responsable de la formación de la Monzonita de Onzaga, con una edad reportada entorno a 394 ± 23 Ma (Ward *et al.*, 1973)
3. Un evento magmático de composición entre diorita a granítico, responsable de la formación de batolitos y plutones, tales como los cuerpos ígneos de Páramo Rico, Santa Bárbara, Pescadero, Mogotes, Rionegro, entre otros, agrupados dentro del denominado Grupo Plutónico de Santander. Las edades Rb-Sr y U-Pb obtenidas para estos cuerpos, relacionan estas litologías con un importante evento magmático que tuvo lugar hace unos 210 Ma (Triásico) (Ward *et al.*, 1973; Polania, 1980, Dörr *et al.*, 1995).
4. Un evento magmático responsable de la formación posiblemente simultánea de diques riolíticos y de diabasas (magmatismo bimodal?), al parecer del Cretácico Inferior, tomando como referencia algunas dataciones K-Ar en sanidinas obtenidas a partir de diques porfiríticos del sector de Ocaña (127 ± 3 Ma) (Ward *et al.*, 1973). Este evento es relativamente especulativo, debido a la poca información existente;

5. Un evento magmático de posible edad Finicretácico-Eoterciario, con una edad entorno a 57 ± 10 Ma, según extrapolación de las edades Re-Os obtenidas a partir de concentrados de piritas de filones auríferos de las minas La Plata en el Municipio de California y El Volcán en el Municipio de Vetas, (Mathur *et al.* 2003).

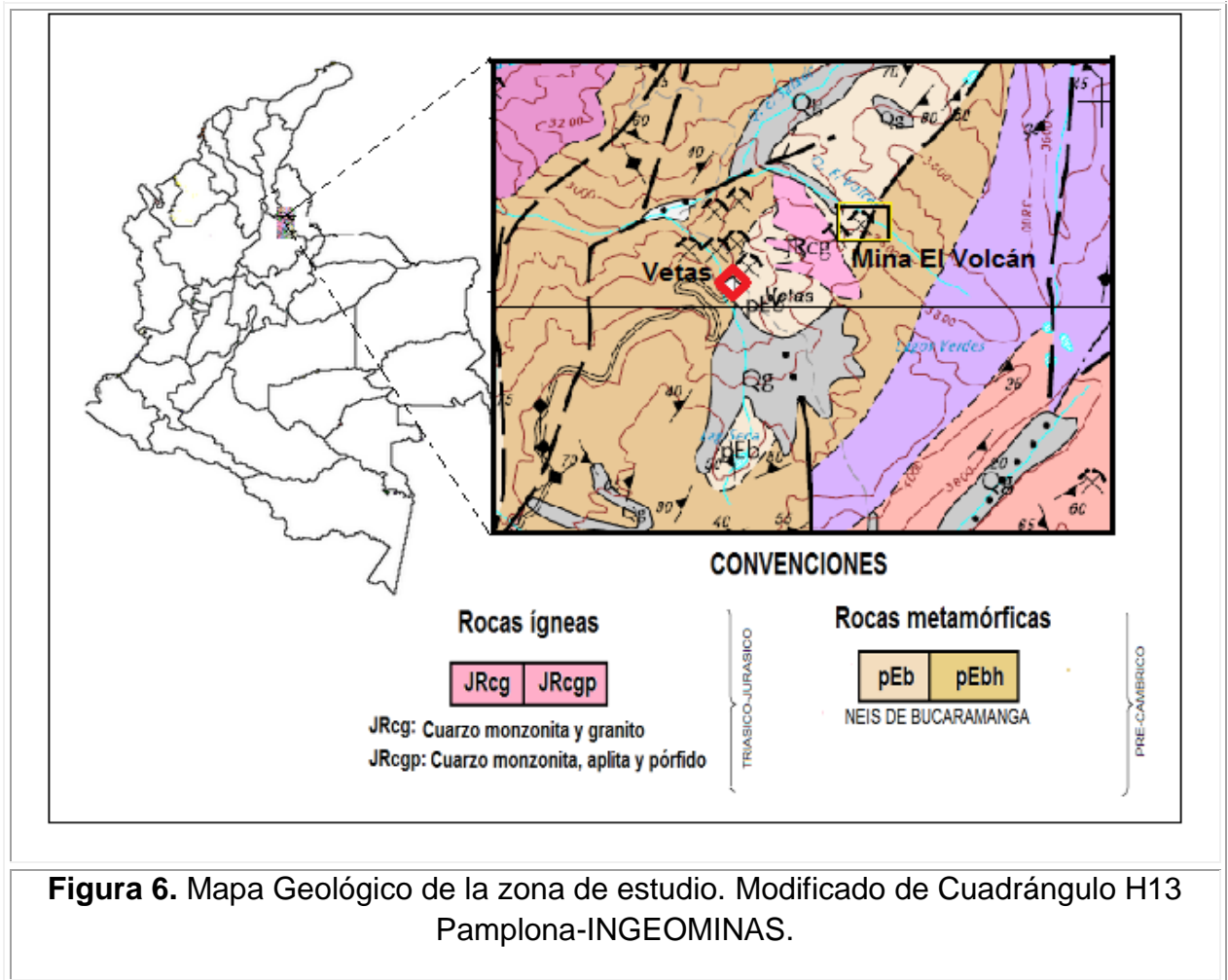
Estudios geocronológicos recientes, U-Pb en circones, realizados por Mantilla *et al.*, (2009 y 2011), apuntan a la existencia de un pulso magmático de edad Mioceno Tardío (entre 10.9 y 8.4 ± 0.2 Ma), reconocido por ahora en el distrito minero de Vetas y California, mediante la presencia de diques y cuerpos de rocas porfiríticas que no sobrepasan un kilómetro cuadrado de exposición. Por otro lado, estos autores ponen en duda la edad del evento magmático reportado por Mathur *et al.*, (2005).

En resumen, en el Distrito Minero de Vetas-California, las rocas ígneas reconocidas hasta la fecha, se han relacionado con eventos magmáticos del Ordovícico Medio (posibles pegmatitas datadas en otras áreas del Macizo, entorno a 461 ± 10 Ma), las rocas Graníticas del Triásico-Jurásico y las rocas porfiríticas del Mioceno (Ward *et al.*, 1973; Mantilla *et al.*, 2011).

3.2 MARCO GEOLOGICO LOCAL

El área de estudio presenta predominancia de dos tipos de roca: 1) Rocas metamórficas de edad Precámbrico correspondientes al Neis de Bucaramanga y 2) Rocas ígneas de edad Triásico-Jurásico representadas por cuerpos graníticos,

granodioríticos y 3) Rocas ígneas del Neógeno representadas por pórfidos (?), ver Figura 6.



Uno de las publicaciones más importantes en el área de estudio en cuanto a aspectos geológicos locales comprende la elaborada por Ward *et al.*, (1973), donde se encuentra información que ha sido de gran ayuda para este estudio y que se mencionará a continuación para cada litología.

Rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga

“Se propone aquí el nombre Neis de Bucaramanga para una secuencia estratificada de rocas metasedimentarias de alto grado metamórfico que consisten principalmente de paraneis pelítico, semi-pelítico y arenaceo; esquisto y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita”. De acuerdo a la información reportada por Ward *et al.*, (1973), se ha denominado la segunda faja o faja central del Neis de Bucaramanga, extendiéndose desde el sector de Berlín – California – Cachirí, con afloramientos bien expuestos sobre la carretera Berlín – Vetas. Por otra parte, una de las rocas más predominantes son: a) cuarcita, b) neis con biotita-feldespatocuarzo, c) neis con biotita-cuarzo-feldespatocuarzo, d) neis de sillimanita-biotita-cuarzo-feldespatocuarzo, e) con neis de muscovita—cordierita-sillimanita-cuarzo-feldespatocuarzo, entre otros, y capas de granitoides de composiciones diferentes (Modificado de Ward *et al.*, 1973).

En el sector noreste de la quebrada El Volcán, se observa la presencia de rocas metamórficas de edad Precámbrico que se correlacionan con el Neis de Bucaramanga, compuesta principalmente por un neis biotítico, que en este estudio comprende la roca caja.

En general, estas rocas se encuentran muy afectadas por erosión glacial, con alto contenido de biotita, esto en las partes altas de los cerros aledaños a las quebradas El Volcán y El Salado (Figura 7).



Figura 7. Vista de afloramiento de rocas metamórficas pertenecientes al Neis de Bucaramanga, Estación de trabajo BLV-27.

Rocas ígneas – Cuarzomonzonita, granito y pórfido cuarzoso

Se encuentran pequeñas masas de cuarzomonzonita, granito, pórfido cuarzoso y ocasionalmente granodiorita, distribuidos tanto en la formación Silgará como en el Neis de Bucaramanga en los sectores norte de los cuadrángulos H-12 y H13.

La cuarzomonzonita, aplita y pórfido cerca del Municipio de California, además, gran parte de estas rocas han sido fuertemente fracturadas, lixiviadas e impregnadas con sílice y sulfuros. En cercanías a California la presencia de rocas ígneas consta de granito o cuarzomonzonita, localmente de grano medio, con fenocristales característicos de cuarzo bipiramidal, encontrándose dos fases: a) una porfírica con fenocristales de cuarzo y feldespato y b) otra aplítica.

Estas litologías ígneas están representadas en el tramo objeto de estudio, variedades tales como: a) granitos de feldespato alcalino, b) granodioritas y c) granitos. En general el material presenta gran partición y se encuentra además fuertemente meteorizado (Figura 8).



Figura 8. Vista de afloramiento de rocas ígneas pertenecientes al área de estudio, Estación de trabajo BLV-25

3.3 MINERALIZACIONES Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA

En el distrito de Vetás y California hasta la actualidad se han realizado diferentes trabajos por parte de Ingeominas, Universidad Industrial de Santander, empresas mineras del sector en cuestión como: Greystar Resources Ltda. (hoy conocida como EcoOro Minerals Corp), Ventana Gold Corporation (hoy conocida como AUX), Galway Resources y Sociedad Minera Reina de Oro, entre otras.

La mineralización de metales preciosos y metales base en el Distrito Minero de Vetas-California, objeto de estudio por varias de las compañías presentes en el área, ha sido analizada por varios autores en diferentes trabajos como:

Sillitoe *et al.* (1982), han definido tres prospectos de depósitos porfiríticos de cobre en los Andes Colombianos, donde el Distrito Minero de Vetas-California es un sistema aurífero generado durante el Jurásico medio al Cretácico temprano con edad de 144 ± 3 Ma, en un dominio continental durante la subducción hacia el este de los Andes, ubicado en el lado oriental de la Cordillera Central y la parte occidental de la Cordillera Oriental.

Ward *et al.*, (1970), mencionan lo siguiente: “Las rocas encajantes en este distrito son un complejo de rocas metamórficas pre-Devónicas y rocas ígneas Mesozóicas”. A su vez se encuentra la presencia de diques más jóvenes compuestos por pórfidos dacíticos en cercanías a California. Al este del Municipio de California se tiene rocas muy alteradas y silicificadas, sin embargo la alteración es menor en el área de Vetas y está limitada a zonas angostas. En su publicación del año 1973, hacen referencia a la presencia de eventos post-Cretácicos en el área de Vetas-California de pórfidos dacíticos. En el distrito la mineralización se presenta esencialmente por silicificación y reemplazamiento de sulfuros, con predominio de piritita, asociado a zonas de fracturas, de cizallamiento y áreas adyacentes. Además, en la roca caja las fracturas mineralizadas contienen feldespatos fuertemente caolinitizados, los minerales máficos se encuentran lixiviados y en zonas adyacentes a zonas mineralizadas se encuentran alterados a clorita. Los granitos, aplitas y pórfidos pobres en minerales máficos comúnmente presentan piritización y silicificación. Sin embargo, no se encuentra asociación de estas características a algún estilo de mineralización en particular, pero si se indica que la mineralización en el área de Vetas-California podría ser posterior a la

aparición de los diques porfiríticos cuya edad es post-Cretácico Inferior ya que muestran estar afectados por alteración hidrotermal y la misma mineralización.

Polania (1982), relaciona la mineralización a fracturas asociadas a la Falla La Baja, donde ocurrió migración de fluidos y posteriormente formaron filones de cuarzo, por lo cual se denominó a estos depósitos como filonianos epitermales (Tipo pechblenda-pirita).

Mantilla y Mogollón (1991), mencionan en su trabajo la distribución de rocas metamórficas del Complejo Neis de Bucaramanga, además de un stock de granodiorita porfirítica (edad Cretáceo Inferior) en el área de Vetas. A su vez mencionan la existencia de un yacimiento asociado a oro y plata generado a partir de soluciones hidrotermales enriquecidas con elementos metálicos rellenando cavidades generadas por fracturas.

Galvis (1998), se refiere a la existencia de una caldera volcánica cuya estructura anular es de aproximadamente 9-10 km² que pudo originarse en un colapso, donde fallas circulares sirvieron de vía para el posterior ingreso de unos cuerpos porfiríticos reconocidos en el área de estudio y de algunas soluciones hidrotermales que al mezclarse con aguas meteóricas descendentes determinaron la alteración y las mineralizaciones del área e indica una edad post-Cretácica asociada a esta mineralización.

Mathur *et al.* (2003), reportan una edad Re-Os en piritas concentradas a partir de filones auríferos encontradas en las minas La Plata (California) y El Volcán (Vetas), que posiblemente son de la misma edad (57 ± 10 Ma), además de relacionar la mineralización de Au con un pulso magmático dacítico, haciendo mención a las rocas porfiríticas presentes en el área. También indican que

California es un ambiente de Alta sulfuración (*High Sulfidation* - HS) y que Vetas corresponde a un ambiente de Baja sulfuración (Low Sulfidation - LW).

Felder *et al.* (2005), en su informe técnico para la empresa Greystar, sintetiza las características generales del depósito Angostura, con presencia de alteraciones sericítica, propilítica, piritización, silicificación, entre otras. Además sugieren un fuerte control estructural en el desarrollo y presencia de la mineralización por el cruce de estructuras tales como venas y fallas. A su vez, esta publicación enfatiza en la existencia de un ambiente del Alta sulfuración (*High Sulfidation* - HS) relacionado con magmatismo de edad Terciario.

Mantilla *et al.* (2011), evidencian la existencia de rocas ígneas de texturas porfiríticas, asociadas con un evento magmático de edad Mioceno, a su vez las relacionan con controles tectónicos como la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y un sistema de fallas coligado a ella. Reportan específicamente que las rocas de textura porfirítica-fanerítica presentan composiciones cuarzomonzoníticas y granodioríticas, además de la presencia de alteración hidrotermal, características de eventos de tipo epitermal y porfiríticos. A su vez se realiza dataciones en dos muestras de roca mediante el método U-Pb en circones, que arrojaron los siguientes datos: 1) Andesita porfirítica: 10.1 ± 0.2 Ma y 2) Granodiorita de textura porfirítica-fanerítica: 10.9 ± 0.2 Ma, las cuales permiten inferir que esta zona del Macizo de Santander fue afectada por un pulso magmático de 2.5 Ma de duración aproximadamente.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de este estudio a partir del análisis de las litologías aflorantes donde se mencionaran las estaciones de trabajo, el muestreo realizado y sus respectivas descripciones macroscópicas. De acuerdo a su relevancia en el área de trabajo se realizaron láminas delgadas para análisis microscópico, difracción de rayos X (DRX) y geoquímica en roca total.

4.1. LITOLOGÍAS AFLORANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 9), se encuentra conformada por rocas pertenecientes al Macizo de Santander, de acuerdo a ello cinco estaciones fueron documentadas detalladamente y se recolectó un total de 12 muestras para describir y analizar (Tabla 3), con y sin alteraciones hidrotermales evidentes a escala de muestra de mano.

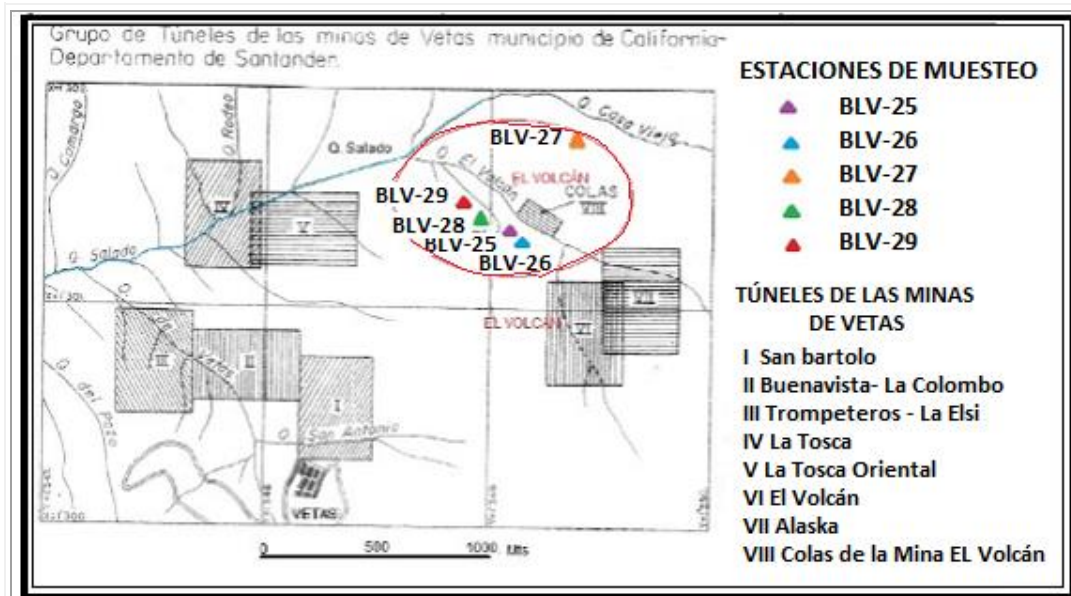


Figura 9. Esquema de localización de las estaciones de muestreo. Modificado de Ward *et al.* (1970).

ESTACIÓN	MUESTRA	COORDENADAS (m)			NOMBRE
		X	Y	Z	
BLV-25	BLV-25-1	1.301.340	1.134.040	3380	Granito
	BLV-25-2				Granito (Granito feldespato alcalino)
	BLV-25-3				Granito (Granito feldespato alcalino)
	BLV-25-4				Granito (Monzogranito)
BLV-26	BLV-26-1	1.301.302	1.134.149	3374	Granito de feldespato alcalino
	BLV-26-2				Granito Porfírico
BLV-27	BLV-27-1	1.301.897	1.134.322	3418	Neis Biotítico
	BLV-27-2				Roca metamórfica con silicificación
	BLV-27-3				Roca silicificada (vena cuarzo)
BLV-28	BLV-28-1	1.301.433	1.133.870	3353	Granitoide rico en cuarzo
	BLV-28-3				Granito (Sienogranito)
BLV-29	BLV-29-1	1.301.515	1.133.702	3344	Pórfido

Tabla 3. Clasificación de las rocas del área de estudio con su respectiva localización

A lo largo del tramo estudiado, se reconocen fundamentalmente dos litologías: una de tipo metamórfica y otra de tipo ígnea (TABLA 4). Las rocas metamórficas, se han correlacionado con el Complejo metamórfico de Bucaramanga (en términos de Clavijo, 2001) o como el Gneis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973), la cual se considera el producto de la orogenia Grenviliiana (Restrepo-Pace *et al.* 1997).

Entre las rocas ígneas aflorantes, se han diferenciado dos eventos diferentes (en contraste con lo reportado en trabajos anteriores, por ejemplo en Ward *et al.*, 1973): a) uno correspondiente con granitoides de grano fino-medio y b) otro de textura porfirítica (ampliamente denominado aquí como rocas porfiríticas). A continuación se hace una descripción detallada de estas litologías.

4.1.1 Neis de Bucaramanga – Precámbrico

Macroscópicamente estas litologías metamórficas presentan una textura granolepidoblástica, con una alternancia de agregados finos ricos en biotita y un agregado grueso cuarzo-feldespático que definen un bandeamiento composicional, además presenta estructura néisica, tamaño de grano grueso, de color marrón claro, no muy fresco y meteorizado. Los minerales presentes (composición modal) en la roca son: cuarzo (28%), plagioclasa (15%), biotita (50%), óxidos (1%) y sericita (1%), cuya descripción se puede ver más a detalle en el ANEXO 1 (Catálogo de muestras).

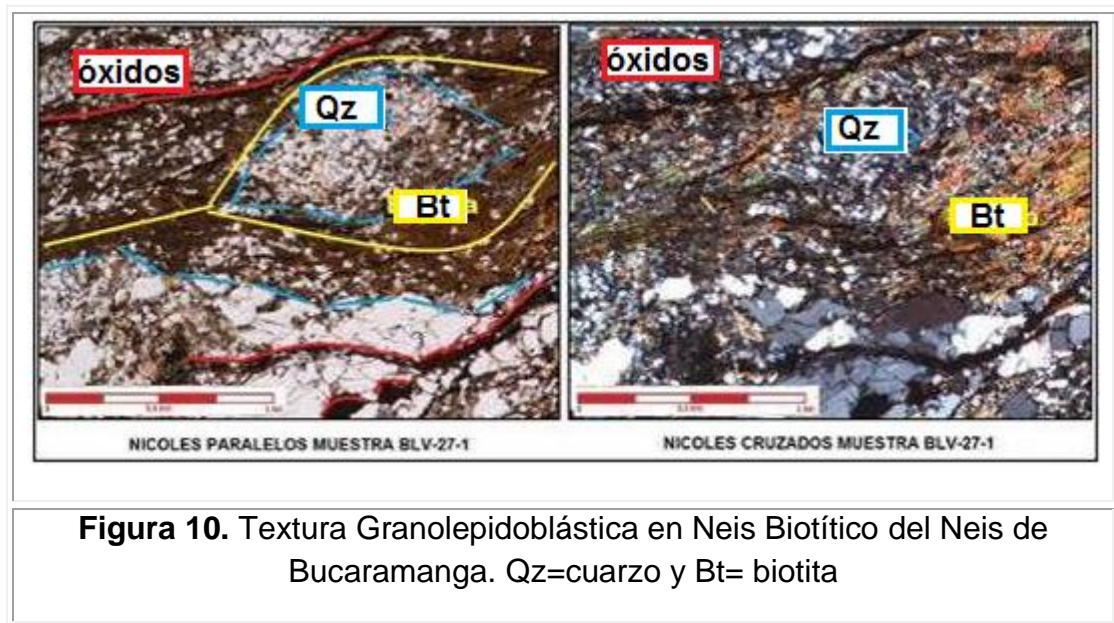
Desde el punto de vista microscópico (análisis realizados mediante microscopio óptico de luz reflejada y transmitida), la roca presenta textura granolepidoblástica (Figura 10), se observa una orientación preferente única de los cristales de biotita

(lo cual implica la posible existencia de varios eventos tectonotermiales sobreimpuestos). Como componente principal está la biotita (50%), de color parduzco a marrón, en láminas subhedrales a anhedrales. Puede presentarse como pequeñas inclusiones en el cuarzo o plagioclasa.

El cuarzo (20%), se presenta siempre en cristales anhedrales, con extinción ondulatoria por efectos deformativos en la roca, muchos cristales tienen microfracturas que pueden estar rellenas de sericita, también suelen aparecer en ocasiones pequeñas inclusiones de biotita (esto evidencia la existencia de varias generaciones de cuarzo). La plagioclasa (15%), está presente como pequeños cristales anhedrales, se encuentra fuertemente sericitizada, sin embargo, esta alteración ocasionalmente es intensa y suele estar caolinitizada, mostrando con esto características de una alteración hidrotermal que afecta la roca.

En cuanto a minerales de origen secundario en la roca se tienen: la clorita, sericita, moscovita y caolinita, la clorita reemplazando la biotita de bordes a centro y la moscovita en pequeños cristales. Con respecto a la plagioclasa muestra como mineral de alteración la sericita.

Adicionalmente, los óxidos de hierro, hacen presencia en las rocas metamórficas relleno de pequeñas fracturas con una coloración amarilla a marrón rojizo, sin embargo, estos óxidos también se encuentran presentes en las rocas ígneas que se describirán a continuación.



Se relacionan a continuación la composición mineralógica modal de las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en la Tabla 4, de acuerdo a los resultados de los análisis de difracción de rayos X (DRX), que permiten diferenciar los minerales de origen primario (metamórfico?) y los de origen secundario (hidrotermal), sin embargo se pueden apreciar con más detalle estos resultados en el ANEXO 3 (Resultados de Análisis de Difracción de rayos X-DRX).

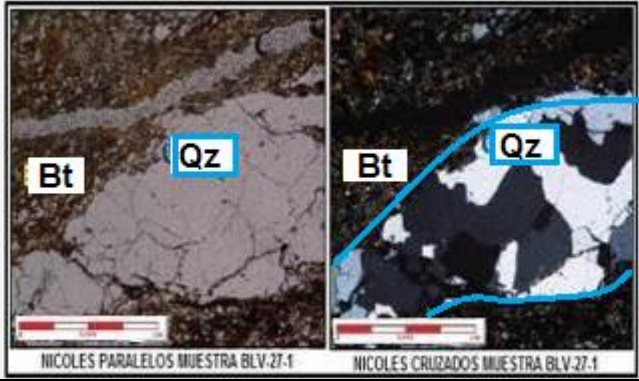
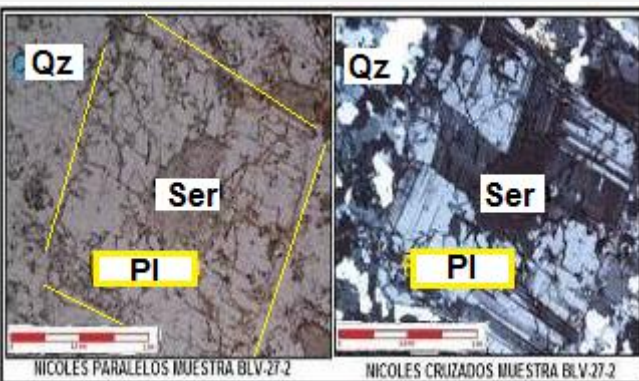
MUESTRA	FASES MINERALES		
	NOMBRE (%)	Primarios	Secundarios
BLV-27-1 Neis Biotítico			
 <p>NICOLES PARALELOS MUESTRA BLV-27-1 NICOLES CRUZADOS MUESTRA BLV-27-1</p>	Qz 20%	x	
	PI 15%	x	
	Bt 50%	x	
	Chl 8%		x
	Ox 4%	x	
	Ser 1%		x
	Ms 1%		x
	Kln 1%		x
BLV-27-2 Roca metamórfica silicificada			
 <p>NICOLES PARALELOS MUESTRA BLV-27-2 NICOLES CRUZADOS MUESTRA BLV-27-2</p>	Qz 40%	x	
	PI 30%	x	
	Bt 18%	x	
	Chl 2%		x
	Ser 5%		x
	Mc 1%	x	
	Ox 1%	x	
	Zrn 1%	x	
	Py 2%	x	

Tabla 4. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas metamórficas (Neis biotítico) y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicoles paralelos e Izquierda: nicoles cruzados). PI=plagioclasa, qz=cuarzo, Bt=biotita y Ser=sericita.

La roca metamórfica (muestra BLV-27-2), presenta una alteración hidrotermal intensa (silicificación), la cual ocasiona pérdida de gran parte de su textura metamórfica y el reemplazamiento de sus minerales metamórficos.

Los resultados de los análisis de DRX se realizaron con el fin de conocer las fases minerales presentes en las rocas y así tener una referencia acerca de la existencia de minerales que no se pueden observar bajo el microscopio (ANEXO 3). A continuación solo se presentará un resumen (Tabla 5) de estos resultados.

FASES MINERALES	NOMBRE	PORCENTAJE (%)
Si O_2	Cuarzo	14 – 16.9 %
$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	Ortoclasa	9.9 – 30.3 %
$\text{Ca}_{0.64} \text{Na}_{0.35} (\text{Al}_{1.63} \text{Si}_{2.37} \text{O}_8)$	Labradorita	16 – 32 %
$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	Caolinita	3.7 – 15.5 %
$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	Biotita	0 – 4.6 %
$\text{K}_2 (\text{Al}_{3.74} \text{Fe}_{0.26}) (\text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) (\text{OH})_4$	Sericita	0 – 10.7 %
$\text{Mg}_8 (\text{OH})_4 \text{Si}_{12} \text{O}_{30} (\text{H}_2\text{O})_{12}$	Sepiolita	0 -14.9 %
MnO_2	Groutellita	0 - 3.4 %

Tabla 5. Fases minerales presentes en las rocas pertenecientes al Neis de Bucaramanga (Muestras BLV-27-1 y BLV-27-2).

De menor a mayor porcentaje la presencia de minerales primarios son: biotita, ortoclasa, sepiolita, cuarzo, labradorita y de origen secundario: groutellita, sericita y caolinita.

Por lo anterior, según la clasificación de las rocas metamórficas y de acuerdo a su composición principal cuarzo-feldespática y biotítica, textura granolepidoblástica y estructura néisica, se clasifican las muestras de este estudio en el rango de las rocas de metamorfismo regional denominada neis biotítico, o neis con biotita-feldespato-cuarzo tal como lo menciona Ward *et al.* (1973).

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y

DRX), resulta muy llamativo la presencia de clorita (reconocida mediante microscopía óptica, pero no corroborada mediante DRX), sericita, caolinita, groutellita (pirolusita?) y sepiolita (?). Asimismo, se reconocen mediante microscopía óptica, la presencia minoritaria de sulfuros (mayoritariamente pirita?).

Aunque el enfoque de este estudio no fue caracterizar de manera detallada la secuencia paragenética de las diferentes alteraciones hidrotermales presentes en las litologías aflorantes en el tramo objeto de estudio, resulta necesario intentar interpretar el ambiente de formación de los diferentes minerales de alteración aquí reconocidos. En este sentido, y de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de clorita y sericita, podrían estar indicando un ambiente de alteración hidrotermal hipógeno, probablemente ambientes porfiríticos apicales o someros, los cuales pueden estar representados en las alteraciones clorita-sericita y/o alteración cuarzo-sericita-pirita.

La presencia de minerales como caolinita, se deben relacionar con ambientes epitermales o supergénicos. En ausencia de alunita (sea hipógena o de tipo *steam-heated*), se asume éste mineral como propios de una alteración hidrotermal argílica. Finalmente, la presencia de minerales como groutellita (pirolusita?) y sepiolita (?), deben estar relacionados exclusivamente con ambientes de alteración supergénica.

4.1.2 GRANITOIDES - Triásico-Jurásico

Estas litologías ígneas están representadas en el tramo objeto de estudio, variedades tales como: a) granitos de feldespato alcalino, b) granitoides y c) granitos. Las rocas pertenecientes a este grupo presentan cristales anhedrales y subhedrales, coloración blanco a marrón. Las muestras BLV-25-1, BLV-25-2, BLV-25-3, BLV-26-1, BLV-28-3 Y BLV-29-1 presentan gran partición y se encuentran

además fuertemente meteorizadas. Sin embargo en campo y en algunas muestras de mano, se pudo apreciar la estructura fanerítica de las mismas así como su carácter masivo.

Se presentan a continuación en la Tabla 6 las rocas pertenecientes al grupo de los granitoides:

ESTACIÓN	MUESTRA	COORDENADAS (m)			NOMBRE
		X	Y	Z	
BLV-25	BLV-25-1	1.301.340	1.134.040	3380	Granito
	BLV-25-2				Granito (Granito feldespato alcalino)
	BLV-25-3				Granito (Granito feldespato alcalino)
	BLV-25-4				Granito (Monzogranito)
BLV-26	BLV-26-1	1.301.302	1.134.149	3374	Granito de feldespato alcalino
BLV-27	BLV-27-3	1.301.897	1.134.322	3418	Roca silicificada (vena cuarzo)
BLV-28	BLV-28-1	1.301.433	1.133.870	3353	Granitoide rico en cuarzo
	BLV-28-3				Granito (Sienogranito)

Tabla 6. Muestras pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico

Los granitoides del Triásico-Jurásico presentan textura holocristalina constituido por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y biotita, donde la abundancia de estas fases minerales es semejante entre cada muestra, lo cual hace que las características petrográficas también sean similares.

En cuanto a minerales observados mediante descripción de muestra de mano, se distingue la presencia de cuarzo (25-89%) cuya cantidad se encuentra de acuerdo al tipo de roca sea granito o granodiorita; ortoclasa (10-45%), biotita (15-20%) como mineral máfico principal, plagioclasa (5-20%) y los minerales que se

encuentran en menor cantidad: óxidos de hierro y de manganeso (4-15%), caolinita (1-2%) y como sulfuro principal la pirita (1-3%). Se muestran a continuación en la Figura 11 las fotografías de muestra de mano de los granitoides, donde se puede apreciar el grado de meteorización de las mismas.

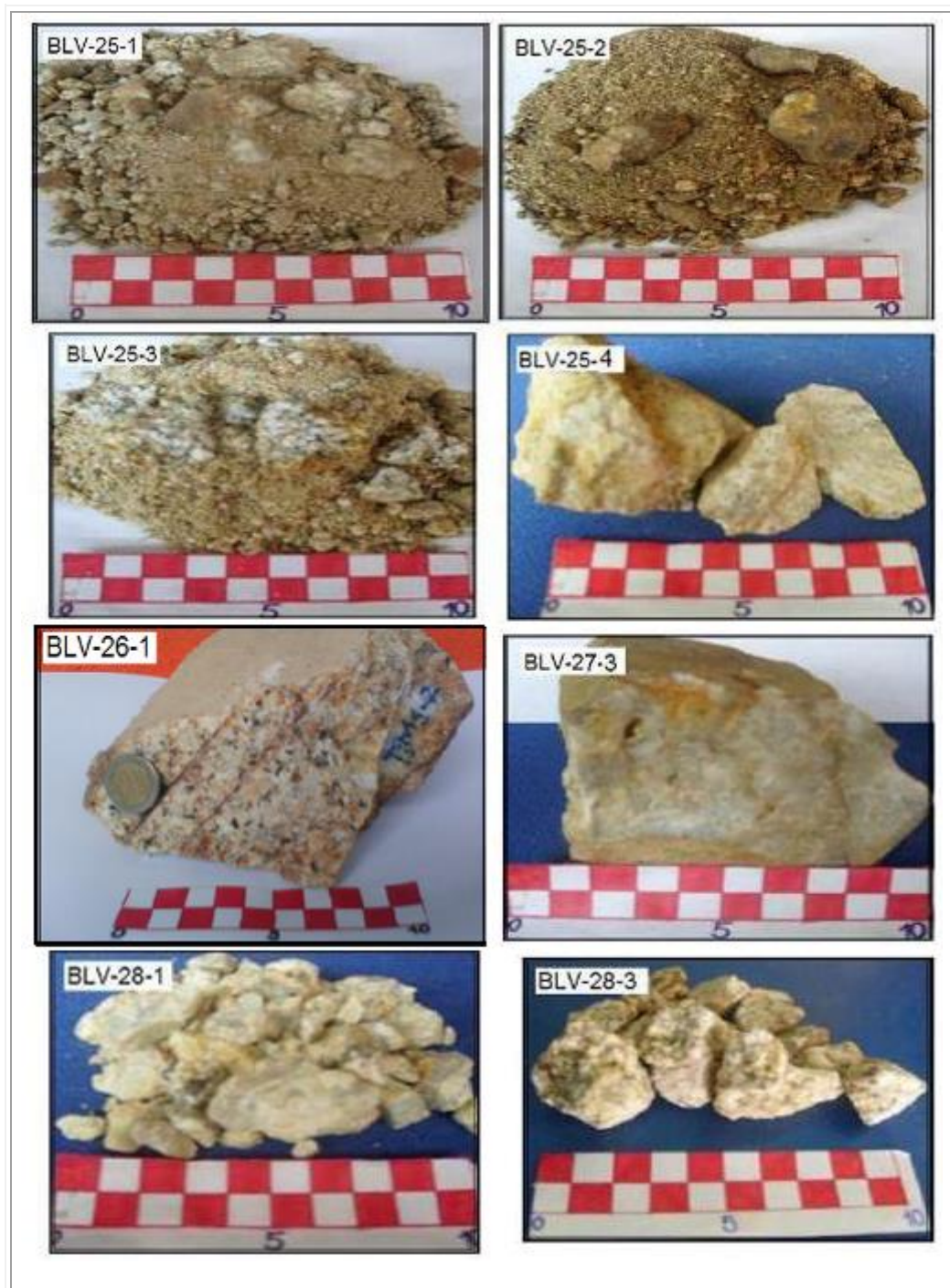
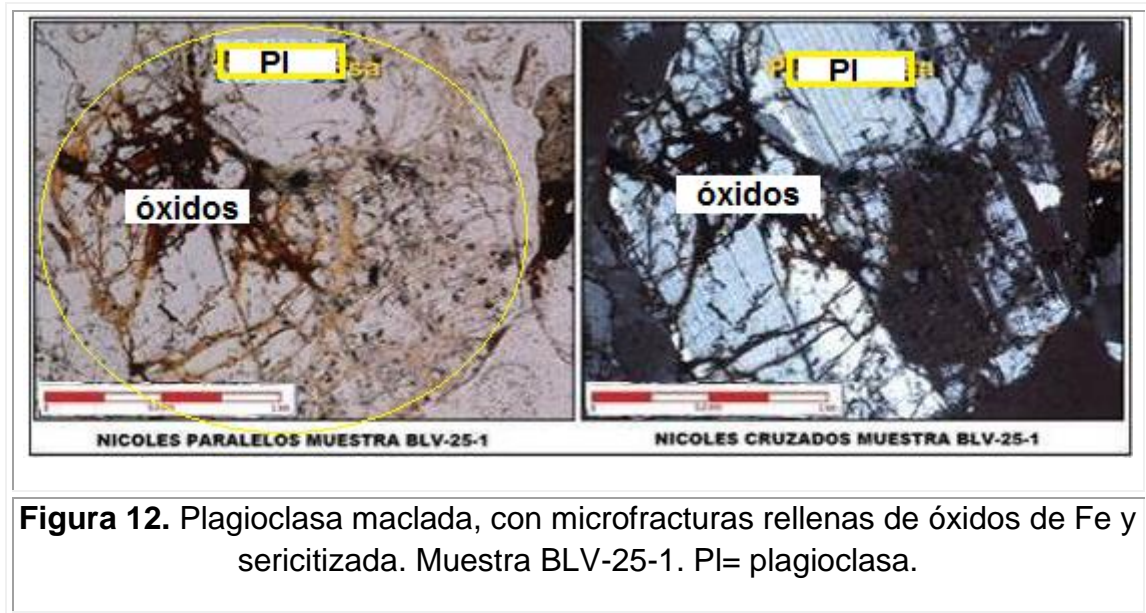


Figura 11. Muestras de mano de rocas pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico. Las denominaciones de las litologías se encuentran incluidas en la Tabla 6.

En el caso de minerales como la plagioclasa (3-13%) siempre están presentes maclas polisintéticas tipo albita, con formas subhedrales en los cristales, en algunas muestras los cristales levemente fracturados, donde dichas fracturas se encuentran rellenas de óxidos en su mayoría (Figura 12).



El cuarzo se presenta como constituyente principal (20-35%), en cristales anhedrales limpios, en algunos sectores a manera de agregado relleno de pequeñas fracturas, ocasionalmente concentra óxidos hacia los bordes. El feldespato alcalino se encuentra como mineral principal (38-47%), y se presenta como ortoclasa-plagioclasa y microclina (como mineral accesorio). La biotita (10-15%), se observa como cristales alargados, con pleocroísmo marrón, con alteración a clorita de bordes a centro y aún conserva la forma relicta de las láminas.

Se encuentran además presencia de óxidos, con relieve alto, color amarillo a marrón rojizo, relleno de fracturas, al parecer presenta un alto contenido de hierro.

También se reporta la presencia de minerales de origen secundario como la clorita y sericita.

Se muestran a continuación en la Tabla 7 la composición mineralógica modal de las rocas graníticas, la cual se ha elaborado en base a información extraída de los resultados del análisis microscópico, lo cual ha permitido clasificar las rocas y a su vez cuantificar sus componentes.

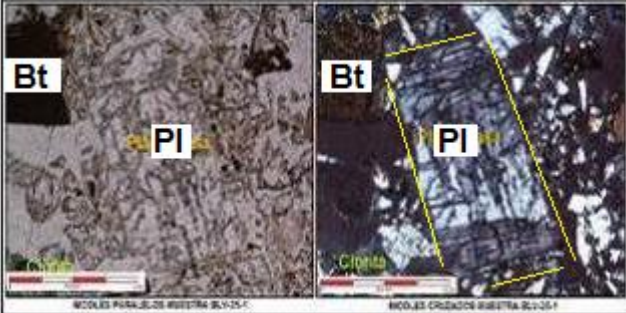
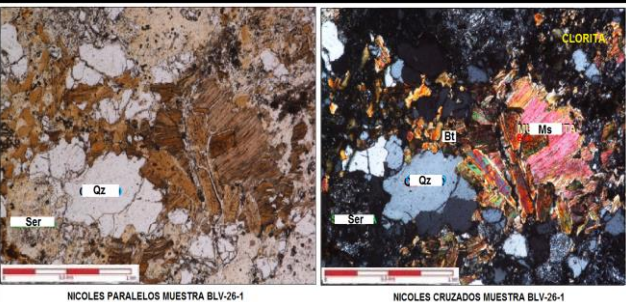
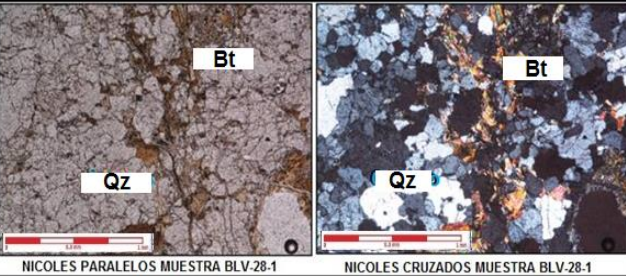
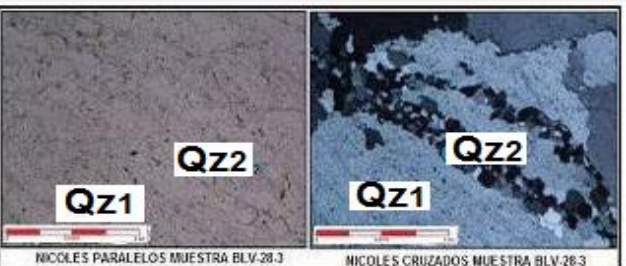
MUESTRA	FASES MINERALES		
	NOMBRE (%)	Primarios	Secundarios
BLV-25-1 Granito			
	Qz 20%	X	
	Pl 13%	X	
	Bt 10%	X	
	Or 47%	X	
	Ox 3%	X	
	Zrn 1%	X	
	Chl 3%		X
	Ser 3%		X
BLV-26-1 Granito de Feldespato Alcalino			
	Qtz 35%	X	
	Plag 3%	X	
	Bt 10%	X	
	Ort 40%	X	
	Oxd 3%	X	
	Epid 1%	X	
	Chl 4%		X
	Src 4%		X
BLV-28-1 Granitoide rico en cuarzo (Vena de cuarzo)			
	Qz 50%	X	
	Pl 30%	X	
	Bt 15%	X	
	Chl 2%		X
	Ep 1%	X	
	Ox 1%		X
	Ser 1%		X
BLV-28-3 Granito (Sienogranito)			
	Qtz 28%	X	
	Plag 10%	X	
	Bt 15%	X	
	Ort 38%	X	
	Chl 4%		X
	Zr 1%	X	
	Ox 4%		

Tabla 7. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas ígneas pertenecientes al grupo de los granitoides del Triásico-Jurásico y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicoles paralelos e Izquierda: nicoles

cruzados). Pl=plagioclasa, Bt=biotita, Chl= clorita, Ser= sericita, Qz= cuarzo y Ms= moscovita.

En la Tabla 8 se encuentra la relación composicional de acuerdo a la mineralogía presente en las muestras pertenecientes al grupo de los granitoides, para lo cual se han tomado los porcentajes mínimos y máximos de los análisis de difracción.

FASES MINERALES	NOMBRE	PORCENTAJE (%)
Si O_2	Cuarzo	6.3 – 60.9 %
$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) (\text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8)$	Albita	0 – 33.5 %
$\text{K} (\text{Al Si}_3) \text{O}_8$	Ortoclasa	6.7 – 58.1 %
$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$	Anortita	0 - 15.8 %
$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	Caolinita	2.3 – 30 %
$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	Biotita	0 - 18.4 %
$\text{K}_2 (\text{Al}_{3.74} \text{Fe}_{0.26}) (\text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) (\text{OH})_4$	Sericita	4.8 – 36.0 %
$\text{K Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	Alunita	0 – 9.0 %

Tabla 8. Fases minerales presentes en las rocas pertenecientes a las rocas del grupo de los granitoides (Muestras BLV-25-1, BLV-26-1 y BLV-28-3).

De acuerdo al porcentaje de menor a mayor cantidad la presencia de minerales primarios es: biotita, ortoclasa, plagioclasa y cuarzo. También existen minerales de origen secundario, por procesos de alteración hidrotermal como alunita, caolinita y sericita.

Apoyados en la mineralogía de estos cuerpos ígneos, identificada tanto con microscopía óptica, como con DRX, es posible clasificar estas rocas como granitoides, de variedades que oscilan entre granodioritas hasta granitos de feldespato alcalino (ver Tabla 8), según diagrama de Streckeisen (1979).

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y DRX, como se mencionó anteriormente), resulta muy llamativo la presencia de clorita, epidota, sericita, caolinita, alunita, sulfuros (pirita fundamentalmente), y óxidos de hierro.

En este sentido, y de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de clorita y epidota, parecen indicar un ambiente de alteración hidrotermal hipógeno, el cual, dada su mineralogía, apuntan a ambientes de tipo propilítico (generalmente estériles, desde el punto de vista del contenido de metales), el cual se suele desarrollar entorno a los sistemas porfíricos (en los cuales sí se concentra la mineralización). Por otro lado, la presencia de sericita-cuarzo-pirita (?), suele apuntar a ambientes porfíricos apicales o someros, es decir, desarrollado en las partes más someras de un sistema porfírico, y cuyo cuerpo ígneo responsable de ésta alteración, debe estar en profundidad (no aflorando).

La presencia de minerales como caolinita y alunita, se deben relacionar con ambientes epitermales o supergénicos. La presencia de alunita en algunas muestras y de caolinita en otras o incluso ambas en la misma muestra (junto con pirita, tal como se observa en lámina delgada), implica la existencia de alteraciones hidrotermales tipo argílica y argílica avanzada. Estas últimas, propias de estilos de mineralización epitermal de alta sulfidación.

4.1.3 Rocas Porfíricas - Neógeno

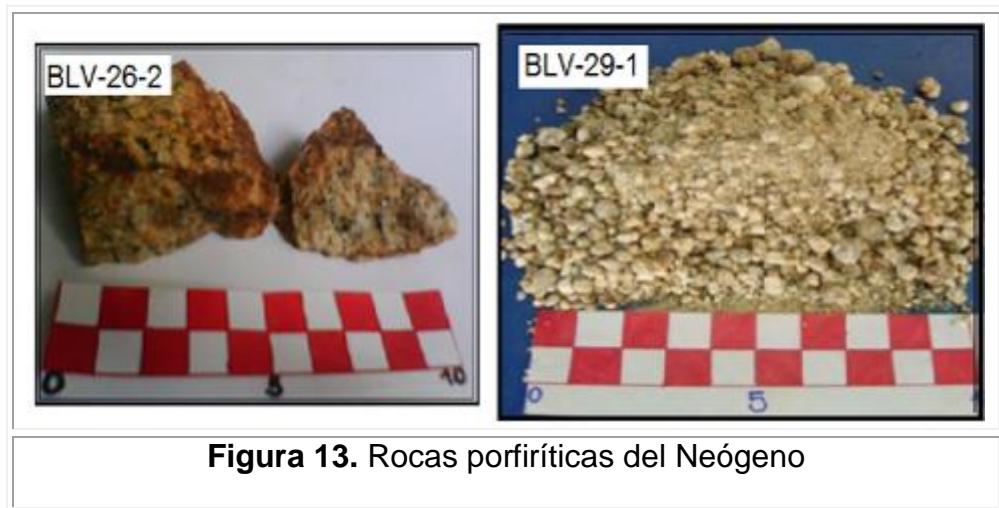
Las rocas ígneas con textura porfírica, de color blanco a marrón claro, están constituidas por fenocristales de grano medio a grueso, correspondientes a cuarzo 30%, plagioclasa 40%, ortoclasa 16% y biotita 10% y 4% restante comprende de minerales accesorios tales como anfíboles, clorita, sericita, microclina, epidota y algunos óxidos (Descripción detallada en el ANEXO 1). En general estas rocas se encuentran muy fracturadas y meteorizadas (Figura 14).

De acuerdo a las muestras colectadas en campo se diferencian dos tipos de rocas porfíricas, una de afinidad más granítica (BLV-26-2) y otra con un mayor contenido de cuarzo (BLV-29-1), Ver Figura 13. En la Tabla 9 se pueden observar las generalidades de estas muestras:

ESTACIÓN	MUESTRA	COORDENADAS (m)			NOMBRE
		X	Y	Z	
BLV-26	BLV-26-2	1.301.302	1.134.149	3374	Granito Porfírico
BLV-29	BLV-29-1	1.301.515	1.133.702	3344	Granito Porfírico

Tabla 9. Muestras pertenecientes al grupo de los pórfidos del Neógeno

La muestra BLV-29-1 (roca porfírica del Neógeno) presenta fuerte meteorización y abundante partición, color blanco a gris, el cuarzo se presenta en fenocristales de hasta 1 cm algunos redondeados y otros bipiramidales.



En general estas rocas del Neógeno (según dataciones realizadas por Mantilla et al., 2009; 2011; y Leal-Mejía et al. 2011), exhiben una textura porfírica, donde el porcentaje de fenocristales es variable. La muestra BLV-29-1 presenta una alteración argílica supergénica, lo cual lleva a encontrar el material poco compacto y disgregado, de color blanco a crema, moteado por biotita (ésta de origen magmático), con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, dentro de una matriz afanítica de cuarzo, plagioclasa y ortoclasa. Además se pueden observar en la muestra BLV-26-2, vetillas de cuarzo lechoso, sulfuros y cuarzo-sulfuros, a su vez presentan manchas de óxidos de Fe.

Como minerales de alteración se observaron clorita y sericita. En cuanto a los demás minerales presentes: el cuarzo (22-51%), es parte esencial de la matriz y a su vez forma fenocristales subhedrales que presentan extinción ondulatoria que pudo haber sido producida por procesos de deformaciones intracristalinas, sin embargo, en las figuras 14 E, y 14F, el cuarzo presenta cristalización estática lo cual puede estar relacionado con procesos metamórficos. Seguidamente, la plagioclasa (10-20%), aparece formando fenocristales de gran tamaño subhedrales y también

como agregados y en general esta maclado según albita y Carlsbad (Figura 14 A, B), por lo normal los bordes se muestran corroídos por efecto de la matriz y tiene pequeñas inclusiones de biotita, además tiene microfracturas y alteración por sericita (alteración tipo secitítica, Figura 14 E, F). También presenta zonación paralela en algunos fenocristales aislados (Figura 14 C, D)

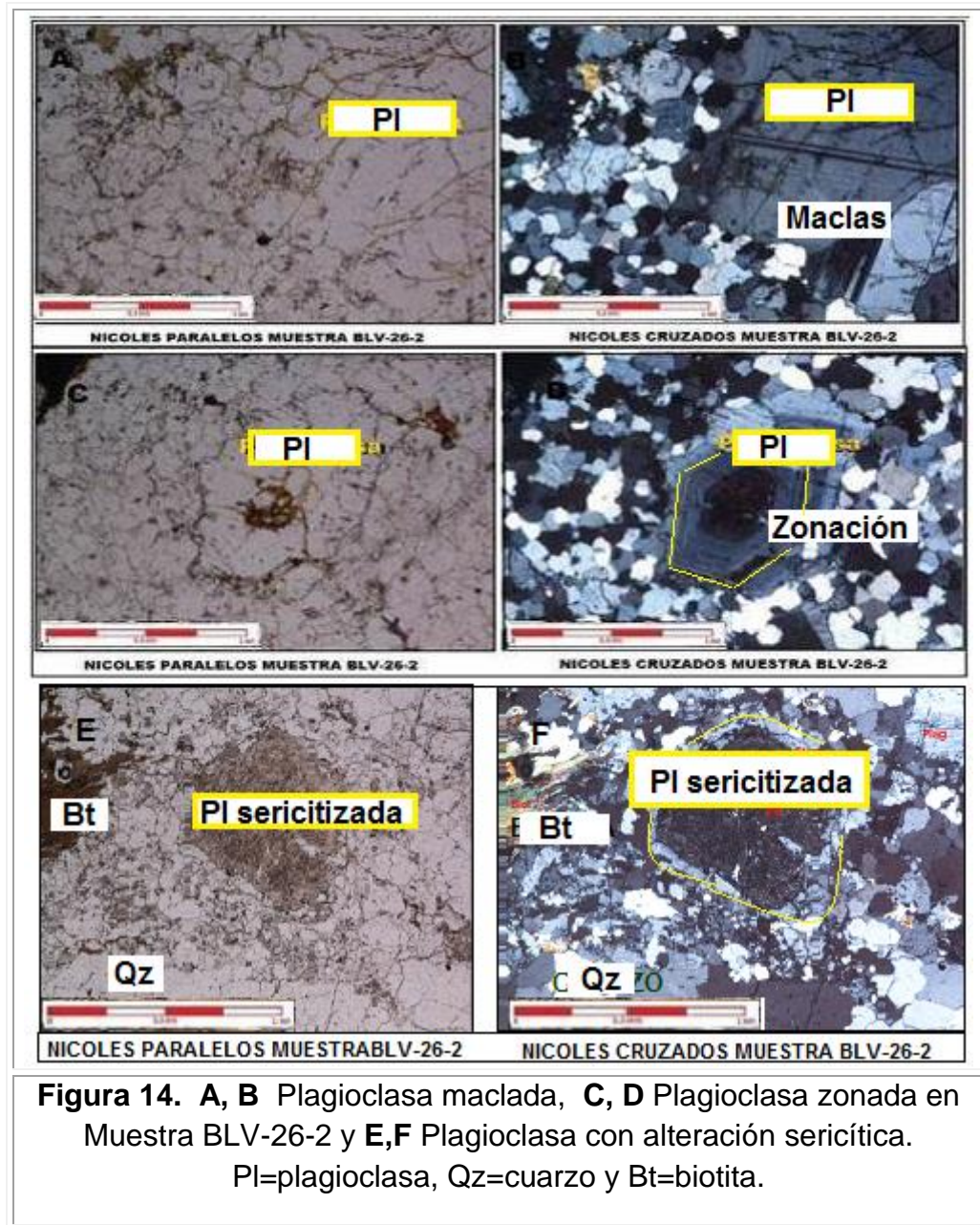


Figura 14. A, B Plagioclasa maclada, C, D Plagioclasa zonada en Muestra BLV-26-2 y E,F Plagioclasa con alteración sericítica.

PI=plagioclasa, Qz=cuarzo y Bt=biotita.

Otros minerales presentes en las rocas porfiríticas son: Ortoclasa (42%) que aparece como parte de la matriz en agregado de grano medio y algunos fenocristales anhedrales que se encuentran algo corroídos por la matriz, también se encuentran inclusiones de biotita.

Biotita: (13-15%), presenta coloración parduzca y pleocroísmo marrón y de origen magmático. Este mineral, también aparece en fenocristales corroídos en los bordes, como agregado fino en la matriz y como pequeñas inclusiones. Puede encontrarse levemente alterada a moscovita y clorita.

Como minerales secundarios aparecen la clorita (5%), como mineral de alteración de la biotita adoptando la forma tabular de esta, de color verde, pleocróico y la sericita (5%) como mineral de alteración de la plagioclasa.

Adicional a ellos están algunos minerales que aparecen en estas rocas como accesorios: óxidos con coloración que va en tonalidades de amarillo a marrón rojizo. También aparece epidota como mineral de alteración de la biotita.

Se resume a continuación en la Tabla 10 la composición mineralógica modal de las rocas porfiríticas, esto en base a los resultados de los análisis microscópicos:

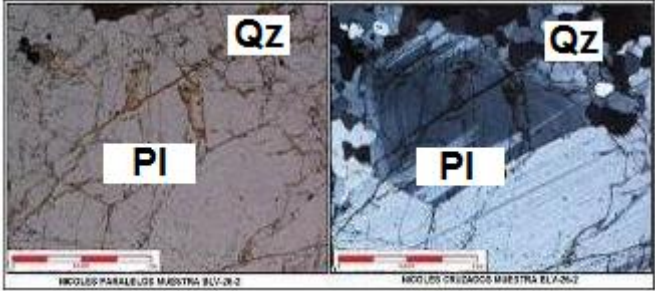
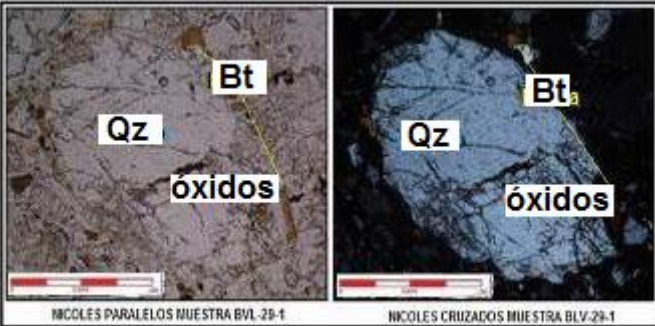
MUESTRA	FASES MINERALES		
	NOMBRE (%)	Primarios	Secundarios
BLV-26-2 Granito porfirítico			
	Qz 22%	x	
	Pl 10%	x	
	Bt 13%	x	
	Or 42%	x	
	Amp 1%	x	
	Ox 5%	x	
	Mc 1%	x	
	Chl 5%		x
	Py 1%	x	
	BLV-29-1 Granito Porfirítico		
	Qz 51%	x	
	Pl 20%	x	
	Bt 15%	x	
	Chl 5%		x
	Pgt 1%	x	
	Ox 3%	x	
	Ser 5%		x

Tabla 10. Composición mineralógica modal (microscopía óptica) de las rocas ígneas pertenecientes al grupo de los Pórfidos del Neógeno y fotografías de láminas delgadas (Derecha: nicols paralelos e Izquierda: nicols cruzados). Qz= cuarzo, Pl=plagioclasa y Bt= biotita

Las muestras porfiríticas del Neógeno analizadas mediante DRX en el marco del presente estudio, son BLV-26-2 y BLV-29-1 (ver resultados en el ANEXO 3). Un resumen de estos resultados, se presenta a continuación (ver Tabla 11). El porcentaje de los minerales, se reporta a manera de rango composicional (porcentajes mínimos y máximos de cada una de ellas).

FASES MINERALES	NOMBRE	PORCENTAJE (%)
Si O_2	Cuarzo	5 – 14.4 %
$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	Ortoclasa	14.6 – 16.9 %
$\text{Ca}_{0.64} \text{Na}_{0.35} (\text{Al}_{1.63} \text{Si}_{2.37} \text{O}_8)$	Labradorita	0 – 41.0 %
$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$	Anortita	0 – 37.5 %
$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	Caolinita	2.4 – 12.1 %
$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	Biotita	0 – 2.6 %
$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	Muscovita	0 - 11.3 %
$\text{Fe}_3 (\text{P O}_4)_2 (\text{OH})_2$	Lipscombita	0 – 1.5 %

Tabla 11. Fases minerales de las rocas porfíricas del Neógeno

De acuerdo a los resultados, de manera creciente en porcentaje se presentan los siguientes minerales primarios en este tipo de rocas: biotita, cuarzo, ortoclasa, anortita y labradorita. También se encontraron minerales que tienen origen hidrotermal: moscovita y caolinita.

Apoyados en la mineralogía de estos cuerpos ígneos, identificada tanto con microscopía óptica, como con DRX, es posible clasificar estas rocas como porfíricas, según diagrama de Streckeisen (1979).

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y DRX, como se mencionó anteriormente), resulta muy llamativo la presencia de clorita, epidota, caolinita y óxidos de hierro.

En el mismo sentido antes mencionado, es posible resaltar de manera preliminar, que la presencia de clorita y epidota, indican un ambiente de alteración hidrotermal hipógeno, el cual suele estar relacionado con alteraciones de tipo propilítico (según Sillitoe, 2010).

La presencia de minerales como la caolinita, se debe relacionar con ambientes epitermales o supergénicos.

4.2 GEOQUÍMICA EN ROCA TOTAL

Cinco muestras de rocas ígneas fueron colectadas para ser analizadas mediante geoquímica de elementos Mayores, Menores y Traza: tres muestras procedentes de granitoides y dos muestras de las rocas porfíricas del Neógeno (Tabla 12, Figura 15). Los resultados obtenidos de estos análisis, se resumen en la Tabla 13 y 14.

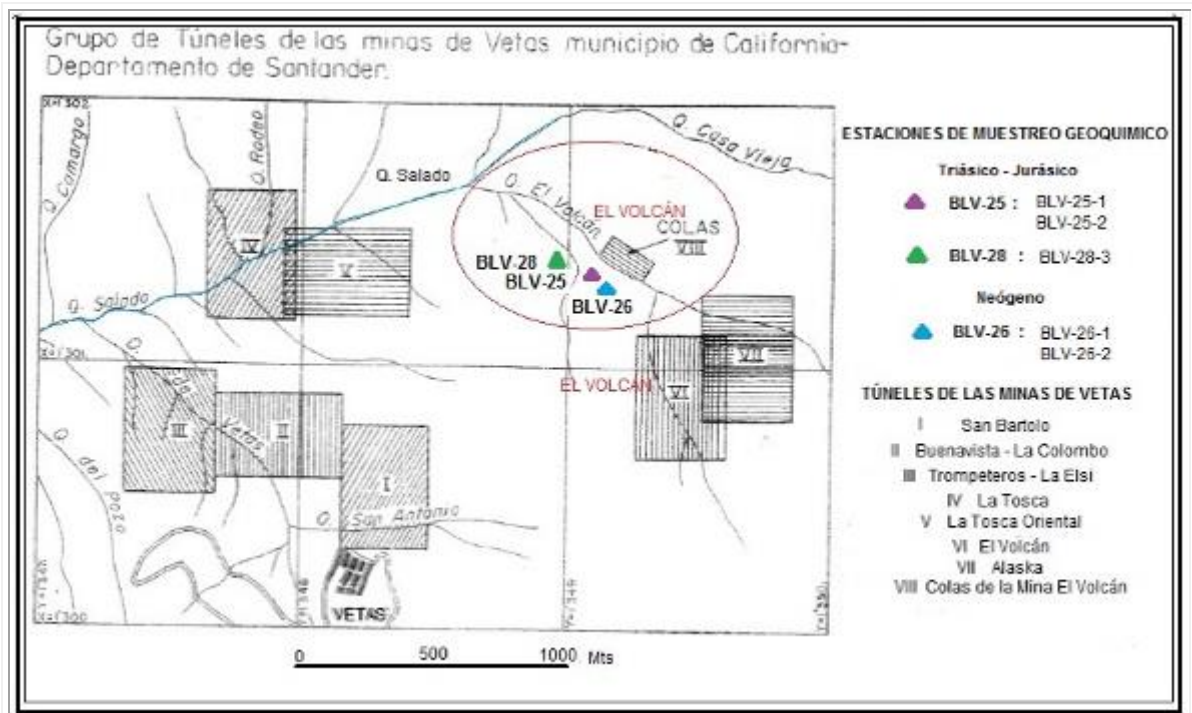


Figura 15. Mapa de estaciones de muestreo. Esquema de fondo, modificado de Ward *et al*, (1970)

ESTACIÓN	MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE
BLV-25	BLV-25-1	Granitoide (Triásico-Jurásico)	Granito (de feldespato alcalino)
	BLV-25-2		Granito (de feldespato alcalino)
BLV-26	BLV-26-1	Pórfido (Neógeno)	Granito de feldespato alcalino
BLV-26	BLV-26-2		Granito porfirítico
BLV-28	BLV-28-3	Granitoide (Triásico-Jurásico)	Granito (Sienogranito)

Tabla 12. Muestras analizadas mediante geoquímica de elementos MMT

	MUESTRA				
	BLV-25-1 Granito (Triásico- Jurásico)	BLV-25-2 Granito (Triásico- Jurásico)	BLV-26-1 Granito (Triásico- Jurásico)	BLV-26-2 Granito porfirítico (Neógeno)	BLV-28-3 Granito (Triásico- Jurásico)
Al ₂ O ₃	18,35	17,3	20,3	16,35	14,15
BaO	0,248	0,249	0,218	0,164	0,223
CaO	2,65	0,04	0,03	2,71	1,66
Cr ₂ O ₃	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fe ₂ O ₃	3,97	2,32	2,06	2,71	1,65
K ₂ O	3,78	3,84	5,77	3,61	4,69
MgO	1,23	0,58	0,99	0,8	0,64
MnO	0,067	0,928	0,034	0,043	0,056
Na ₂ O	3,11	0,253	0,345	3,33	2,29
P ₂ O ₅	0,171	0,116	0,044	0,16	0,121
SiO ₂	64,4	69,5	65,8	68,9	73,6
SrO	0,099	0,032	0,03	0,095	0,075
TiO ₂	0,53	0,32	0,4	0,34	0,31
LOI	1,54	4,92	4,3	0,92	0,83
FeO	1,48	<0.01	0,28	1,07	0,76

Tabla 13. Resultados de los análisis de Geoquímica de roca total (Composición de Elementos mayores).

	MUESTRA				
	BLV-25-1	BLV-25-2	BLV-26-1	BLV-26-2	BLV-28-3
Ba	2280	2320	1985	1460	2090
Ce	98	103,5	50,9	53,2	38,8
Co	3,3	18,8	2,7	2,5	2
Cr	20	20	20	20	20
Cs	1,07	3,72	17,2	0,65	0,57
Dy	3,85	5,56	2,39	1,86	2,84
Er	2,19	3,16	1,51	1,19	1,89
Eu	1,5	1,72	0,86	0,83	0,86
Ga	25,1	23,8	22,3	21,2	16,7
Gd	4,07	5,24	2,27	1,74	2,42
Hf	4,8	4,3	4,1	3,5	2,7
Ho	0,69	1,02	0,47	0,34	0,55
La	55,1	46,6	29,1	29,5	19,8
Lu	0,27	0,42	0,17	0,18	0,31
Mo	24	107	18	9	10
Nb	11	5,4	5,8	6,3	6
Nd	41,5	41,4	21,3	20,5	17,6
Pr	11,3	10,55	5,77	5,82	4,5
Rb	81,3	102	200	67,2	81
Sm	6,86	7,55	3,23	3,1	3,22
Sn	3	2	2	2	3
Sr	904	309	278	846	698
Ta	1,1	0,8	0,8	0,8	1
Tb	0,62	0,9	0,37	0,3	0,4
Th	9,6	5,12	8,95	9,08	8,02
Tl	<0.5	2,8	<0.5	<0.5	<0.5
Tm	0,28	0,39	0,18	0,16	0,25
U	1,91	3,96	1,78	2,69	2,93
V	116	91	87	63	50
W	6	6	4	6	5
Y	20,3	28,4	18,1	10,2	16,6
Yb	2,13	3,09	1,29	1,21	2,08
Zr	204	206	177	149	124

Tabla 14. Resultados de los análisis de Geoquímica de roca total (Composición de Elementos Traza).

Los datos obtenidos del análisis geoquímico de roca total, fueron sometidos inicialmente a un test de alteración (siguiendo el procedimiento propuesto por

Davies and Whitehead, 2006, Figura 16), para poder identificar las muestras que han presentado mayor grado de pérdida o ganancia de elementos (re-movilización de elementos), a consecuencia de procesos de alteración hidrotermal o supergénica. Una vez se comprueba que la roca no pasa el test de alteración (debido a la pérdida o ganancia de los elementos más móviles, es decir, los elementos LILE-*Large ion lithophile elements*-), se procede al tratamiento de sus datos, solo apoyados en los elementos HFSE y REE, por ser estos los que suelen comportarse como elementos inmóviles frente a procesos de alteración hidrotermal y supergénica (Rollinson, 1993; Hollings y Wymann, 2005).

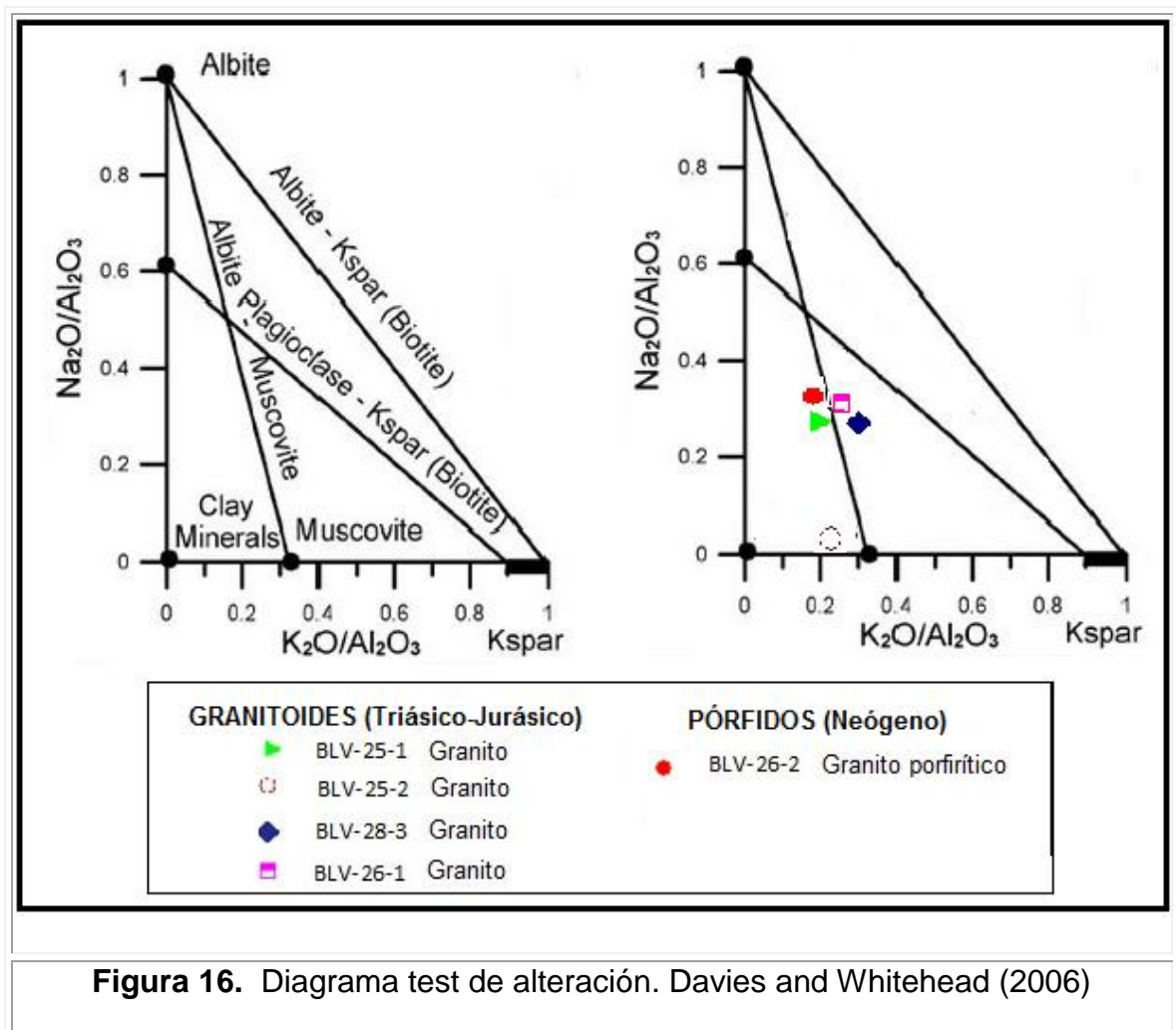
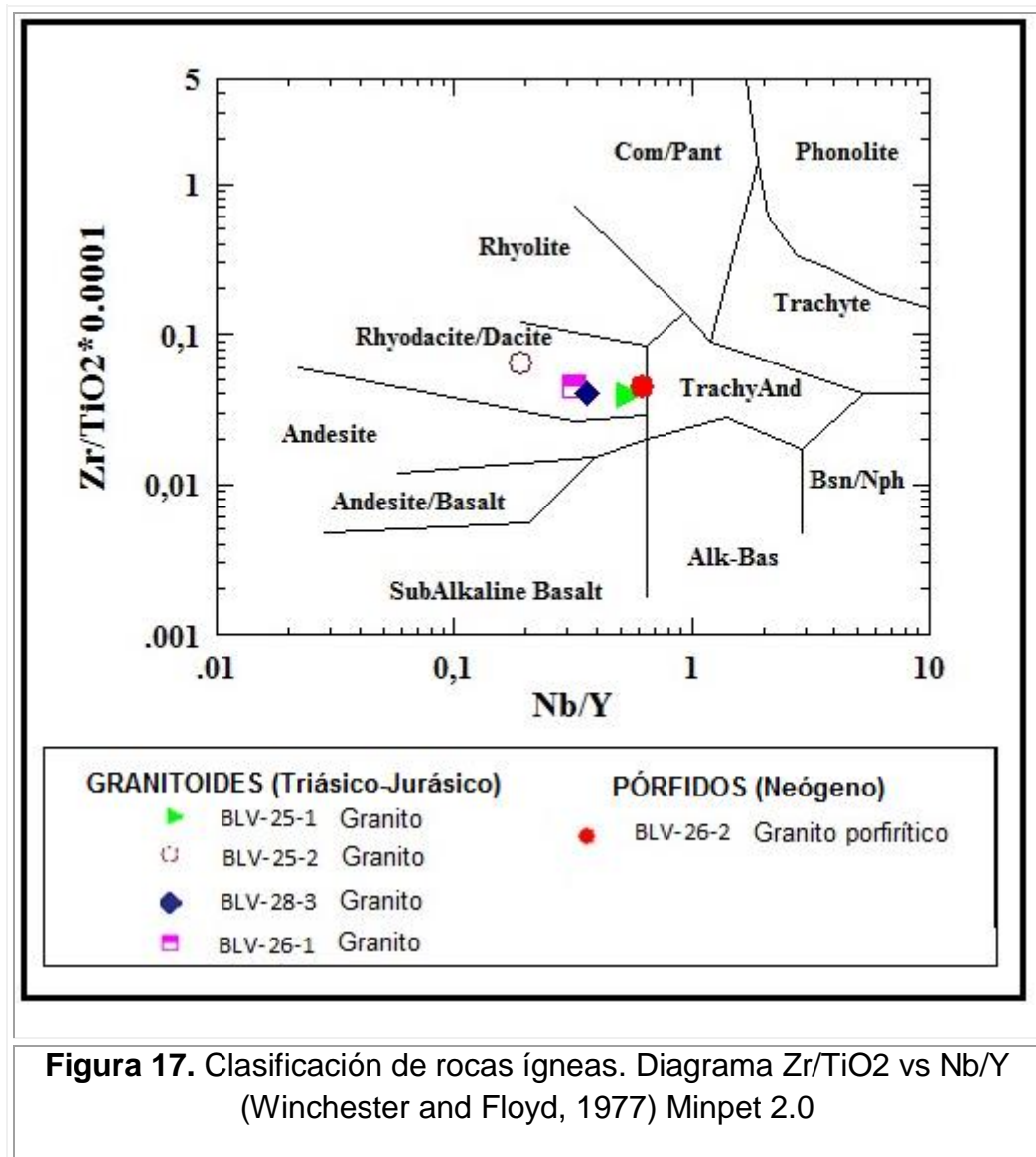


Figura 16. Diagrama test de alteración. Davies and Whitehead (2006)

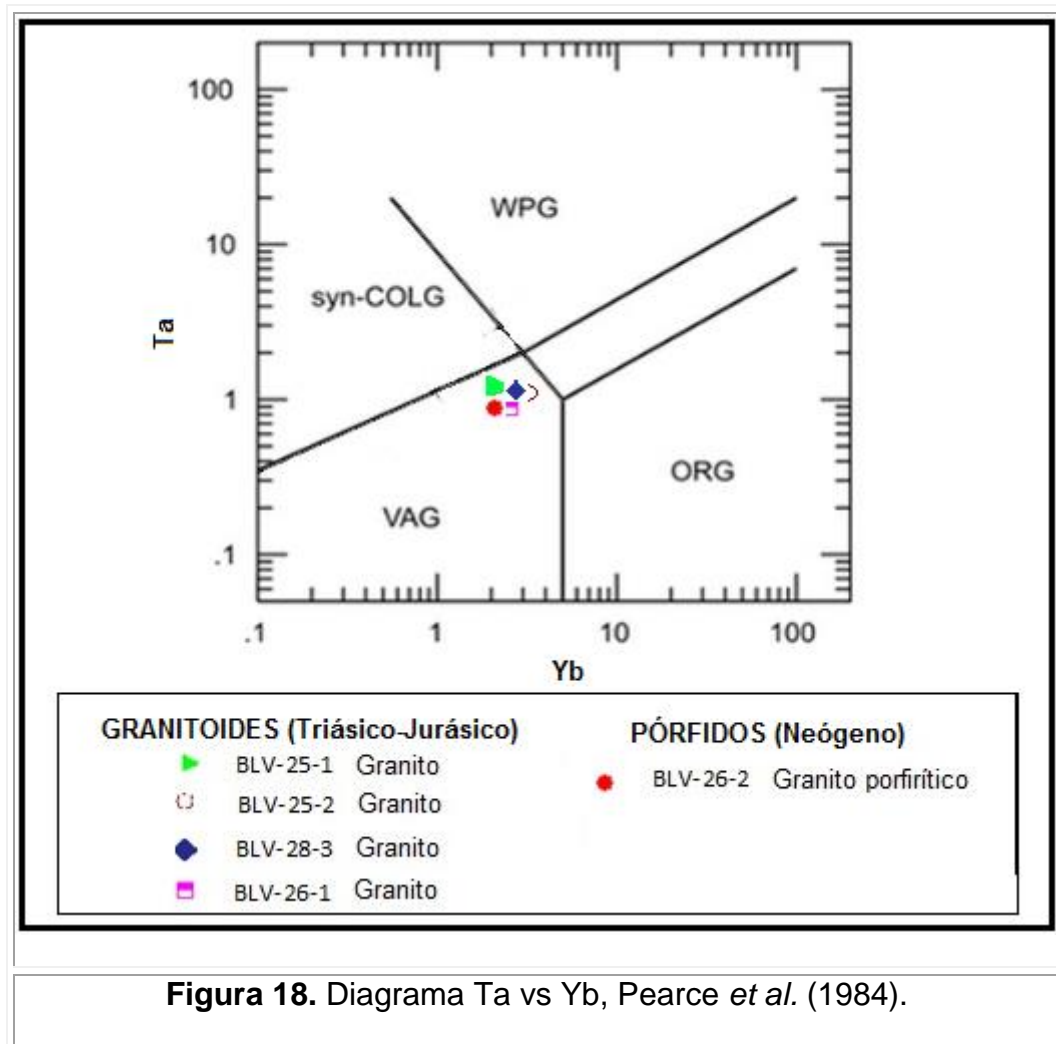
En el sentido antes mencionado, se pudo reconocer que la muestra BLV-25-2 (Granitoide de edad Triásico-Jurásico), es la que presenta el mayor grado de removilización de elementos (no pasa el test de alteración), debido principalmente a que ésta se proyecta en la parte más inferior del diagrama de la Figura 18, coincidiendo con el campo de las alteraciones argílicas. Las muestras restantes analizadas, se proyectan más cerca de la línea de la Plagioclasa-Feldespatos Potásico, y por lo tanto se puede considerar que pasan el test de la alteración.

Considerando la intensa alteración de la muestra BLV-25-2, y para evitar posibles dudas respecto a la movilidad de las LILE en las muestras restantes, se opta por clasificar las rocas aquí estudiadas, utilizando el diagrama Zr/TiO_2 vs Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977). Aunque éste diagrama sirve para clasificar rocas volcánicas, aquí se usa con el propósito de conocer a partir de éstas, el correspondiente análogo intrusivo, por lo cual su uso para este caso se hace debido a que se apoya en elementos inmóviles.



De acuerdo a esto, las muestras del análisis geoquímico aparecen en el campo de las rocas Riodacita/Dacita (Figura 17), cuyo análogo intrusivo corresponde a granitos y granodioritas, que a su vez se clasifican en los grupos: granitoides y pórfidos, tal como se corrobora en el apartado anterior.

Con el propósito de discriminar el ambiente tectónico, en el cual debió tener lugar el emplazamiento de los magmas generados de las rocas ígneas aquí estudiadas, se utilizó el diagrama para rocas graníticas de Pearce *et al*, (1984). Según este diagrama, los granitoides y las rocas porfíricas, se proyectan en el campo de los Granitos de arco volcánico (Figura 18).



Los “diagramas araña” obtenidos a partir de la normalización de las muestras, respecto al manto primitivo (Figura 19), utilizando los valores reportados en McDonough *et al*. (1992), muestran claramente un enriquecimiento de los LILE con respecto a los HFSE, lo cual es característico de rocas de afinidad cortical.

Por otro lado, la anomalía negativa en Nb-Ta, y la no muy evidente anomalía en P-Ti, indican que estos rasgos son propios de un magmatismo asociado a un contexto de subducción, tanto para el magmatismo del Triásico-Jurásico, como para el magmatismo del Neógeno.

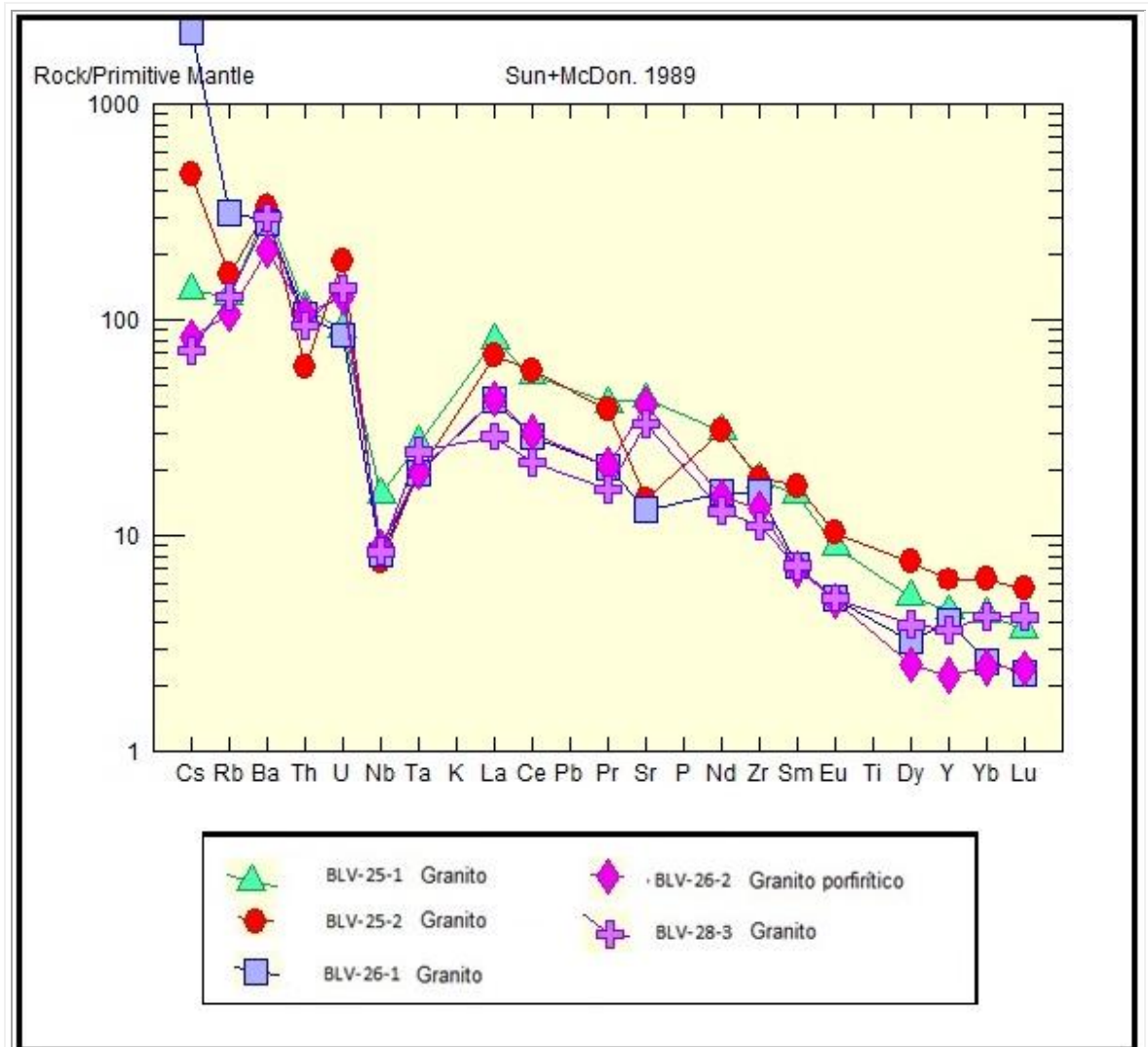


Figura 19. Diagrama multielemento normalizado al manto primitivo. McDonough *et al.* (1989)

El patrón de las REE de las muestras analizadas (Figura 20), obtenido mediante la normalización de los datos al condrito C1 (según valores de Sun and McDonough,

1989), evidencian un importante fraccionamiento de las REE, manifiesto en un enriquecimiento de las LREE, respecto a las HREE. Por otro lado, el fraccionamiento de las HREE es prácticamente nulo (próximo a 1). Esto último, indica que el granate no debió existir en la zona fuente de los magmas, pero sí muy posiblemente la plagioclasa y/o espinela debieron estar presentes.

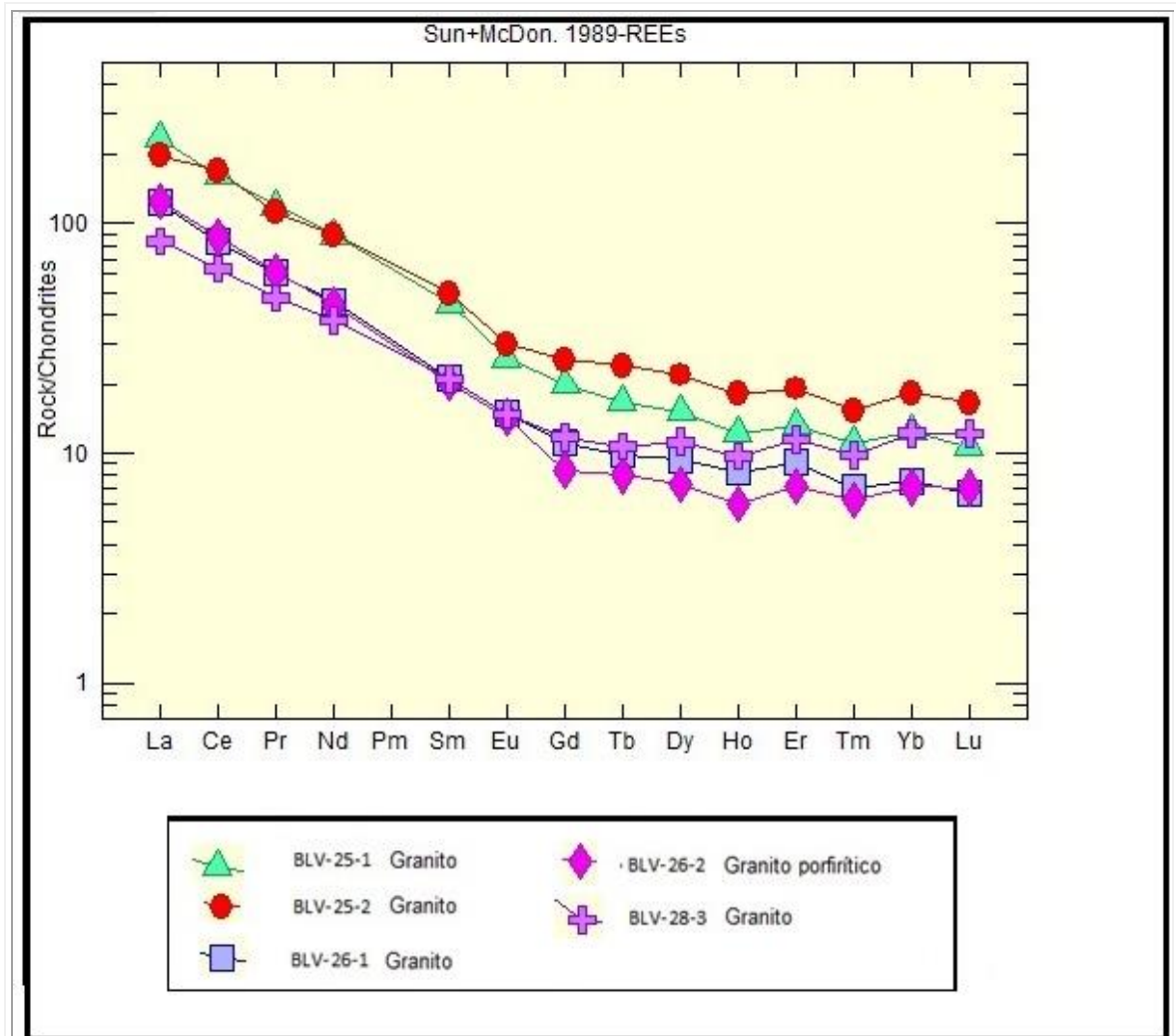


Figura 20. Diagrama de normalización respecto al condrito – Sun and McDonough (1989).

Por otro lado, la anomalía negativa del Eu (calculada según Rollinson, 1993; $Eu_N/\sqrt{(Sm_N \cdot Gd_N)}$), apuntan a que las rocas BLV-25-1 y BLV-25-2, presentan valores <1 (anomalías negativas), mientras la muestras BLV-26-1, BLV-26-2 y BLV-28-3, presentan levemente valores >1 (anomalías positivas), lo cual no solo las separa claramente en dos grupos que a su vez muestran dos eventos magmáticos uno del Triásico-Jurásico y otro del Neógeno respectivamente.

5. CONCLUSIONES

1. El estudio geológico realizado en el tramo comprendido entre el casco urbano del Municipio de Vetas y la Mina Reina de Oro (Macizo de Santander), permitió reconocer la presencia de rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga (Orogenia Grenviliana); Rocas ígneas graníticas del evento magmático Triásico Tardío-Jurásico Temprano; y rocas de textura porfirítica del Neógeno.
2. El estudio mineralógico-petrográfico de las litologías aflorantes en el tramo objeto de estudio (mediante microscopía óptica y DRX), evidencia la existencia de alteraciones hidrotermales (sobre-imposición de alteraciones hipógenas), tipo propilítica, sericítica, argílica y argílica avanzada.
3. La presencia de la alteración propilítica se reconoce mediante la existencia de minerales tipo clorita, epidota y albita, principalmente; la alteración sericítica se evidencia mediante la presencia de sericita, cuarzo, piritita; la alteración argílica se reconoce mediante la presencia de minerales del grupo de la caolinita y la alteración argílica avanzada, mediante la presencia de alunita hipógena, entre otros minerales asociados.
4. La geoquímica de roca total, indica que tanto las rocas ígneas del evento Triásico-Jurásico, como las del evento magmático de edad Neógeno, se formaron en ambientes de subducción, tal como lo evidencian las anomalías negativas de Nb-Ta, principalmente.
5. El ambiente tectónico del emplazamiento de los magmas Triásico-Jurásico y del Neógeno, son propios de granitos de arco volcánico, según relaciones Ta vs Yb.
6. La evidencia de alteraciones hidrotermales sericítica y propilítica, indican ambientes de alteración propios de estilos porfiríticos de mineralización,

mientras que las alteraciones argílica y argílica avanzada (hipógenas), apunta a ambientes propios de estilo de mineralización epitermal; tal como ha sido reportado en trabajos anteriores para otras zonas del Distrito Minero de Vetas-California (por ejemplo: Mantilla et al., 2011 y 2012). Sin embargo, Mathur *et al.* 2003, imencionan en su publicación que el sector de Vetas presenta un estilo de mineralización epitermal de baja sulfuración.

6. RECOMENDACIONES

Por otro lado, como sugerencia, entre otras, vale la pena resaltar que se debe realizar un muestreo de mayor densidad en ese sector específico, tanto para fines de establecer contenidos de metales preciosos y base, como para relacionar estos contenidos con algunas de las zonas de alteración hidrotermal reconocidas en éste estudio. Esto último, especialmente para establecer si la presencia de metales preciosos se relaciona con las zonas de alteración argílica avanzada, sericitica, o con aquellas zonas donde existe una sobre-imposición de estos dos tipos de alteración hidrotermal.

A su vez se pueden realizar estudios geocronológicos, para fines de poder establecer o valorar, si el patrón geoquímico de las REE de rocas ígneas (por ejemplo el patrón de las REE) es un criterio de discriminación más útil que la composición-textura de las rocas, es decir, aunque la muestra BLV-26-2 no tenga los rasgos porfiríticos propios de las rocas del Neógeno, su geoquímica (ausencia de anomalías negativas en Eu y altas relaciones Sr/Y) podría ser utilizada para determinar su relación con los eventos magmáticos del Neógeno.

BIBLIOGRAFIA

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

Davies, J. F., Whitehead, R. E., (2006). Alkali-Alumina and MgO-Alumina Molar Ratios of Altered and Unaltered Rhyolites. Exploration and Mining Geology, Vol. 15, N° 1-2, pp. 75-88

Dörr, W., Grösser, J. R., Rodriguez G. I., Kramm, U., (1995). Zircon U-Pb age of the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 8, N° 2, pp. 187-194.

Felder, F., Ortiz, G, Campos, C., Monsalve, I Y. Silva, A., (2005). Angostura Project, A High Sulfidation Gold-Silver Deposit Located In The Santander Complex Of North Eastern Colombia

Galvis, J. (1998). Una Caldera en el Macizo de Santander -Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. pp. 355-362.

González, O (2009). Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, Un análisis y comparación, pp. 15-25. México.

Lasprilla, M y Lozano, R., (1990). Evaluación geológica del yacimiento de oro y plata de la Mina Reina de Oro (Vetas-Santander). Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Santander)-Colombia.

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

Mathur, R. *et al* (2003). Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, N° 15, pp. 3-52.

Mantilla, W y Mogollón, J., (1991). Evaluación geológica y determinación de reservas de oro y plata de la Mina "La Botella". Municipio de Vetas, Santander. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Santander)-Colombia.

Mantilla, L. C. (2003). Guía de Laboratorio de Petrología Ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Geología.

Mantillas, L., Valencia, V., Barra, F., Pinto, J., Colegial, J. (2009). Geocronología U-Pb de los cuerpos porfíricos del Distrito Aurífero de Vetas-California (Dpto. De Santander-Colombia). *Boletín De Geología*. Vol. 31 No.1 Pág. 31-43

Mantilla, L., Mendoza, H., Bissig, T., Craig, H., (2011). Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el Distrito Minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, Vol 33, N° 1.

Mendoza, H. y Jaramillo, L. (1979). Geología y Geoquímica del Área de California, Santander. Boletín Geológico, Vol. 22, No. 2., pp. 1-98.

Mier, R. (1990). Manual de laboratorio de mineralogía óptica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología.

Polania, J., (1982). Mineralizaciones de Uranio y otros metales en California (Santander del Sur). Geología Norandina. N°6.

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.

Rollinson, H. (1993). Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman. England, 352 p.

Royero, J. M., Clavijo, J., (2001). Mapa Geológico generalizado Departamento de Santander. Memoria explicativa, INGEOMINAS.

Salazar, G., González, L., Muñoz, R., Güiza, S. Y Moreno, J. (2005). Caracterización de unidades litogeoquímicas de la Cordillera Occidental Fase I. Plancha 165. INGEOMINAS. Bogotá- Colombia

Sillitoe, R., Jaramillo, L., Damon, P., Shafiqullah, M., Escovar, R., (1982). Setting, Characteristics, and Age of the Andean Porphyry Copper Belt in Colombia. Economic Geology, Vol. 77, pp 1837-1850

Ward, D *et al.*, (1970). Recursos Minerales de parte de los Departamentos de Norte de Santander y Santander. Boletín Geológico. U.S. Geological Survey, INGEOMINAS. Vol. 17, No. 3.

Ward, D *et al.*, (1973). Geología de los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga (Departamento de Santander) y H-13 Pamplona (Departamento de Norte de Santander). U. S. Geological Survey, INGEOMINAS. Vol. XXI, N° 1-3.

Whitney, D. and Evans, B. (2010). Abbreviations and for names of rocks-forming minerals. American Mineralogist, Vol 95. Pp 185-187.

Programas utilizados

1. R. Richard L., Minpet (Mineralogical and petrological data processing system), Version 2.02 (1988-1995).
2. Igpert , Versión 2005



ANEXOS



ANEXO 1. CATALOGO DE MUESTRAS

MUESTRA BLV-25-1



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito de feldespato alcalino		
COORDENADAS	X=1.301.340	Y=1.134.040	Z=3380 msnm
TEXTURA	Fanerítica de grano fino a medio(según tamaño de componentes)		
ESTRUCTURA	Muestra Triturada no se aprecian estructuras		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 25%	Plagioclasa 5%	
	Ortoclasa 45%	Caolinita (1%)	
	Biotita 20%		
	Oxidos 4%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Material granítico de color marrón, con textura granular, fanerítica, constituida por cuarzo 25%, plagioclasa 5%, ortoclasa 45%, biotita 20%, óxidos 4% y caolinita 1%, el material presenta gran partición y desarrolla una importante oxidación.		

MUESTRA BLV-25-2



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito de feldespato alcalino		
COORDENADAS	X=1.301.340	Y=1.134.040	Z=3380 msnm
TEXTURA	Fanerítica de grano fino (según tamaño de componentes)		
ESTRUCTURA	Muestra Triturada no se aprecian estructuras		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 25%		Ortoclasa 45%
	Plagioclasa 5%		Caolinita 2%
	Biotita 18%		
	Oxido de Mn 5%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color marrón oscuro, con textura granular-fanerítica, constituida por cuarzo 25%, plagioclasa 5%, ortoclasa 47%, biotita 18%, oxido de Manganeso 5% y caolinita 2%. El material presenta gran partición y permite diferenciar a simple vista unas bolsas negras de óxido.		
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: Se presenta en cristales de grano fino, alrededor de 2mm, asociado a plagioclasa y biotita.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: Cristales de grano fino, color blancuzco, asociados a cuarzo, biotita y ortoclasa.</p>		

	<p style="text-align: center;">ORTOCLASA: Cristales de grano fino, color blanco, asociados a plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA: Cristales tabulares, brillo sedoso, color negro, asociados a cuarzo, biotita y ortoclasa.</p> <p style="text-align: center;">OXIDO: (Manganeso) Rellenan fracturas y su coloración es negra.</p>
--	--

MUESTRA BLV-25-3



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito de feldespato alcalino		
COORDENADAS	X=1.301.340	Y=1.134.040	Z=3380 msnm
TEXTURA	Fanerítica (según tamaño de componentes)		
ESTRUCTURA	Muestra Triturada no se aprecian estructuras		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 25%	Plagioclasa 5%	
	Ortoclasa 45%		
	Biotita 21%		
	Oxidos 4%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color marrón, con textura granular-fanerítica, constituida por cuarzo 25%, plagioclasa 5%, ortoclasa 45%, biotita 21% y óxidos 4%. El material presenta gran partición y alteración.		
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: Cristales de grano fino, color gris, asociados a plagioclasa y biotita.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: Cristales de grano fino, color blanco, un poco alterados y asociados a cuarzo y biotita.</p>		

	<p style="text-align: center;">ORTOCLASA: Cristales de grano fino, color blanco, asociados a plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA: Cristales de grano fino, color negro, habito tabular.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS: Se presentan en poca proporción en la roca, su coloración es negra y no esta uniformemente distribuido en la roca.</p>
--	--

MUESTRA BLV-25-4



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito (Monzogranito)		
COORDENADAS	X=1.301.340	Y=1.134.040	Z=3380 msnm
TEXTURA	Fanerítica de grano fino a medio(según tamaño de componentes)		
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 50%	Sulfuros 3%	
	Plagioclasa 20%		
	Ortoclasa 20%		
	Oxidos 7%		
DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRA DE MANO	Material granítico de color amarillo a blanco, compacta, con textura granular-fanerítica, constituida por cuarzo 50%, plagioclasa 20%, ortoclasa 20%, sulfuros 3% y óxidos 7%. El material presenta gran partición y alteración.		
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: Cristales finos de 2-3mm, color gris, irregulares.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: Se presenta en cristales finos de 2-5mm, color blanco, granos irregulares y muy fracturados.</p>		

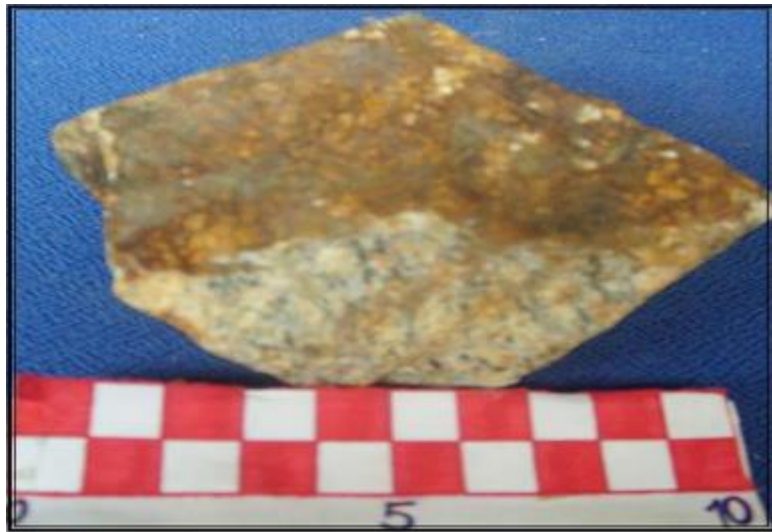
	<p style="text-align: center;">OXIDO:</p> <p style="text-align: center;">Se presenta rellenando fracturas, por su coloración negra no se puede apreciar ninguna otra propiedad.</p> <p style="text-align: center;">ORTOCLASA:</p> <p style="text-align: center;">Se encuentra asociada a cuarzo y plagioclasa, de color blanco y grano fino.</p> <p>SULFUROS: Se presentan como accesorios en la roca en pequeñas trazas.</p>
--	---

MUESTRA BLV-26-1



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granodiorita		
COORDENADAS	X=1.301.302	Y=1.134.149	Z=3374 msnm
TEXTURA	Porfiritica (según tamaño relativo de componentes)		
ESTRUCTURA	Masiva (según tamaño de los componentes)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 30%		
	Ortoclasa 16%		
	Plagioclasa 40%		
	Biotita 10%		
DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a gris, con textura granular-fanerítica, constituida por fenocristales de cuarzo 30%, plagioclasa 40%, ortoclasa 16% y biotita 10%. De matriz afanítica holocristalina granular fina de cuarzo, plagioclasa y biotita. El material presenta gran partición y alteración, la plagioclasa altera a Sericita.		

MUESTRA BLV-26-2



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granodiorita Porfírica		
COORDENADAS	X=1.301.302	Y=1.134.149	Z=3374 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según grado de cristalinidad) Fanerítica (según tamaño de componentes)		
ESTRUCTURA	Masiva (según tamaño de los componentes)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 25%	Sulfuros 5%	
	Ortoclasa 45%		
	Plagioclasa 10%		
	Biotita 15%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a tonalidades que van de amarillo a marrón, con textura granular-fanerítica, constituida por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y biotita. De matriz afanítica compuesta de cuarzo, plagioclasa y algunos cristales de biotita. La roca contiene venas de cuarzo y sulfuros producto de alteración hidrotermal.		

MUESTRA BLV-27-1



TIPO DE ROCA	Metamórfica		
NOMBRE	Neis Biotítico (Roca caja)		
COORDENADAS	X=1.301.897	Y=1.134.322	Z=3418 msnm
TEXTURA	Granolepidoblástica		
ESTRUCTURA	Néisica		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 29%		
	Plagioclasa 20%		
	Biotita 50%		
	Sericita 1%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco, con textura granolepidoblástica, constituida por cuarzo, plagioclasa, biotita y sericita. Se diferencia en muestra de mano el bandeamiento composicional.		

MUESTRA BLV-27-2



TIPO DE ROCA	Metamórfica		
NOMBRE	Roca silicificada		
COORDENADAS	X=1.301.897	Y=1.134.322	Z=3418 msnm
TEXTURA	Granolepidoblástica		
ESTRUCTURA	Néisica		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 30%	Feldespato alcalino (45%)	
	Plagioclasa 5%	Caolinita (3%)	
	Biotita 5%	Sericita (2%)	
	Sulfuros 10%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a marrón, con textura holocristalina, constituida por cuarzo, plagioclasa y sulfuros. Presenta evidencia de silicificación.		

MUESTRA BLV-27-3



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Roca silicificada-Vena de cuarzo		
COORDENADAS	X=1.301.897	Y=1.134.322	Z=3418 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según grado de cristalinidad)		
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 82%		
	Oxido de Mn 15%		
	Pirita 3%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a marrón, con textura holocristalina, estructura masiva, constituida por cuarzo, oxido de manganeso y pirita. Presenta evidencia de silicificación.		

MUESTRA BLV-28-1



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo (Vena de cuarzo)		
COORDENADAS	X=1.301.433	Y=1.133.870	Z=3353 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según grado de cristalinidad)		
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 89%		
	Ortoclase 10%		
	Pirita 1%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a marrón, con textura holocristalina, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 89%, ortoclase 10% y pirita 1%. Presenta evidencia de silicificación.		

MUESTRA BLV-28-3



TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granodiorita		
COORDENADAS	X=1.301.433	Y=1.133.870	Z=3353 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según grado de cristalinidad)		
ESTRUCTURA	Fanerítica (según tamaño de los componentes)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 25%		
	Plagioclasa 15%		
	Biotita 15%		
	Ortoclasa 45%		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a marrón, con textura holocristalina, fanerítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 25%, plagioclasa 15%, ortoclasa 45% y biotita 15%. Presenta evidencia de lavado hidrotermal.		

MUESTRA BLV-29-1

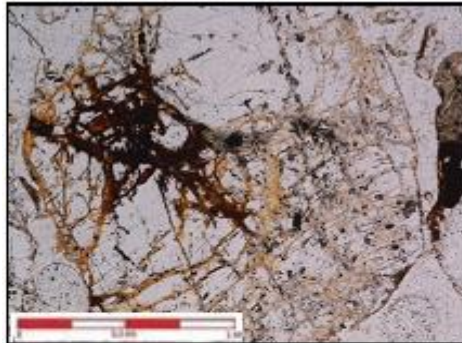


TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito porfirítico		
COORDENADAS	X=1.301.515	Y=1.133.702	Z=3344 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según grado de cristalinidad)		
ESTRUCTURA	Muestra triturada no se aprecian estructuras solo composición		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 60%		
	Plagioclasa 20%		
	Biotita 10%		
	Ortoclasa 10%		
DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRA DE MANO	Roca de color blanco a amarillo, con textura holocristalina, fanerítica y matriz afanítica, constituida en general por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y biotita. El cuarzo se presenta en fenocristales de hasta 1cm, algunos redondeados y otros bipiramidales.		

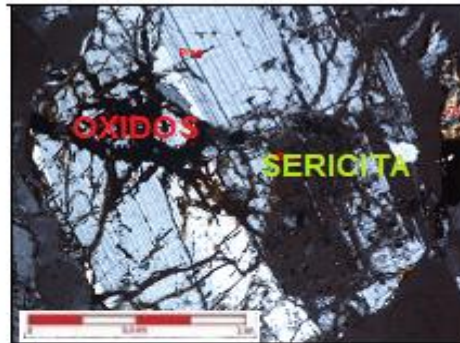


ANEXO 2. CATALOGO PETROGRÁFICO

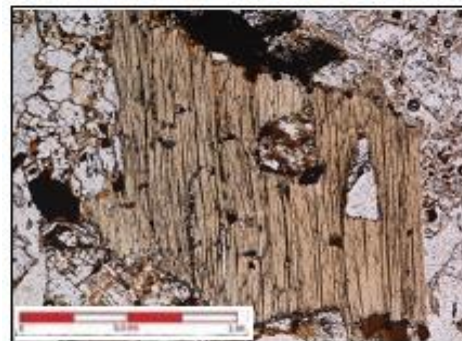
MUESTRA BLV-25-1



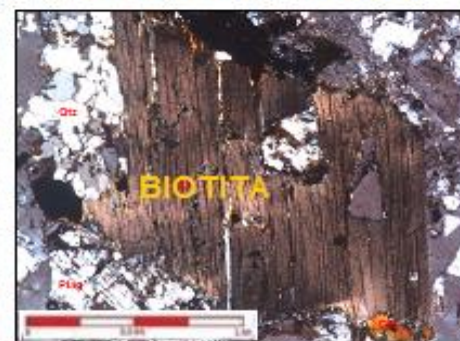
NICOLES PARALELOS



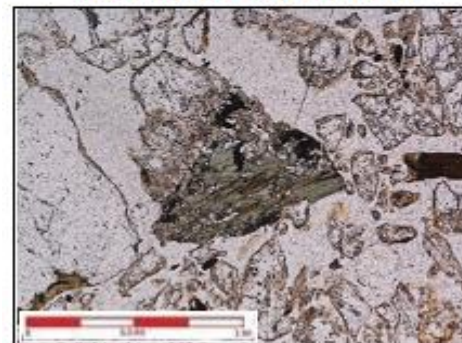
NICOLES CRUZADOS



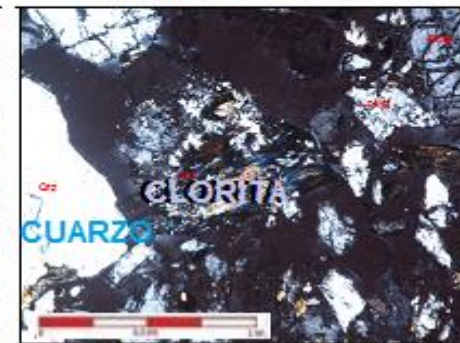
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS



NICOLES PARALELOS

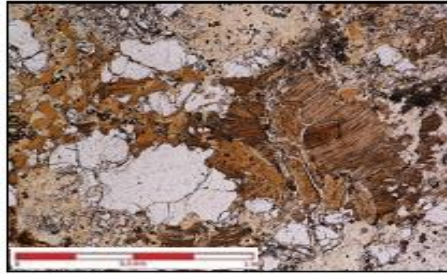


NICOLES CRUZADOS

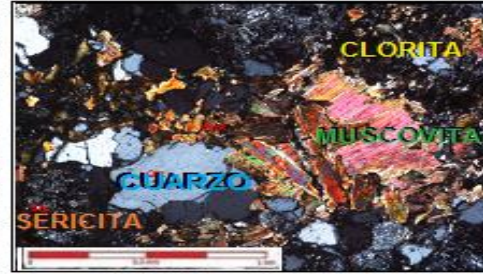
TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granito		
COORDENADAS	X=1.301.340	Y=1.134.040	Z=3380 msnm
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Fanerítica (según tamaño de los componentes)		
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo 20%		Oxidos 3%

	Plagioclasa 13%	Zircon 1% (Accesorio)
	Biotita 10%	Clorita 3% (Alteración)
	Ortoclasa 47%	Sericita 3% (Alteración)
	Muscovita 1%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p>CUARZO: En cristales anhedrales limpios, se presenta en algunos sectores a manera de agregado fino, mientras en otros sectores de la roca en cristales de 10-50 μm. También se observan ciertos cristales de cuarzo con oxidación en sus bordes.</p> <p>PLAGIOCLASA: En cristales anhedrales, maclados de composición Na y Na-Ca, algunos cristales en baja proporción muestran leve zonación. También se presenta alteración de la plagioclasa a Sericita, mostrando a su vez gran partición del mineral.</p> <p>BIOTITA: Se presenta en cristales alargados, con pleocroísmo marrón, con alteración a clorita de bordes a centro, aún conserva la forma relictas de las láminas.</p> <p>OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo, generalmente se forma en los bordes de los minerales hasta cubrirlos total o parcialmente. Se encuentra asociado a la roca granítica como accesorio.</p> <p>FELDESPATO ALCALINO: Se presenta en cristales subhedrales, birrefringencia baja y asociado a cuarzo, plagioclasa y biotita.</p> <p>ZIRCÓN: Se presenta como un cristal de $1\mu\text{m}$ en un cuarzo por lo cual es considerado como un accesorio en la roca.</p> <p>SERICITA: Se presenta como alteración de la plagioclasa, haciendo que los cristales de este presenten apariencia terrosa y se encuentra en el centro del mineral hacia los bordes.</p> <p>CLORITA: Aparece como alteración de Biotita, de color verde pleocróica y con birrefringencia azul anómalo de primer orden.</p>	

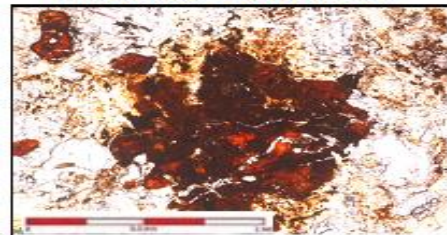
MUESTRA BLV-26-1



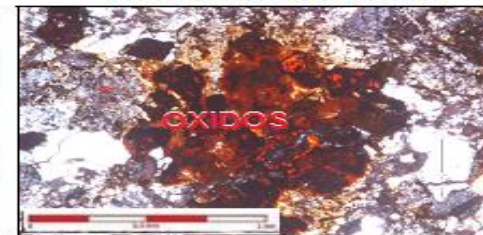
NICOLES PARALELOS



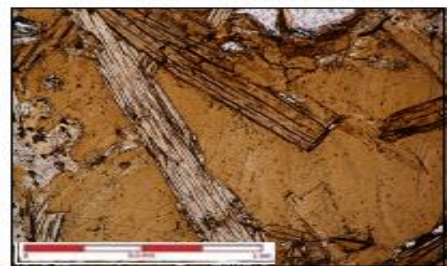
NICOLES CRUZADOS



NICOLES PARALELOS



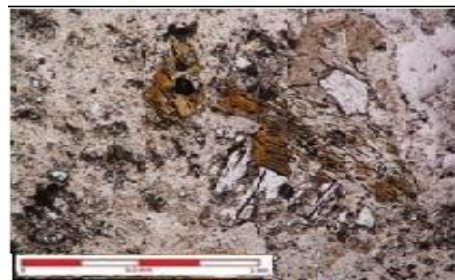
NICOLES CRUZADOS



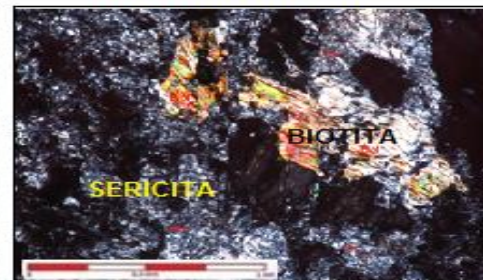
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS



NICOLES PARALELOS

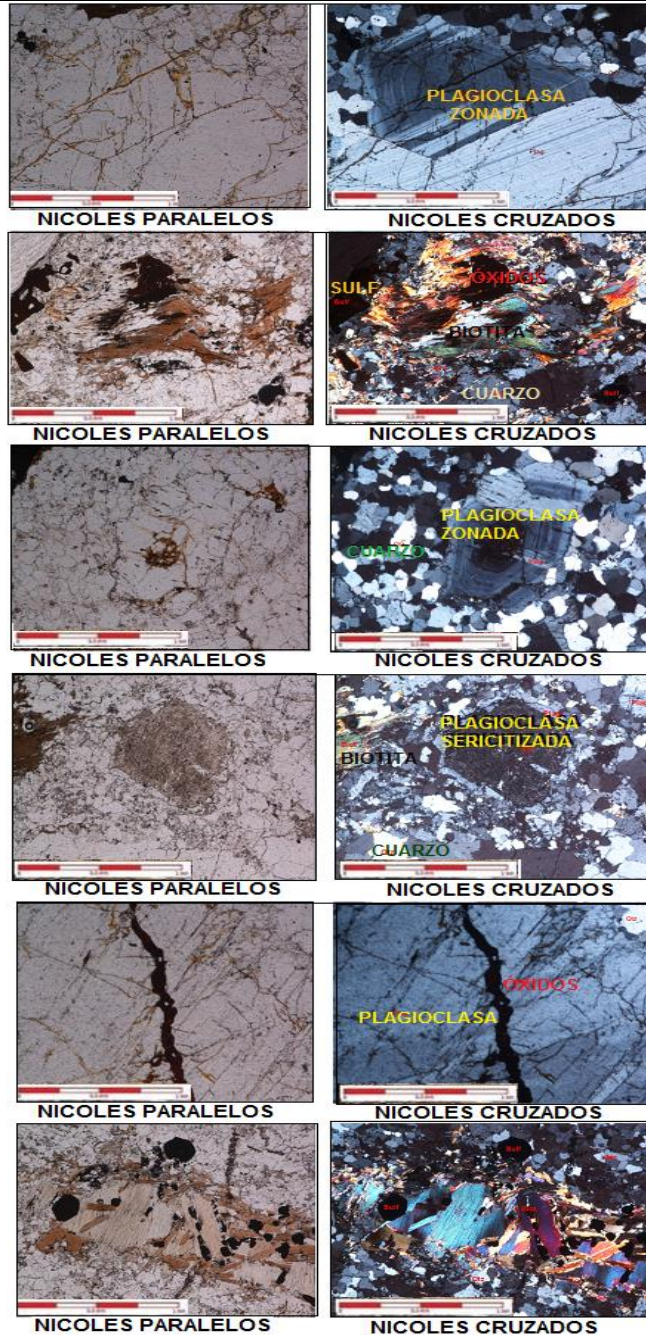


NICOLES CRUZADOS

TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granito porfírico (Granito de feldespato alcalino)			
COORDENADAS	X=1.301.302	Y=1.134.149	Z=3374 msnm	+/- 6m
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Porfírica (según tamaño de los componentes)			
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			

	Cuarzo 35%	Oxidos 3%
	Plagioclasa 3%	Muscovita 1% (Alteración)
	Biotita 10%	Clorita 4% (Alteración)
	Ortoclasa 40%	Sericita 3% (Alteración)
	Epidota 1%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: En cristales anhedrales limpios, diseminados en todo el cuerpo de roca, también en agregados microcristalinos relleno de venas.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: En cristales anhedrales y subhedrales, con alteración a Sericita principalmente en el núcleo de los cristales.</p> <p style="text-align: center;">ANFIBOL: En cristales anhedrales como inclusiones en la plagioclasa, de tamaño inferior a 5µm, se presenta como accesorio.</p> <p style="text-align: center;">EPIDOTA: En cristales anhedrales, de color pardo con relieve alto, birrefringencia anómala del amarillo de primer orden al verde de segundo orden, se presenta en muy poca proporción en la roca por lo cual es considerado como un accesorio.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo.</p>	

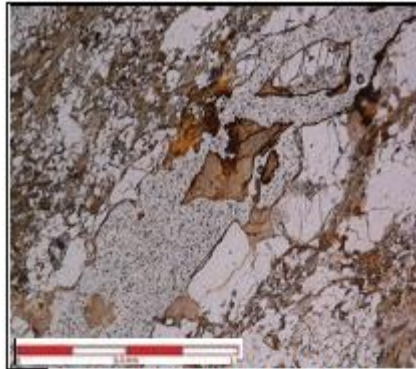
MUESTRA BLV-26-2



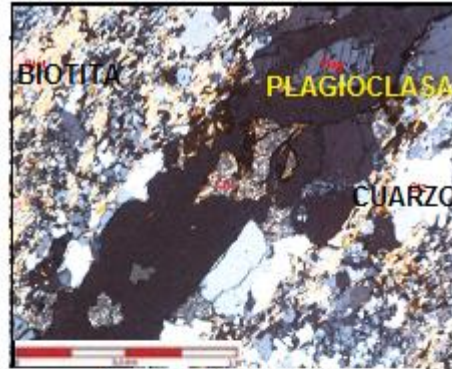
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granito Porfírico			
COORDENADAS	X=1.301.302	Y=1.134.149	Z=3374 msnm	+/- 6m
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Fanerítica (según tamaño de los componentes)			
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)			

COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES	
	Cuarzo 22%	Oxidos 5%
	Plagioclasa 10%	Microclina 1% (Accesorio)
	Biotita 13%	Clorita 5% (Alteración)
	Ortoclasa 42%	Sulfuros (Pirita) 1%
	Anfibol 1% (Accesorio)	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: Abundantes cristales anhedrales cuyo agregado se encuentra distribuido uniformemente en una fractura formando una vena.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: En cristales subhedrales y anhedrales, con alteración a Sericita, principalmente en el núcleo, en los cristales inalterados se presenta maclado que permite diferenciar las variaciones composicionales existentes en la roca, de acuerdo a esto hay presencia de plagioclasa Na y Ca y también se puede observar zonación composicional paralela a las caras del cristal.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA: En láminas subhedrales pleocróicos y de color marrón, alterando levemente en sus bordes a Clorita.</p> <p style="text-align: center;">CLORITA: La clorita se presenta en cristales con leve pleocroísmo verde y birrefringencia anómala (azul).</p> <p style="text-align: center;">FELDESPATO ALCALINO -MICROCLINA: El feldespato alcalino se presenta con baja birrefringencia y de forma heterogénea en la roca. Los cristales de Microclina se presentan en la roca como un accesorio y se diferencian de los demás tectosilicatos por su exfoliación perfecta en dos direcciones, aunque los cristales se encuentran muy fracturados y con agregado fino del mismo material en sus bordes.</p> <p style="text-align: center;">ANFIBOL: Se presenta en cristales alargados muy oxidados.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo.</p>	

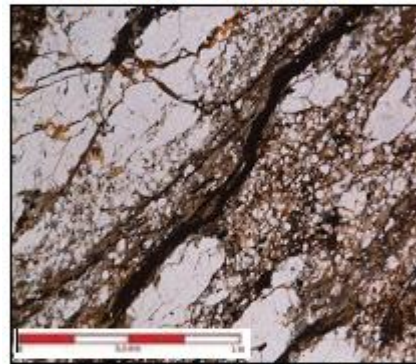
MUESTRA BLV-27-1



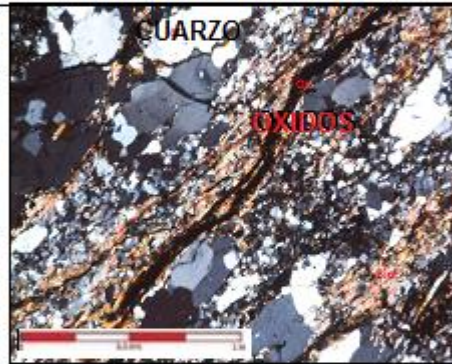
NICOLES PARALELOS



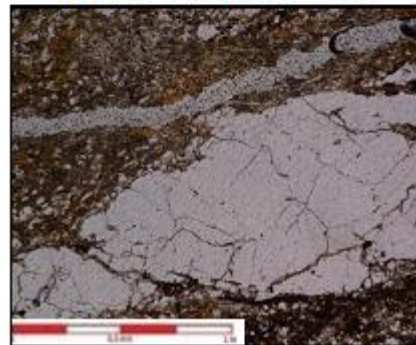
NICOLES CRUZADOS



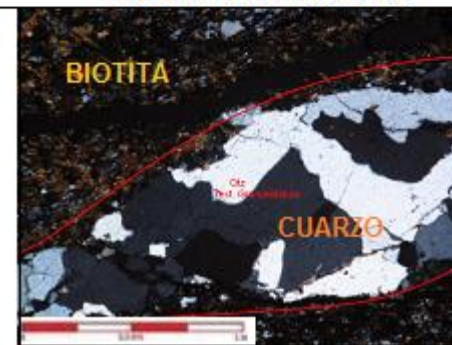
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS



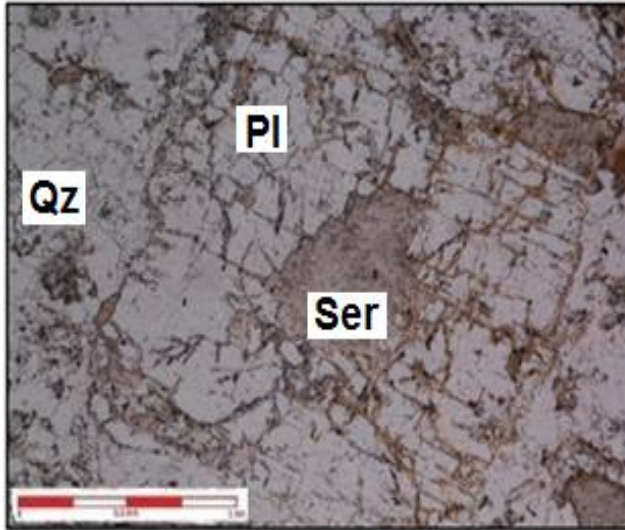
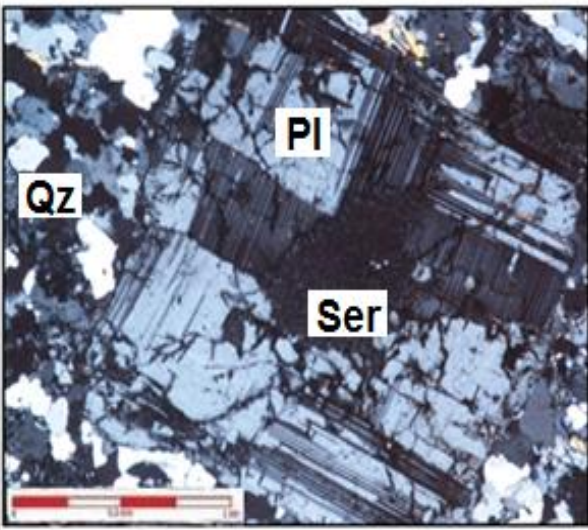
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS

TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Neis Biotítico			
COORDENADAS	X=1.301.897	Y=1.134.322	Z=3418 msnm	+/-7m
TEXTURA	Granolepidoblástica			
ESTRUCTURA	Neisica			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo 20%		Oxidos 4%	
	Plagioclasa 15%		Sericita 1% (Alteración)	
	Biotita 50%		Muscovita 1% (Alteración)	

	Clorita 8% (Alteración)	Caolinita 1% (Alteración)
<p>DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL</p>	<p>BIOTITA: En agregado de cristales alargados con pleocroísmo marrón, con presencia de oxidación en sus bordes y también alteración.</p> <p>CLORITA: Se presenta en cristales con pleocroísmo verde y birrefringencia anómala (azul berlín), aparece como alteración de la Biotita.</p> <p>CUARZO: En pequeños cristales anhedrales y también en agregados microcristalinos.</p> <p>PLAGIOCLASA: Generalmente se encuentra en forma de agregados de cristales subhedrales.</p> <p>SERICITA: Se presenta como alteración de la Plagioclasa</p> <p>OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo.</p>	

MUESTRA BLV-27-2				
				
NICOLOS PARALELOS		NICOLOS CRUZADOS		
TIPO DE ROCA	Roca metamórfica silicificada			
COORDENADAS	X=1.301.897	Y=1.134.322	Z=3418 msnm	+/-7m
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo 40%		Oxidos 1%	
	Plagioclasa 30%		Sericita 5% (Alteración)	
	Biotita 18%		Zircón 1% (Accesorio)	
	Clorita 2% (Alteración)		Sulfuros 2% (Accesorio)	
	Microclina 1% (Accesorio)			
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: En cristales anhedrales de 10-50µm relleno de venas y a su vez distribuido aleatoriamente en la roca.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: En cristales de composición Cálcica y Sódica, diferenciados por la presencia de maclas, forman agregados anhedrales inequigranulares empolvados por alteración a Sericita.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA: En láminas subhedrales de color marrón, pleocróica, asociada a cuarzo y plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">CLORITA: Se presenta como alteración de la Biotita con pleocroísmo verde y colores de birrefringencia anómalos (azul berlín).</p> <p style="text-align: center;">SERICITA: Agregado fino a manera de polvillo sobre cristales de Plagioclasa asociado a este como alteración.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo,</p>			

rellenando fracturas en las Plagioclasas.

SULFUROS:

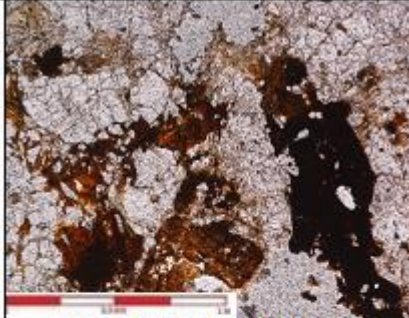
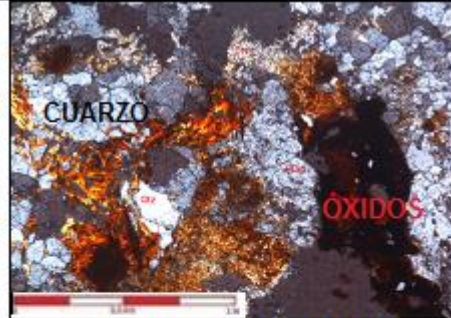

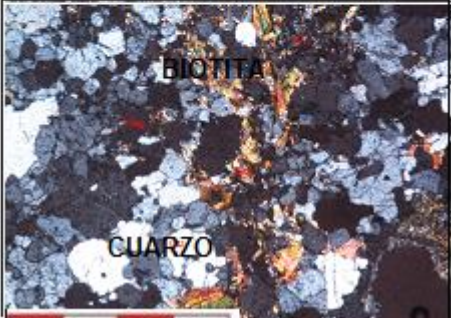
En cristales distribuidos aleatoriamente en la roca, subhedrales y anhedrales, asociados a cuarzo y plagioclasa. Puede ser pirita como se aprecia en la muestra de mano.

ZIRCÓN:

Granos aislados de Zircón en la roca con tamaño inferior a 5 μ m.

MICROCLINA:

Se presenta como pequeños cristales aislados en la roca, considerado como accesorio.

MUESTRA BLV-28-1				
 NICOLES PARALELOS		 NICOLES CRUZADOS		
 NICOLES PARALELOS		 NICOLES CRUZADOS		
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo (Vena de cuarzo)			
COORDENADAS	X=1.301.433	Y=1.133.870	Z=3353 msnm	+/-4m
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Fanerítica (según tamaño de los componentes)			
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo 50%		Oxidos 1%	
	Plagioclasa 30%		Sericita 1% (Alteración)	
	Biotita 15%			
	Clorita 2% (Alteración)			
	Epidota 1% (Accesorio)			
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO: En cristales anhedrales, birrefringencia con grises de primer orden, extinción normal y levemente fracturado.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: En cristales anhedrales, se encuentra empolvada por alteración a Sericita, algunos cristales están fracturados.</p>			

BIOTITA:

En láminas subhedrales de color pardo a marrón o en agregados anhedrales con pleocroísmo marcado marrón, se altera en los bordes y a lo largo del clivaje a clorita de color verde

OXIDOS:

Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo, asociado a cuarzo y plagioclasa, alterándolos de bordes al núcleo hasta reemplazarlos totalmente.

EPIDOTA:

Cristales finos asociados Plagioclasa y Cuarzo.

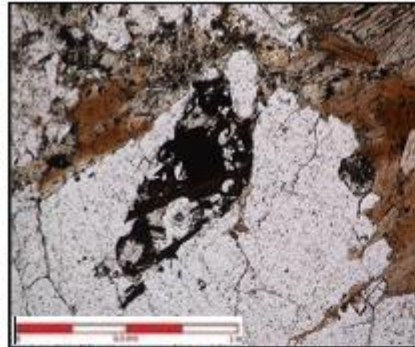
CLORITA:

En cristales con pleocroísmo verde, birrefringencia anómala azul berlín, alterando la Biotita de bordes a centro.

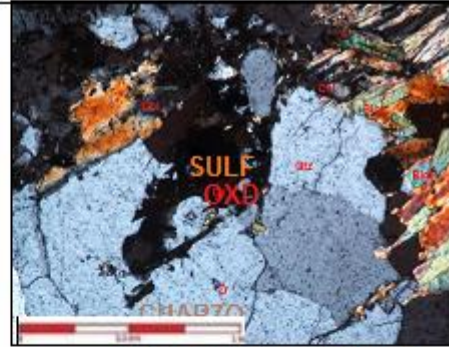
SERICITA:

Agregado fino a manera de polvillo sobre cristales de Plagioclasa asociado a este como alteración.

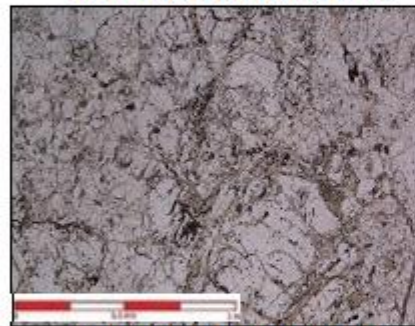
MUESTRA BLV-28-3



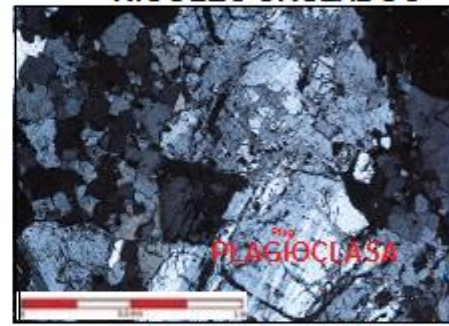
NICOLES PARALELOS



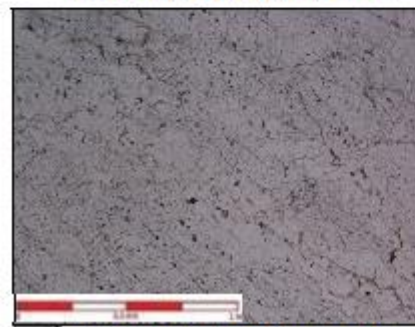
NICOLES CRUZADOS



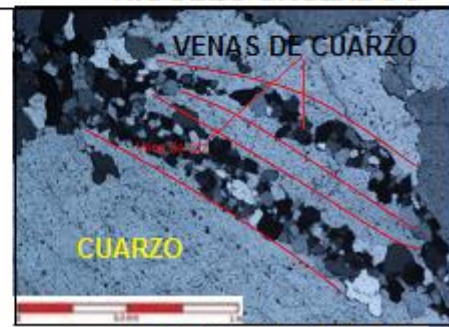
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS



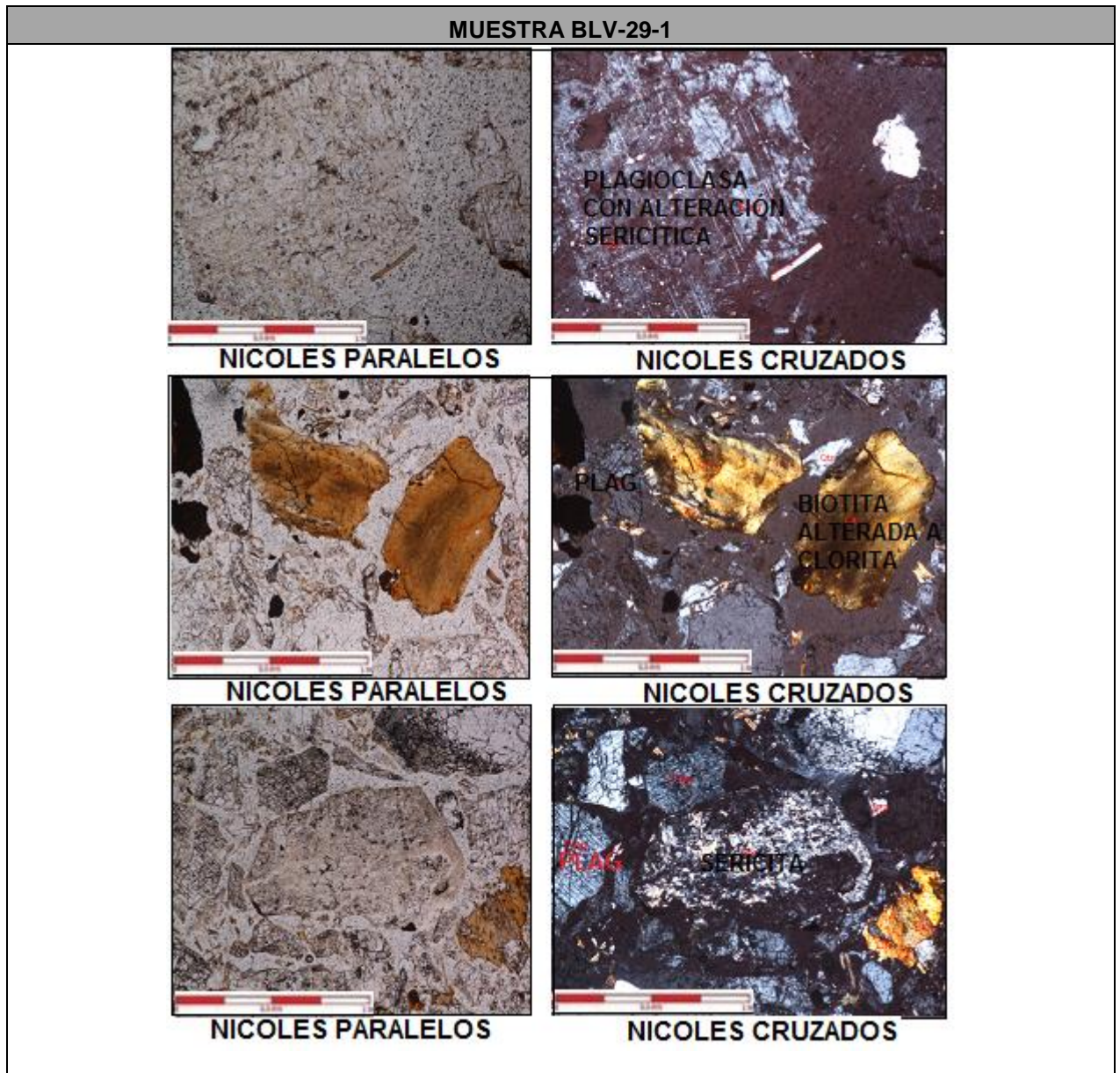
NICOLES PARALELOS



NICOLES CRUZADOS

TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granito (Sienogranito)			
COORDENADAS	X=1.301.433	Y=1.133.870	Z=3353 msnm	+/-4m
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Fanerítica (según tamaño de los componentes)			
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo 28%		Oxidos 4%	
	Plagioclasa 10%		Ortoclasa 38%	
	Biotita 15%			
	Clorita 4% (Alteración)			

	Zircón 1% (Accesorio)	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	<p style="text-align: center;">CUARZO:</p> <p><i>Cuarzo 1:</i> Abundantes cristales anhedrales, con birrefringencia blanco a gris del primer orden. <i>Cuarzo</i></p> <p><i>2:</i> cristales en agregado fino relleno de fracturas a manera de venas, con birrefringencia blanco a gris de primer orden.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA:</p> <p>Cristales subhedrales y anhedrales, leve a moderadamente maclados, que permiten diferenciar sus composiciones de Na y Ca.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA:</p> <p>En cristales subhedrales, con pleocroísmo marrón, asociados a Cuarzo y Plagioclasa, levemente alterados en sus bordes a Clorita.</p> <p style="text-align: center;">CLORITA:</p> <p>Como un mineral de alteración de color verde, pleocrómico y birrefringencia anómala azul berlín oscuro.</p> <p style="text-align: center;">ZIRCÓN:</p> <p>Cristales anhedrales con tamaño inferior a 5µm, se presenta como inclusión en cuarzo.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS:</p> <p>Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo.</p> <p style="text-align: center;">FELDESPATO ALCALINO:</p> <p>Aparece en la roca en poca proporción como microclina y ortoclasa y se distribuye de manera heterogénea.</p>	



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granito porfírico			
COORDENADAS	X=1.301.515	Y=1.133.702	Z=3344 msnm	+/-8m
TEXTURA	Holocristalina (según el grado de cristalinidad) Porfírica (según tamaño de los componentes)			
ESTRUCTURA	Masiva (según procesos de cristalización del magma)			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo 51%		Oxidos 3%	

	Plagioclasa 20%	Sericita 5%
	Biotita 15%	
	Clorita 5% (Alteración)	
	Pigeonita 1% (Accesorio)	
<p>DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL</p>	<p style="text-align: center;">CUARZO: En cristales anhedrales, incoloro, sobresale su color de birrefringencia blanco de primer orden, también sobresale su forma esférica y algunos bipiramidales.</p> <p style="text-align: center;">PLAGIOCLASA: Se presenta en cristales subhedrales con bordes irregulares y triturados, empolvados por alteración a Sericita, levemente maclados.</p> <p style="text-align: center;">BIOTITA: En cristales con pleocroísmo marrón, alterados a clorita de bordes a centro, asociada a Cuarzo y Plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">PIGEONITA: En cristales anhedrales, con dos direcciones de exfoliación, levemente maclados, birrefringencia en tonos grises de primer orden, extinción 38°, asociados a cuarzo y plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">CLORITA: Como mineral de alteración a partir de Biotita, generalmente adopta la forma tabular de esta, es de color verde pálido, pleocróico y presenta una birrefringencia anómala azul berlín.</p> <p style="text-align: center;">SERICITA: Se presenta como mineral de alteración de Plagioclasa.</p> <p style="text-align: center;">OXIDOS: Se presenta en la roca con relieve alto y coloración amarillo a marrón rojizo.</p> <p style="text-align: center;">MATRIZ: Matriz afanítica en la que predominan agregados de cuarzo y plagioclasa.</p>	



ANEXO 3. RESULTADOS DE ANALISIS DE DIFRACCIÓN X (DRX)



Laboratorio de Difracción de Rayos-X

INF-058-10-6

Bucaramanga, mayo 9 de 2011

SEÑORES:

ESCUELA DE GEOLOGÍA

Atn: Dr. Luis Carlos Mantilla

Director del proyecto 7429

UIS/Presente

Cordial saludo:

Por medio de la presente estoy haciendo entrega de los resultados de los análisis cuantitativos por Difracción de Rayos-X de doce (12) muestras, identificadas como “**BLV-25-1, BLV-25-2, BLV-25-3, BLV-25-4, BLV-26-1, BLV-26-2, BLV-27-1, BLV-27-2, BLV-27-3, BLV-29-1, BLV-28-1 y BLV-25-3**”.

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ
Director Laboratorio de Difracción de Rayos-X
PQ 0321

*Universidad Industrial de Santander, Escuela de Química, Laboratorio de Postgrado 111
Edificio Camilo Torres, Bucaramanga, PBX 6344000 Ext. 22 26, Telefax 6347166
Apartado Aéreo N° 678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890. 201.213-4*

METODOLOGÍA

1. Preparación y Montaje de las muestras

El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal.

2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca SIEMENS modelo D500 bajo las siguientes condiciones:

Voltaje	40(kV)
Corriente	30(mA)
Rendija de Divergencia	0.15mm
Rendijas Soller Primario	2°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Monocromador	Grafito
Detector	Centelleo
Tipo de barrido	Continuo
Tiempo de muestreo	1 segundo

3. Tipo de Análisis

Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó 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).

Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo de las fases encontradas se realizó mediante el refinamiento por el Método de Rietveld del perfil observado habiéndole agregado a la muestra una cantidad conocida de un estándar interno (*Aluminum oxide*, -100mesh, 99%. *Corundum*, α -phase. Aldrich No. 23,474-5) correspondiente al 20%.

4. Información suministrada por el cliente

Análisis elemental: No.

Interés por alguna(s) fase(s) en particular: Identificación y cuantificación de fases cristalinas.

♦ Los resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas.

RESULTADOS

1. BLV-25-1 (C2UO)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-70-0355	Cuarzo	6.3 % (D.E = 0.2)
	$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) (\text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8)$	000-76-0926	Albita	33.5 % (D.E = 0.5)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	25.0 % (D.E = 0.5)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-75-0938	Caolinita	7.7 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{O H})_2$	000-80-1110	Biotita	18.4 % (D.E = 0.4)
Total Cristalino				90.9 %
Amorfos				9.1 %

2. BLV-25-3 (C2UQ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-85-0930	Cuarzo	8.3 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	17.3 % (D.E = 0.4)
	$\text{K}_2 (\text{Al}_{3.74} \text{Fe}_{0.26}) (\text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) (\text{OH})_4$	000-076-0668	Moscovita	36.0 % (D.E = 0.8)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-13-0375	Halloisita	N.C
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-75-0938	Caolinita	27.4 % (D.E = 0.6)
Total Cristalino				89.0 %
Amorfos y otros				1. %

2. BLV-25-4 (C2UR)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-83-2465	Cuarzo	21.9 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	44.2 % (D.E = 0.4)
	$\text{K Al}_3\text{ (SO}_4\text{)}_2\text{ (OH)}_6$	000-14-0136	Alunita	9.0 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10}\text{ (OH)}_2$	000-07-0032	Moscovita	4.8 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2\text{ (Si}_2\text{ O}_5\text{) (OH)}_4$	000-74-1784	Caolinita	2.5 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				82.4 %
Amorfos				17.6 %

3. BLV-26-1 (C2US)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-87-0794	Cuarzo	8.4 % (D.E = 0.2)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	29.9 % (D.E = 0.5)
	$\text{K}_{1.2}\text{ Al}_4\text{ Si}_8\text{ O}_{20}\text{ (OH)}_4\text{ 4 H}_2\text{O}$	000-29-1495	Rectorita	---
	$\text{K Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10}\text{ (OH)}_2$	000-74-0345	Moscovita	15.3 % (D.E = 0.5)
	$\text{Al}_2\text{ (Si}_2\text{ O}_5\text{) (OH)}_4$	000-01-0527	Caolinita	30.0 % (D.E = 0.9)
Total Cristalino				83.6 %
Amorfos y otros				16.4 %

4. BLV-26-2 (C2UT)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-82-0511	Cuarzo	14.4 % (D.E = 0.2)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	14.6 % (D.E = 0.3)
	$\text{Ca}_{0.64} \text{Na}_{0.35} (\text{Al}_{1.63} \text{Si}_{2.37} \text{O}_8)$	000-83-1371	Labradorita	41.0 % (D.E = 0.6)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-84-1304	Moscovita	11.3 % (D.E = 0.5)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-83-0971	Caolinita	2.4 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				83.7 %
Amorfos				16.3 %

5. BLV-27-1 (C2UU)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO_2	000-85-0794	Cuarzo	14.0 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na}_{0.45} \text{Ca}_{0.55} \text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45} \text{O}_8$	000-78-0434	Labradorita	32.0 % (D.E = 0.4)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	9.9 % (D.E = 0.3)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-80-0885	Caolinita	15.5 % (D.E = 0.3)
	$\text{Mg}_8 (\text{OH})_4 \text{Si}_{12} \text{O}_{30} (\text{H}_2\text{O})_{12}$	000-75-1597	Sepiolita	14.9 % (D.E = 0.3)
	MnO_2	000-12-0720	Groutellita	3.4 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				89.7 %
Amorfos				10.3 %

6. BLV-27-2 (C2UV)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-70-3755	Cuarzo	16.9 % (D.E = 0.3)
	$(\text{K}_{0.94} \text{Na}_{0.06}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	000-76-0823	Ortoclasa	30.3 % (D.E = 0.5)
	$\text{Na}_{0.45} \text{Ca}_{0.55} \text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45} \text{O}_8$	000-78-0434	Labradorita	16.5 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	000-80-1110	Biotita	4.6 % (D.E = 0.3)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-78-1996	Caolinita	3.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-84-1306	Moscovita	10.7 % (D.E = 0.4)
Total Cristalino				82.7 %
Amorfos				17.3 %

7. BLV-27-3 (C2UW)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO_2	000-87-2096	Cuarzo	60.9 % (D.E = 0.6)
	$\text{K (Al Si}_3) \text{O}_8$	000-71-1540	Ortoclasa	6.7 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-75-0948	Moscovita	5.0 % (D.E = 0.3)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-80-0886	Caolinita	2.3 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				74.9 %
Amorfos				25.1 %

8. BLV-29-1 (C2UX)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO_2	000-85-0794	Cuarzo	5.0 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na}_{0.48} \text{Ca}_{0.52} \text{Al}_{1.52} \text{Si}_{2.48} \text{O}_8$	000-85-0878	Anortita	37.5 % (D.E = 0.4)
	$\text{K} (\text{Al Si}_3) \text{O}_8$	000-75-1190	Ortoclasa	16.9 % (D.E = 0.3)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-83-0971	Caolinita	12.1 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	000-80-1106	Biotita	2.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2 (\text{OH})_2$	000-45-1454	Lipscombbita	1.5 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				75.6 %
Amorfos				24.4 %

9. BLV-28-1 (C2UY)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO_2	000-85-0794	Cuarzo	24.5 % (D.E = 0.3)
	$\text{K} (\text{Al Si}_3) \text{O}_8$	000-71-1540	Ortoclasa	58.1 % (D.E = 0.7)
	$\text{K}_{1.2} \text{Al}_4 \text{Si}_8 \text{O}_{20} (\text{OH})_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	000-29-1495	Rectorita	-----
Total Cristalino				82.6 %
Amorfos y otros				17.4 %

10. BLV-28-3 (C2UZ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO_2	000-83-2466	Cuarzo	17.8 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al Si}_3\text{) O}_8$	000-31-0966	Ortoclasa	31.7 % (D.E = 0.5)
	$\text{Ca Al}_2\text{ Si}_2\text{ O}_8$	000-70-0287	Anortita	15.8 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_3\text{ Si}_3\text{ O}_{10} (\text{OH})_2$	000-84-1302	Moscovita	13.4 % (D.E = 0.4)
	$\text{K}_{1.2}\text{ Al}_4\text{ Si}_8\text{ O}_{20} (\text{OH})_4 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$	000-29-1495	Rectorita	-----
Total Cristalino				78.7 %
Amorfos y otros				21.3 %

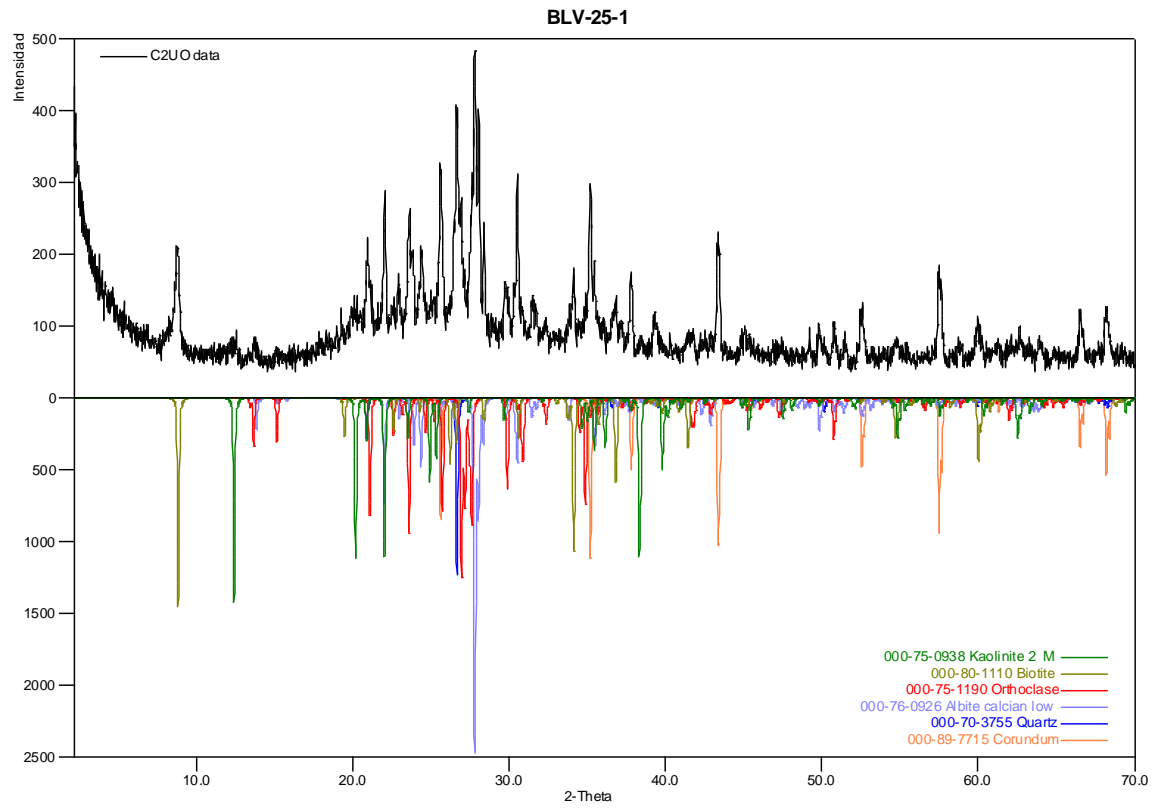
Nota:

D.E = Desviación estándar

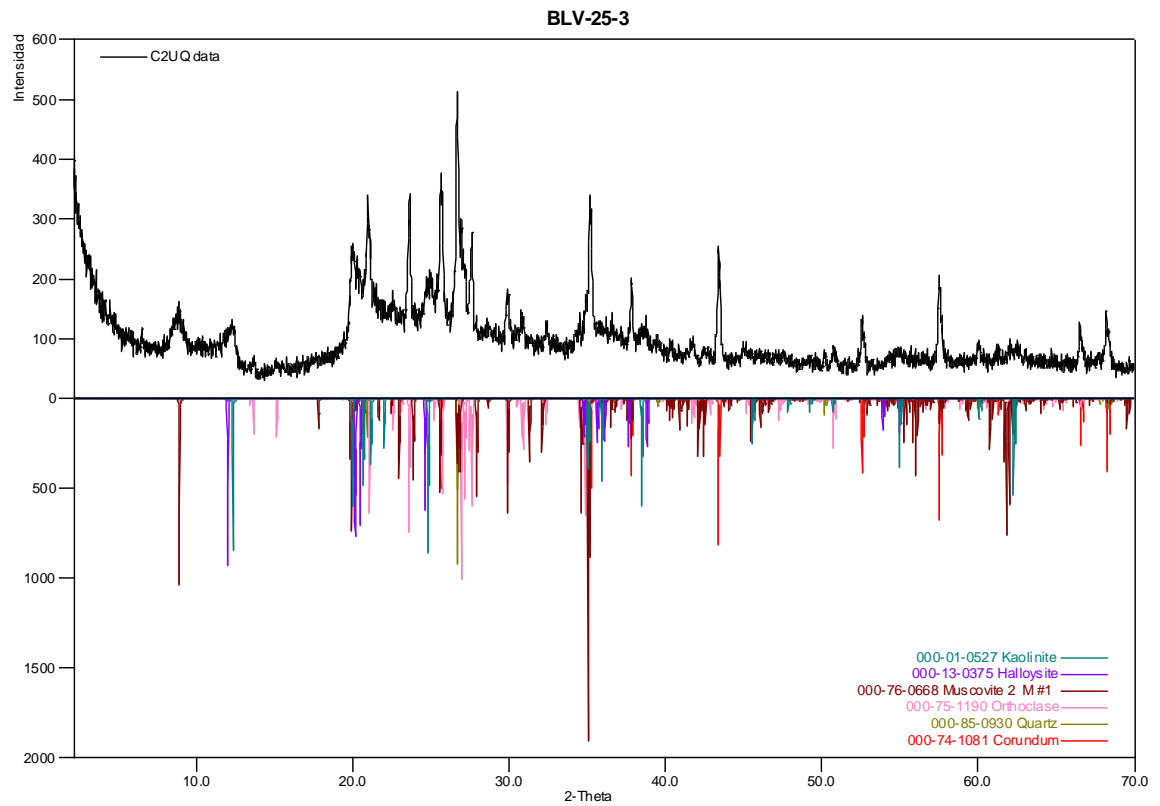
N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

Observaciones:

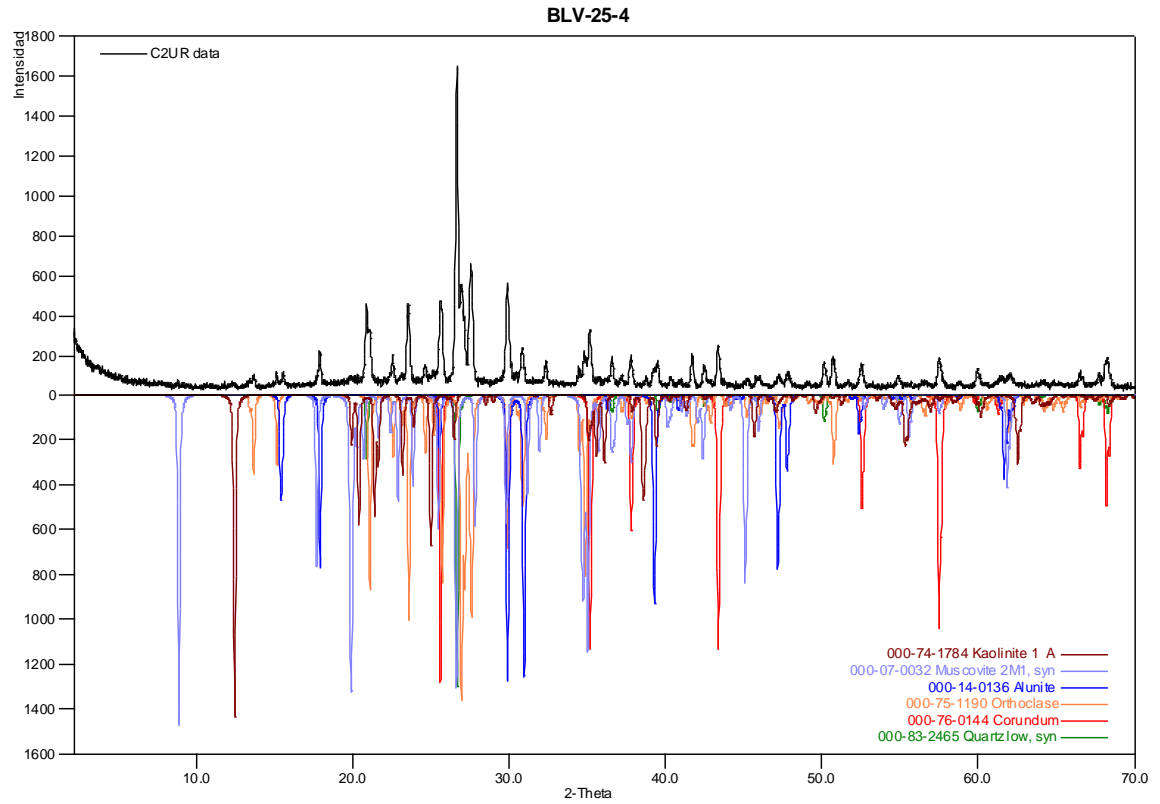
1. En los perfiles de difracción se observa la fase de *Corundum - Aluminum Oxide* (estándar interno), el cual fue agregado a la muestra en una cantidad conocida para la respectiva cuantificación.
2. En las muestras **BLV-26-1**, **BLV-28-1** y **BLV-28-3** la fase **reclorita** no fue cuantificada debido a que no se encuentran los datos cristalográficos reportados en la base PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).
3. Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.



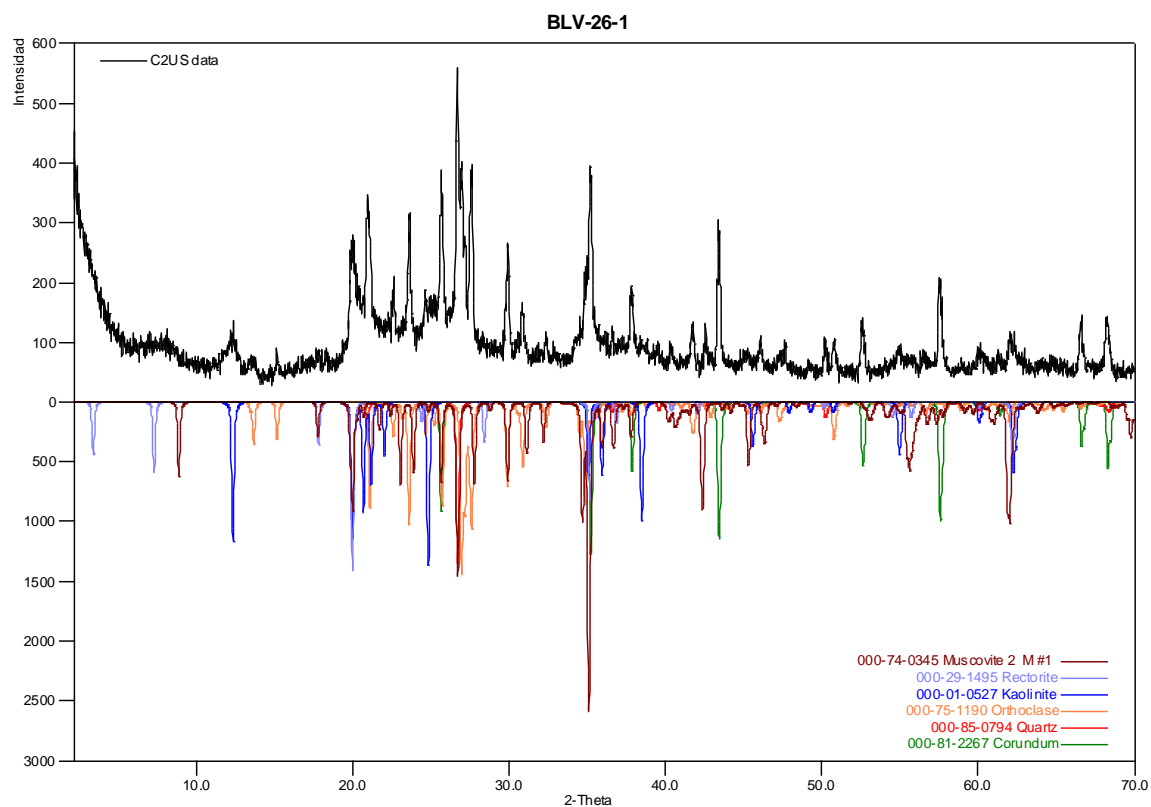
...



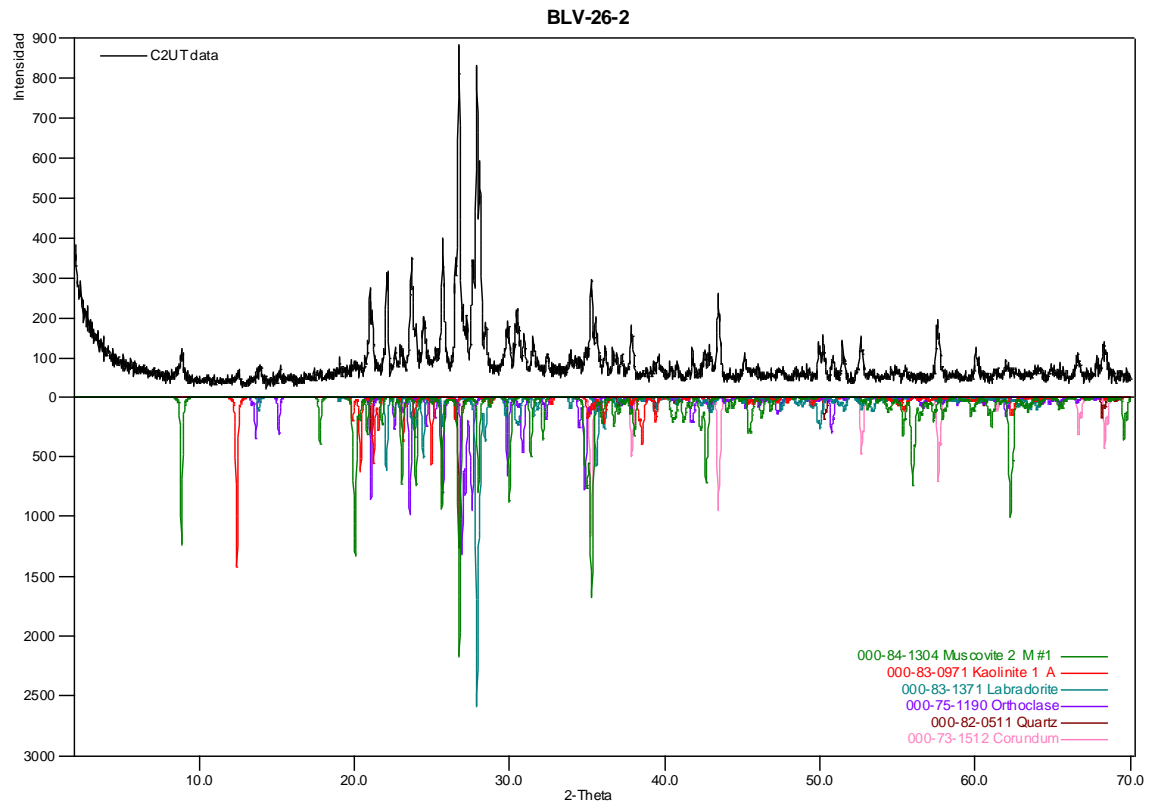
ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
PRESENTES EN EL TRAMO COMPENDIDO ENTRE EL CASCO URBANO
DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA "REINA DE ORO".
(MACIZO DE SANTANDER)



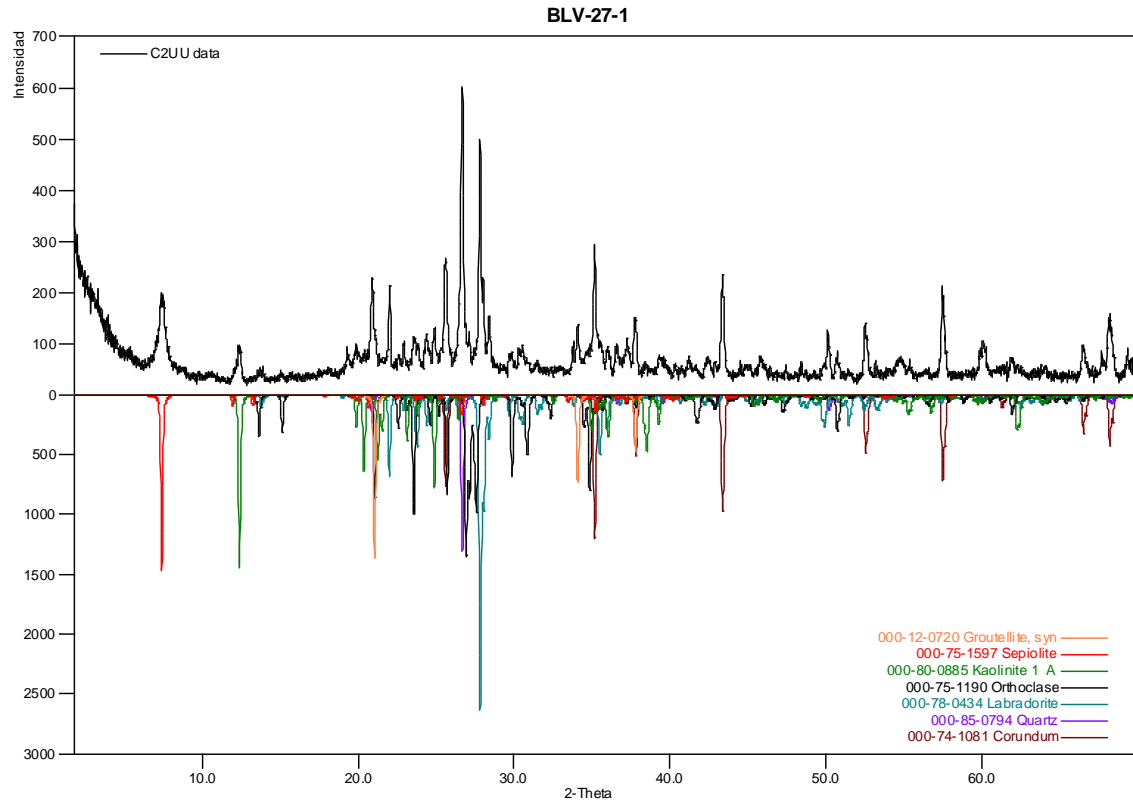
ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO URBANO
DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA "REINA DE ORO".
(MACIZO DE SANTANDER)

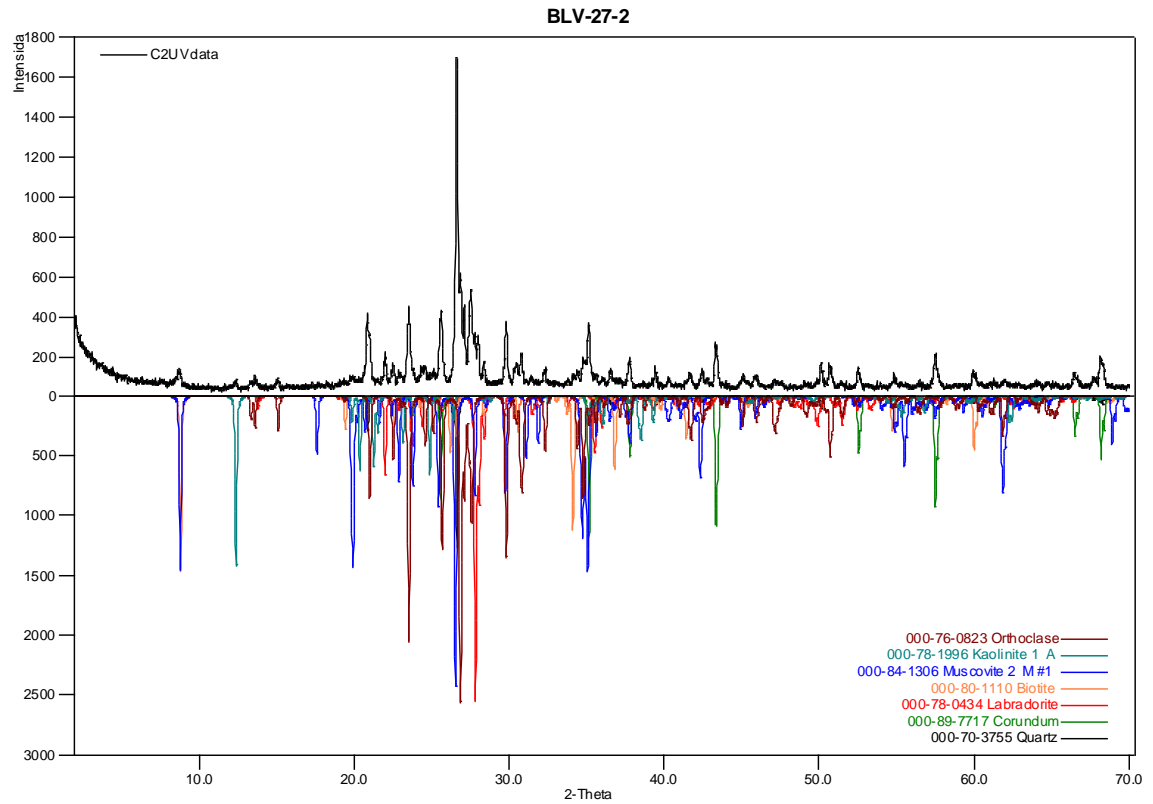


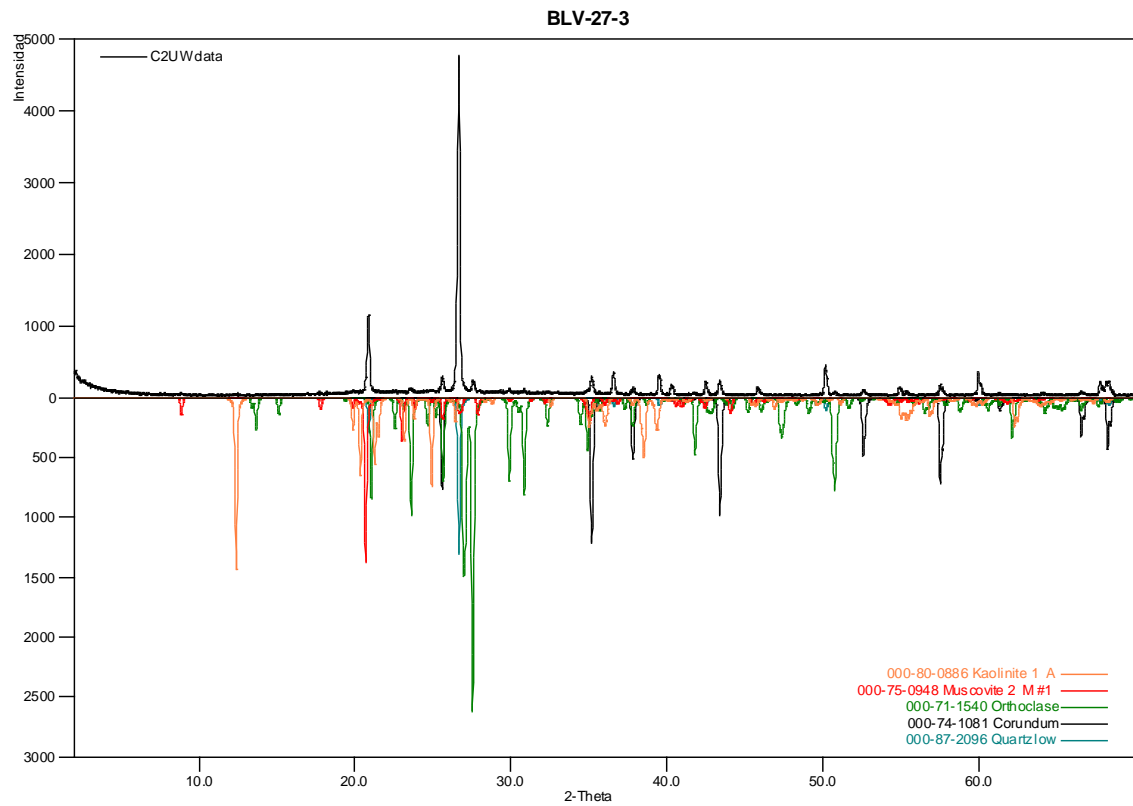
ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO URBANO
DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA "REINA DE ORO".
(MACIZO DE SANTANDER)

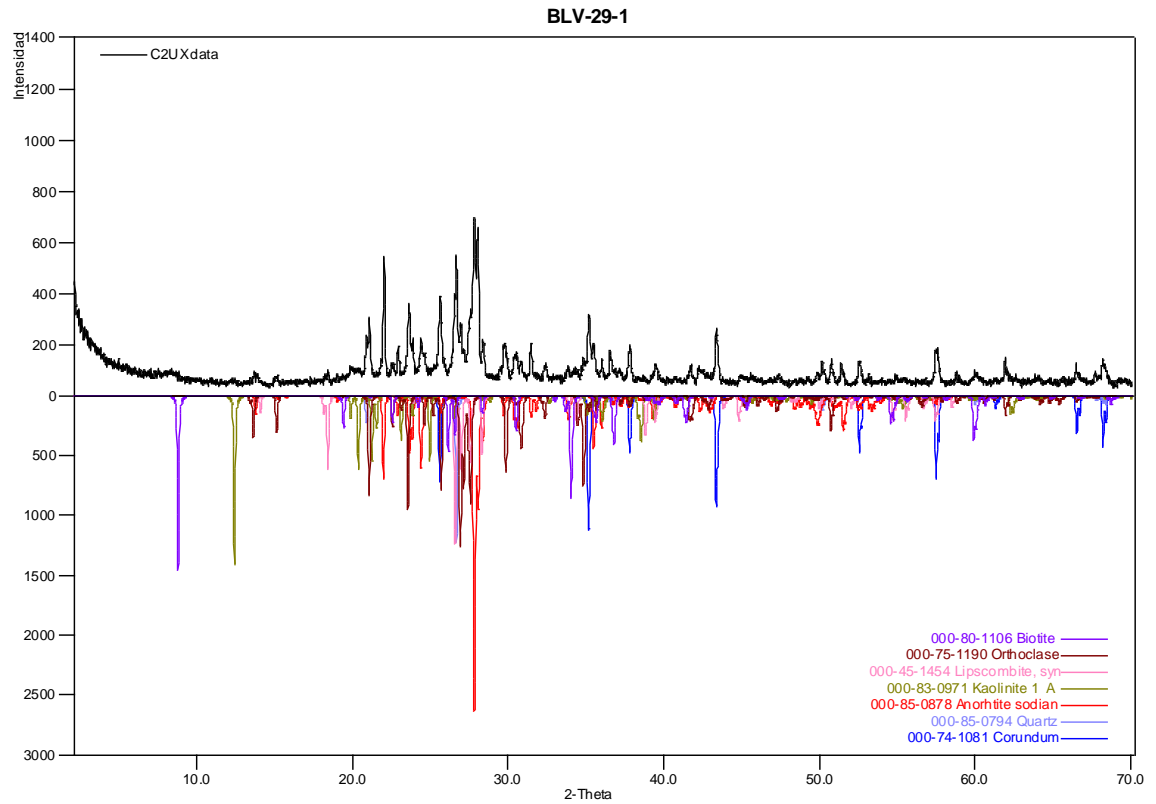


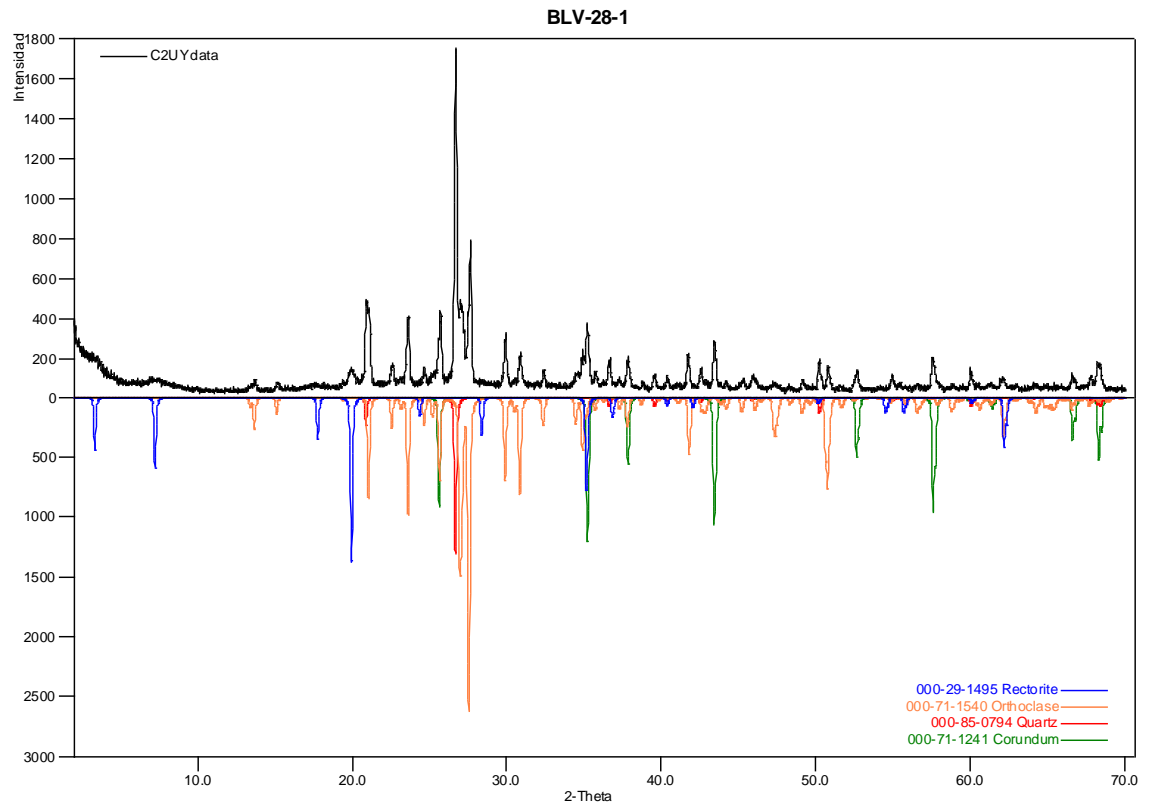
ESTUDIO DE LAS LITOLOGÍAS Y ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
PRESENTES EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL CASCO URBANO
DEL MUNICIPIO DE VETAS Y LA MINA "REINA DE ORO".
(MACIZO DE SANTANDER)

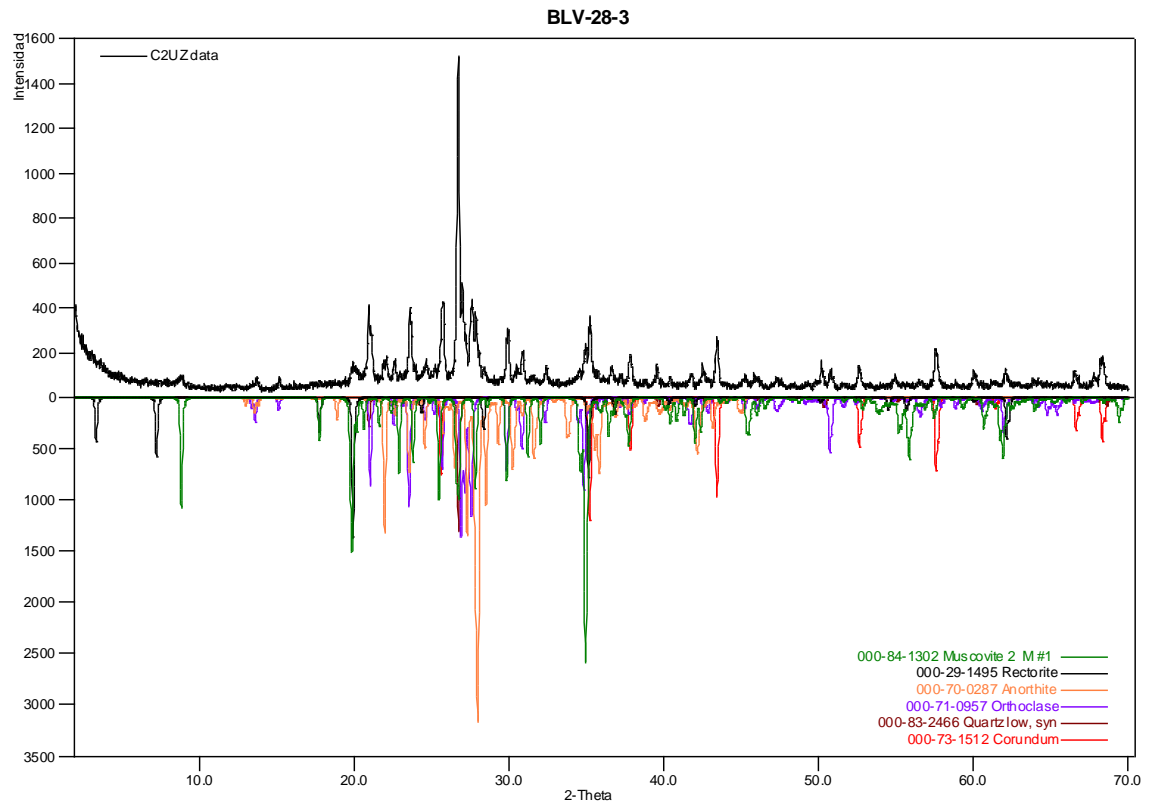












Elaboró:

Revisó:

Qco. José Luis Pinto C.

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Profesional Analista

Director Técnico

PQ. 2009

PQ. 1585