

**CARACTERIZACION DE LOS YACIMIENTOS DE ESMERALDAS DE LA  
FORMACIÓN BATÁ (CRETÁCICO INFERIOR) EN EL SECTOR DE  
BUENAVISTA (UBALA-CUNDINAMARCA).**

**CESAR ALFREDO TARAZONA VELASQUEZ.**

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

**2008**

**CARACTERIZACION DE LOS YACIMIENTOS DE ESMERALDAS DE LA  
FORMACIÓN BATÁ (CRETÁCICO INFERIOR) EN EL SECTOR DE  
BUENAVISTA (UBALA-CUNDINAMARCA).**

**CESAR ALFREDO TARAZONA VELASQUEZ.**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogo**

Director:

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Geólogo Ph. D.

Codirectores:

Jaime Mojica

Geólogo, INGEOMINAS

Jairo Conde Gómez

Geólogo, UIS

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

**2008**

*Dedico este trabajo a mis padres  
Hugo y Mercedes por su amor,  
su apoyo siempre incondicional y  
quienes siempre han sido mi motivación  
y fuerza para continuar adelante.  
A Silvia por su paciencia, comprensión,  
incondicional e inmenso amor, y a toda  
su familia por el gran apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Luís Carlos Mantilla, Director de éste Proyecto de Investigación, por sus enormes aportes, su invaluable apoyo y orientación.

A Jaime Mojica y Jairo Conde Gómez, codirectores de este proyecto por sus aportes y presta colaboración.

Al grupo de profesionales y compañeros tesistas que hace parte del grupo de investigación MINPETGEO quienes me ofrecieron todo su apoyo y conocimiento.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS) y al INGEOMINAS, instituciones que mediante su financiación y el préstamo de sus laboratorios, hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por su incalculable amor, apoyo incondicional y total confianza.

A Silvia por su amor, compañía, paciencia y comprensión, igualmente a toda su familia por su inmenso apoyo.

A mis grandes amigos, compañeros y todos aquellos que me apoyaron de una u otra forma, estuvieron siempre a mi lado (en buenos y malos momentos) y aquellos que siempre estuvieron prestos a brindarme su mano cuando la necesitara y me enseñaron a no desfallecer ante los obstáculos y dificultades de la vida, por que gracias a ellos hicieron posible la realización de este sueño.

A la música, un placer, una motivación y una parte muy importante de mi vida.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	I
1. OBJETIVOS.....	3
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
2. METODOLOGIA.....	5
2.1 FASE DE CAMPO.....	5
2.2 FASE DE LABORATORIO.....	6
2.2.1 Microscopía óptica.....	6
2.2.2 Difracción de Rayos X.....	7
2.2.3 Microtermometría de inclusiones fluidas (IF).....	9
2.2.4 Geoquímica isotópica.....	10
2.2.5 Microsonda electrónica.....	12
3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO.....	15
3.1 LOCALIZACIÓN.....	15
3.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y FISIOGRÁFICOS.....	18
3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	22
3.4 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA.....	22
3.5 ANTECEDENTES.....	24
3.5.1 Contexto paleogeográfico y paleotectónico.....	24
3.5.2 Geología del área de estudio.....	29
3.5.3 Modelos de génesis de esmeraldas.....	32
4. RESULTADOS.....	36
4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO....	36

4.1.1	Aspectos geológicos generales al interior de la Mina “Buenavista” (Formación Batá y manifestaciones hidrotermales asociadas).....	38
4.1.2	Aspectos geológicos generales en superficie del sector minero de Buenavista (Con base en dos secciones estratigráficas de referencia en la Formación Batá).....	45
4.2	PETROGRAFÍA.....	54
4.2.1	Consideraciones Previas: .....	54
4.2.1.1	Mecanismos y procesos asociados a la formación de venas hidrotermales .....	54
4.2.1.2	Mecanismos y procesos asociados a la formación de brechas.....	58
4.2.1.3	Estudios Anteriores.....	64
4.2.2	Estudio mineralógico-petrográfico de muestras al Interior de la Mina “Buenavista”.....	65
4.2.2.1	Zonación al interior de la Mina “Buenavista”.....	79
4.2.3	Petrografía de venas y brechas asociadas con mineralización de esmeralda.....	82
4.2.4	Estudio mineralógico-petrográfico de la columna de la Formación Batá (Sección 1).....	93
4.2.5	Origen de los cuerpos brechificados.....	104
4.2.6	Interpretación preliminar.....	106
4.3	ESTUDIO MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	111
4.3.1	Consideraciones Previas.....	111
4.3.2	Estudio mineralógico al interior de la Mina “Buenavista”.....	113
4.3.3	Estudio mineralógico de la Sección 1 (Columna de la Formación Batá, sección Buenavista).....	118
4.3.4	Estudio mineralógico de la Sección 2 (Perfil a detalle en el sector de Buenavista).....	120
4.3.5	Interpretación preliminar.....	124
4.4	ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF).....	125
4.4.1	Consideraciones previas.....	126
4.4.1.1	Petrografía de IF.....	127
4.4.1.2	Microtermometría de IF.....	135
4.4.2	Petrografía de inclusiones fluidas.....	143
4.4.3	Estudio microtermométrico de inclusiones fluidas.....	150
4.4.4	Interpretación preliminar.....	155
4.5	ESTUDIO DE LA QUÍMICA MINERAL.....	158
4.5.1	Consideraciones previas.....	158

4.5.2	Resultados obtenidos.....	164
4.5.2.1	Clasificación mineral de carbonatos.....	164
4.5.2.2	Clasificación mineral de plagioclasas.....	182
4.5.2.3	Clasificación química del Berilo.....	190
4.5.2.4	Secuencia de cristalización de los minerales a partir del fluido mineralizante.....	194
4.5.3	Interpretación preliminar.....	196
4.6	GEOQUÍMICA ISOTÓPICA.....	197
4.6.1	Consideraciones previas.....	197
4.6.2	Datos de composición isotópica de O, H, C y S.....	205
4.6.3	Consideraciones sobre la Procedencia del Fluido.....	212
4.6.4	Geotermometría Isotópica.....	216
4.6.5	Implicaciones entorno al origen de los paleofluidos.....	216
5.	INTERPRETACIÓN FINAL.....	219
6.	CONCLUSIONES.....	226
7.	RECOMENDACIONES.....	232
8.	BIBLIOGRAFIA.....	233
	ANEXOS.....	240

## LISTA DE FIGURAS.

- Figura 1.** A. Aspecto de la lupa Estereoscópica Stemi DV4, Carl Zeiss Jena, utilizada en la descripción macroscópica de las muestras de mano recolectadas. B. Aspecto del microscopio de Luz Transmitida Nikon Elipse 50i, utilizado en el estudio mineralógico-petrográfico y petrografía de Inclusiones Fluidas.....7
- Figura 2.** Aspecto del difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizada en los análisis de DRX. Escuela de Química, Universidad industrial de Santander. ....8
- Figura 3.** Aspecto de la Platina TH600 marca LINKAM, utilizada en el estudio de microtermometría de inclusiones fluidas. Escuela de Geología, Sede Guatiguará, Universidad Industrial de Santander (UIS)..... 10
- Figura 4.** Aspecto de la Microsonda electrónica, utilizada en el presente estudio para análisis de química mineral. Microsonda JEOL modelo JXA-8200..... 12
- Figura 5.** Localización geográfica regional del área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca, Colombia). Tomado y modificado de [www.igac.com.co](http://www.igac.com.co). .... 17
- Figura 6.** Localización geográfica del área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca). Tomado y Modificado de Ulloa y Acosta (1999). Geología del Departamento de Cundinamarca. .... 18
- Figura 7.** División política del Departamento de Cundinamarca. Tomado y modificado de Ulloa y Acosta (2002) .....20
- Figura 8.** Regiones fisiográficas del departamento de Cundinamarca. 1. Valle del Magdalena. 2. Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental. 3. Cordillera Oriental: 3a. Páramos Occidentales. 3b. Macizo de Sumapaz. 3c. Altiplano Cundinamarqués. 3d. Cordón Magistral. 4. Vertiente Oriental de la Cordillera Oriental. 5. Llanos Orientales. Tomado y modificado de Ulloa y Acosta (2002). ...21
- Figura 9.** Vías de acceso al distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca. Tomado y modificado de [www.igac.com.co](http://www.igac.com.co). ....24

<b>Figura 10.</b> Modelo secuencial del desarrollo de las regiones tectónicas para La Cordillera Oriental, el Valle del Magdalena Medio y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper <i>et al.</i> (1995).....	28
<b>Figura 11.</b> Columna estratigráfica generalizada de la Formación Batá. Tomado y modificado de INGEOMINAS-GEOSTRATOS Ltda. (2005). .....	31
<b>Figura 12.</b> Localización geográfica regional del los sitios muestreados y estudiados en el área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca, Colombia). Tomado y Modificado de Ulloa y Acosta (1999). Geología del Departamento de Cundinamarca. Imagen satélite tomada de <a href="http://www.google-earth.es">www.google-earth.es</a> El punto de inicio del muestreo de la Sección 1 en la imagen esta marcado como Sección 1A, y el punto de finalización como Sección 1B .....	37
<b>Figura 13.</b> Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, con descripción macroscópica de las muestras recolectadas y fases minerales encontradas en las muestras por medio de DRX.....	41
<b>Figura 14.</b> Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, mostrando los dominios y principales rasgos estructurales de la mina. ....	42
<b>Figura 15.</b> Esquema ilustrativo en bloque diagrama de los rasgos estructurales de la Mina “Buenavista”. .....	43
<b>Figura 16.</b> A. Aspecto de una zona de brechificación (fotografía a escala de afloramiento de la muestra COR 030 020). B. aspecto de una zona albitizada (en coloración blanca en la fotografía y zona de brechificación abajo (muestras COR 030 014 y 015), en contacto con lodolita carbonosa con profusión de venillas de albíta, arriba. C. Desarrollo de zonas de bandas y bolsas albitización + pirita (delineado en negro), en contacto con una zona que presenta alta oxidación (muestra COR 030 019).....	43
<b>Figura 17.</b> A. Zona fracturada y con desarrollo de una foliación incipiente con evidente proceso de albitización. (Fotografía a escala de afloramiento de la muestra COR 030 016). B. Lodolita carbonosa, triturada con rellenos de albíta. Estos se desarrolla principalmente en cercanías con la zona de albitización y brechificación (muestra COR 030 005).....	44
<b>Figura 18.</b> Lodolita calcárea carbonosa con profusión de venillas de calcita fibrosa de 0.5-1cm de espesor, paralelas-subparalelas a la estratificación (muestra COR 030 001).....	45

<b>Figura 19.</b> A. Limolitas negras carbonosas. B. Nivel de lodolitas gris claras con láminas de material con abundante óxidos de Fe de aspecto botroidal. C. Lodolitas gris claras (cuando se alteran presenta coloraciones naranja amarillento oscuro) con lentes de arenitas de grano muy fino. D. Lodolita grisácea, en ocasiones rellenas de óxidos. ....	47
<b>Figura 20.</b> Nódulos o lentes de pirita en lodolita negra carbonosa, paralelos a la Laminación. ....	48
<b>Figura 21.</b> Nivel brechificado: A. y B. venas con estructuras bandeadas que tratan de seguir la antigua estratificación de la roca brechificada. C. Brecha clasto soportada, con fragmentos de morfología angular a subangular, cementados por una matriz de pirita predominantemente (aspecto oxidado) y carbonato. D. Brecha clasto soportada, con fragmentos de morfología angular a subredondeada, cementados por una matriz de pirita y carbonato. ....	49
<b>Figura 22.</b> Lodolitas negras orgánicas muy fracturadas (trituradas) y plegadas, asociado a una zona de cizallamiento paralelo a la dirección buzamiento de los estratos, en sentido hacia al charnela del anticlinal. ....	50
<b>Figura 23.</b> Nivel de brecha paralelo a la estratificación (delineado en color rojo) en zona de lodolitas carbonosas plegadas. ....	50
<b>Figura 24.</b> Fotografía con ubicación de la toma de muestras del corte a detalle, Sección 2. ....	51
<b>Figura 25.</b> Esquema corte a detalle, Sección 2. ....	53
<b>Figura 26.</b> A. Vena con relleno masivo. B. Vena con relleno fibroso. Tomado y modificado de Dunne y Hancock (1994). ....	55
<b>Figura 27.</b> A. Vena con crecimiento de tipo sintaxial. B. Vena con crecimiento de tipo antitaxial Tomado y modificado de Dunne y Hancock (1994). ....	56
<b>Figura 28.</b> Tipo de crecimiento de relleno en venas fibrosas. Tomado de Passchier y Trough (1998). ....	57
<b>Figura 29.</b> (a) Fracturamiento y luego relleno; (b) Fracturamiento + Deslizamiento y luego Relleno; (c) Fracturamiento + Relleno y luego Deslizamiento. Tomado de Petit <i>et al.</i> (1999). ....	58

**Figura 30.** Ilustración esquemática de los mecanismos de brechificación en depósitos hidrotermales vetiformes, y la geometría final de las brechas. Flechas largas (trituration tectónica) indican la dirección de la propagación de la falla, flechas mas cortas indican la dirección de desplazamiento de la roca encajante (Brechificación asistida por fluidos y Expansión de volumen) o de los fragmentos (Impacto y Colapso).  $P_f$  es la presión del fluido. la escala no es indicada. Tomado de Jébrak (1997).....60

**Figura 31.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, ilustrando las muestras correspondientes al Dominio 1.....68

**Figura 32.** A la izquierda fotografía a escala de afloramiento de zona de brechificación (muestra COR 030 007), con detalle al microscopio en sección delgada (a la derecha). Como se puede observar la muestra esta presentando oxidación/disolución de la pirita y tal vez, también disolución de carbonatos, dejando el espacio. Microfotografía tomada en nicoles cruzados (a la derecha) con objetivo de 5X. ....69

**Figura 33.** A la izquierda fotografía a escala de afloramiento de zona de brechificación (muestra COR 030 012), con Detalle al microscopio en sección delgada (abajo). Brecha constituida por fragmentos de lodolita albitizados de morfología angular a subangular, bordeados por una matriz de albita y pirita (opacos). Se aprecian una gran cantidad de oquedades en forma de rombo, tal vez ocupadas antes por carbonatos (proceso de disolución), permaneciendo exclusivamente la albita y pirita, que constituyen el cemento y matriz de la brecha. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados con objetivo de 5X.....69

**Figura 34.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de brechificación en lodolita carbonosa y de albitización (zona de tonalidad blanca) con detalle al microscopio en sección delgada: A. Lodolita carbonosa con desarrollo parcial de proceso de albitización. B. Brecha hidrotermal compuesta por fragmentos de lodolita albitizada (agregados de granulares de albita) de tamaño arena gruesa a muy gruesa, redondeados a subredondeados, en una matriz de albita y pirita (opacos). C. Desarrollo de brechificación en Lodolita carbonosa parcialmente albitizada, Los espacios entre los fragmentos (cemento/matriz), se encuentran rellenos por agregados de albita y pirita (opacos). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. ....70

**Figura 35.** Foto a escala de afloramiento (izquierda) de zona de brechificación en lodolita carbonosa con Detalle al microscopio en sección delgada (muestra COR 030 020): A. Zona que presenta gran abundancia de moscovita tabular en estructura fluidal, bordeando a agregados granulares de albita y cuarzo? (lodolita

albitizada, enmarcados en línea punteada en rojo). B. Lodolita carbonosa mostrando estructura brechoide, en contacto con la zona descrita anteriormente. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.....71

**Figura 36.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de albitización (Zona A) y zona de oxidación (Zona B). Muestra COR 030 019. Microfotografías (a la esquina superior derecha y abajo) en nicoles cruzados tomada con objetivo de 10X. ....72

**Figura 37.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, ilustrando las muestras recolectadas correspondientes al Dominio 2.....76

**Figura 38.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de Lodolita carbonosa con estructura brechoide (muestra COR 030 017), fracturas rellenas de albita y pirita, con detalle al microscopio en sección delgada: A. Sistema de venas de Albita a veces en asocio con pirita, englobando y cortando fragmentos de Lodolita B. Lodolita carbonosa desarrollando proceso de albitización. C. Venas compuestas por agregados de albita euhedral. También se aprecian oquedades en forma de rombo, la cuales pueden haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato. Microfotografías A y B tomadas en nicoles cruzados con objetivo de 5X. Microfotografía C tomada en nicoles cruzados con objetivo de 10X. ....77

**Figura 39.** Foto a escala de afloramiento (izquierda) de zona de brechificación en lodolita calcárea carbonosa con albitización parcial, con detalle al microscopio en sección delgada (muestra COR 030 008): A. Procesos de albitización parcial: albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica y agregados de albita que se presenta en forma de bandas o lentes paralelos a la laminación. B. Agregados de albita en venas que cortan la laminación de la roca. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.....78

**Figura 40.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de Lodolita calcárea carbonosa con albitización incipiente (muestra COR 030 001) y profusión de venas de calcita fibrosa paralelas y subparalelas a la estratificación. Detalle al microscopio en sección delgada: A. Vena albita y calcita fibrosa de crecimiento sintaxial B. Proceso de albitización. Albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica. También se muestra que la laminación en algunos sectores de la roca se encuentra replegada posiblemente por infiltración del fluido hidrotermal que produce la albitización. C. Agregados granulares exhibiendo una morfología lenticular, dispuesta de manera subparalela a la laminación. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. ....79

**Figura 41.** Ilustración grafica esquemática de las diferentes zonas reconocidas. Ver texto para explicación.....84

**Figura 42.** A. Vena de calcita-dolomita romboédrica en textura de relleno masivo, e individuos de albita paralelos entre si oblicuos a la pared de la vena (Lamina delgada Nº COR 029 02B). B. Vena con albita y calcita-dolomita en cristales fibrosos paralelos entre si y oblicuos a la pared de la vena. En el centro calcita-dolomita romboédrica en textura de relleno masivo. Textura de crecimiento compuesto (Lamina delgada Nº COR 029 02S). C. Agregados, compuesto por individuos irregulares subhedral-anhedral en el extremo de la vena y en el centro calcita dolomita romboédrica en relleno masivo (Lamina delgada Nº COR 029 02.1B). D. Calcita-dolomita con inclusiones de cristales euhedrales de dolomita y berilo. En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita (Lamina delgada Nº COR 029 02.1B). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. ....85

**Figura 43.** A. Berilo de forma columnar. Presenta fracturamiento e inclusiones de albita. Su eje mayor es paralelo a la laminación de la roca (Lamina delgada Nº COR 016 025). B. Cristal de berilo de contornos hexagonales con inclusiones de dolomita y albita en forma de agregados granulares (Lamina delgada Nº COR 029 02.1B). C. Cristal de berilo de contornos hexagonales, con venas de calcita y en contacto neto con carbonato (calcita-dolomita) y pirita (Lamina delgada Nº COR 029 02.1B). D. Individuo de berilo con contornos hexagonales en vena de textura de crecimiento compuesto, cortado por carbonato (Lamina delgada Nº COR 029 02S). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. ....87

**Figura 44.** Proceso de albitización en roca encajante de las venas: A. Albita diseminada en contacto flotante con la materia orgánica. Albita en agregados en forma de lentes paralelos a la laminación (Lamina delgada Nº COR 016 025). B. Albita diseminada. Agregados granulares de albita en forma de bolsas o lentes aislados, (Lamina delgada Nº COR 029 02B). En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. ....88

**Figura 45.** A. agregados afanocristalinos de albita englobado por calcita-dolomita romboédrica anhedral. Dentro de estos a agregados se presentan inclusiones de fenocristales de pirita, calcita-dolomita de forma subhedral-anhedral, albita en contacto neto con cristales tabulares de moscovita (Lamina delgada Nº COR 029 02.1B). B. Sericita presentando inclusiones de ankerita y albita. También se presenta en contacto neto con la calcita-dolomita (Lamina delgada Nº COR 029 02B). C. Agregados masivos de pirita compuesto por individuos cúbicos

subhedral-esuhedral, con inclusiones de dolomita y albita. Se encuentran englobando a los agregados de calcita dolomita fibrosa y agregados granulares de albita, este a su vez, se encuentra rodeado por calcita-dolomita romboédrica subhedral (Lamina delgada Nº COR 029 02R). D. Agregados de albita compuesto por individuos tabulares de forma subhedral-euhedral. Se encuentran rodeados por agregados masivos de pirita (Lamina delgada Nº COR 029 02R). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X las microfotografías A, C y D, con objetivo de 10X la microfotografía B.....91

**Figura 46.** A. Calcita-dolomita romboédrica subhedral en matriz cementante, englobando los fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada (Lamina delgada Nº COR 029 02.1A). B. Calcita-dolomita romboédrica subhedral en matriz cementante, englobando los agregados de pirita, albita e individuos de dolomita romboédrica euhedral (Lamina delgada Nº COR 029 02.1A). C. Fenocristales de calcita-dolomita romboédrica subhedral-anhedral en matriz de agregados afanocristalinos de albita (Lamina delgada Nº COR 029 02D). D. Agregados granulares de calcita-dolomita compuesto por individuos alargados (fibrosos) englobados por agregados masivos de pirita los cuales presentan inclusiones de dolomita (Lamina delgada Nº COR 029 02R). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.....92

**Figura 47.** A. Agregado de berilo compuesto por individuos incoloros equigranulares columnares de tamaño extremado grueso. Algunos presentan terminaciones con bordes curvilíneos (Lamina delgada Nº COR 029 02D). B. Individuos de berilo con contornos hexagonales en vena de calcita –dolomita romboédrica de textura relleno masivo (Lamina delgada Nº COR 029 02R). En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.....93

**Figura 48.** A. Limolitas presentan desarrollo de lentes de piritas, acompañado por agregados cristalinos compuesto predominantemente por albita y en menor proporción cuarzo?. También se aprecia proceso albitización, manifestado por la formación de albita diseminada paralelo a la laminación (Lamina delgada Nº COR 016 014). B. Lentes de agregados cristalinos de albita englobando materia orgánica ubicada hacia en centro (Lamina delgada Nº COR 016 014). C. Lentes paralelos a la laminación compuestos por agregados cristalinos compuesto predominantemente de albita y cuarzo?, acompañado por pirita en el centro de tales lentes (Lamina delgada Nº COR 016 015). D. Lentes paralelos a la laminación, conformado por agregados cristalinos de albita y en menor proporción cuarzo? (Lamina delgada Nº COR 016 015). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.....96

**Figura 49.** A. Lodolitas carbonosas fisiles presentando desarrollo de lentes de pirita de tamaño cristalino grueso a medio, cristales cúbicos subhedrales a euhedrales, con bordes de agregados cristalinos compuesto predominantemente de albita de tamaño cristalino y en menor proporción cuarzo?. Microfotografía tomada en nicols cruzados, con objetivo de 5X. B. Proceso parcial de albitización, manifestado por la presencia de albita diseminada encontrándose preferencialmente paralela a la laminación. Microfotografía tomada en nicols paralelos, con objetivo de 5X. Microfotografías correspondientes a la lamina delgada Nº COR 016 017. ....97

**Figura 50.** Arriba foto de estructuras bandeadas de color oscuro corresponde a procesos de albitización y carbonatización a escala de afloramiento con detalle al microscopio en lámina delgada: A. Desarrollo de cristales de pirita de tamaño acompañado por agregados de albita. Ambos minerales dispuestos de manera paralela a la antigua laminación de la roca original. B. Los carbonatos consisten principalmente de: Dolomita-ankerita los cuales se distinguen de la calcita-dolomita por presentar bordes pardos amarillentos debido a la acción de la alteración. En la sección se ubican principalmente rellenando espacios dejados por fracturas. Microfotografías correspondientes a la lamina delgada Nº COR 016 019. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicols cruzados, con objetivo de 5X. ....99

**Figura 51.** Arriba foto de estructura bandeada en contacto con zona de brechificación a escala de afloramiento con detalle al microscopio en lamina delgada: A. Estructuras bandeadas que corresponde de fenocristales de calcita-dolomita en una matriz compuesta por albita, micrita-microesparita con inclusiones de pirita, la cual es mas abundante en esta zona que en la zona de brechificación. B. Zona de brechificación: fragmento de lodolita carbonosa subredondeada parcialmente albitizada, en una matriz compuesta por calcita-dolomita con inclusiones de albita y pirita. Microfotografías correspondientes Lamina delgada Nº COR 016 020II. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicols cruzados, con objetivo de 5X. .... 102

**Figura 52.** Arriba foto a escala de afloramiento de vena compuesta por fenocristales de carbonato inmersos en una matriz muy fina de coloración blanca, en contacto con zona de brechificación con detalle al microscopio en lámina delgada: A. vena compuesta por fenocristales de calcita-dolomita inmersos en una matriz compuesta por micrita (mezclada con materia orgánica), illita-moscovita (cristalino medio a fino), agregado granular afanocristalino de albita con inclusiones de pirita. B. zona de brechificación: fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada de morfología subangular en contacto con calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita, pirita. Microfotografías correspondientes

Lamina delgada № COR 016 020I. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. .... 103

**Figura 53.** A. Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados de morfología subangular y subredondeado, y agregados granulares de albita englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita y pirita (Lamina delgada № COR 016 021AI). B. Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados de morfología angular y subangular, y agregados granulares de albita englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica (Lamina delgada № COR 016 021AI). C. Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados subredondeados, y agregados granulares de albita, englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita y pirita (Lamina delgada № COR 016 021AII). D. Individuo romboédrico euهدral de calcita dolomita incluido en agregados granulares de albita, (Lamina delgada № COR 016 021AII). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X. .... 104

**Figura 54.** Pliegue formado por deslizamiento flexural. Tomado y modificado de Julivert (1986). .... 106

**Figura 55.** Difracción de rayos X producida por un cristal. Tomado y modificado de Skoog *et al.* (2001)..... 112

**Figura 56.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, con descripción macroscópica de las muestras recolectadas y fases minerales encontradas en las muestras por medio de DRX..... 117

**Figura 57.** Esquema corte a detalle, Sección 2, con su respectiva descripción de la muestra y el resultado del análisis de DRX..... 123

**Figura 58.** Esquema mostrando los diferentes tipos de inclusiones desde un punto de vista morfológico. Tomado de Velasco (2004). .... 128

**Figura 59.** Esquema de los tipos de IF según el número de fases presentes a temperatura ambiente: A la derecha: L = Líquido. V = Vapor. Tomado de Nash y Theodore (1971). .... 131

**Figura 60.** a) Criterios para clasificar inclusiones fluidas primarias. b) Diferentes ocurrencias de IF primarias en relación con la zonación mineral. Tomado de Van Den Kerkhof (2001)..... 132

- Figura 61.** Distribución de las inclusiones primarias (P), siguiendo zonas de concéntricas, paralelas a las caras de crecimiento; Pseudosecundarias (PS) que se ordenan oblicuamente a las caras, siguiendo microfisuras que empiezan en el núcleo del cristal y terminan antes de que este se acabe; y secundarias (S) que sin ninguna regla el cristal pasando por sus bordes. Tomado de Velasco (2004)..... 133
- Figura 62.** Mecanismos de atrape de inclusiones primarias Según Roedder (1984). ..... 135
- Figura 63.** Diagrama P-T para el sistema H<sub>2</sub>O. Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/). ..... 137
- Figura 64.** Diagrama P-T mostrando la trayectoria al descender la temperatura en un diagrama de fases de H<sub>2</sub>O de un líquido (L) atrapado en una inclusión fluida (V= vapor). Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/). ..... 138
- Figura 65.** Diagrama P-T indicando la trayectoria al descender la temperatura de un vapor (V) atrapado en una inclusión (L= líquido). Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/)... 139
- Figura 66.** Diagrama para relacionar la temperatura de fusión del hielo y la de los maltratos con el contenido de NaCl. La grafica permite determinar la salinidad del fluido acuoso en los sistemas H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl a partir de la fusión del caltrato (T<sub>f<sub>cl</sub></sub> atr). Modificado de Collins (1979), en Velasco (2004)..... 140
- Figura 67.** Gráfico de Shepperd et al. (1985) indicando las curvas de solubilidad para NaCl y KCl; en el eje X temperatura de disolución de halita o silvita y en el eje Y salinidad del fluido en la inclusión. Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/). ..... 141
- Figura 68.** Porción del sistema NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O mostrando el cambio en la composición de la solución de inclusiones fluidas que contienen tanto halita como silvita al calentarse. A temperatura ambiente la inclusión líquida está en el límite en A. Al calentarla el KCl se disuelve y la composición de la solución sigue el límite. A los 160°C (punto B) todo el KCl se ha disuelto, restando la solución de composición B y sal de NaCl en la inclusión. Al continuar el calentamiento la solución sigue la línea B-C, hacia el NaCl. En el punto C (330°C), todos los sólidos se habrán disuelto, resultando en una solución de composición C (28% en peso de NaCl, 24% en peso de KCl y 48% en peso de H<sub>2</sub>O). Tomado de Roedder (1984). ..... 141

<b>Figura 69.</b> Isotermas del sistema H <sub>2</sub> O-NaCl, mostrando la relación existente entre la temperatura de ebullición, la presión en bares y el contenido salino de la solución (X = indica la saturación de la halita a temperatura ambiente). Tomado de Velasco (2004).....	142
<b>Figura 70.</b> A. Fotografía de Inclusiones polifásicas primarias con cristales hijos de halita en la fluorita. B. Fotografía de Inclusiones bifásicas secundarias en la fluorita. Lamina Nº COR 029 001.....	145
<b>Figura 71.</b> A. Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la esmeralda. B. Inclusiones fluidas secundarias polifásicas en la esmeralda. C. Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la calcita. D. Inclusiones fluidas secundarias polifásicas en la calcita. Lamina Nº COR 029 002H.....	146
<b>Figura 72.</b> A. Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la esmeralda. B. Inclusiones fluidas primarias polifásicas en la calcita. Lamina Nº COR 029 002G.....	147
<b>Figura 73.</b> Familia de inclusiones fluidas polifásicas en Calcita. Lamina Nº COR 016 021A.....	148
<b>Figura 74.</b> Familia de inclusiones bifásicas secundarias en Calcita. Lamina Nº COR 016 021A.....	148
<b>Figura 75.</b> Familia de inclusiones fluidas bifásicas secundarias en calcita. Lamina Nº COR 016 021A.....	149
<b>Figura 76.</b> Familia de inclusiones fluidas primarias polifásicas en cristal de calcita. Lamina Nº COR 029 002I.....	150
<b>Figura 77.</b> Esquema general de la espectrometría de superficies. El haz puede ser de fotones, electrones o iones. Tomado de Skoog <i>et al.</i> (2001).....	158
<b>Figura 78.</b> Vista esquemática de un instrumento de microsonda de electrones. Tomado de Skoog <i>et al.</i> (2001).....	160
<b>Figura 79.</b> Diagrama esquemático del sistema óptico EOS de una microsonda electrónica. 1. Filamento, 2. Apertura del disparo, 3. Primera lente condensadora, 4. Apertura final, 5. Segunda lente condensadora, 6. Lente objetivo, 7. Muestra, 8. Electrones retrodispersados, 9. Electrones secundarios, 10. Rayos X característicos, 11. Espejo, 12. Detector de Rayos X. Tomado de Castellanos y Ríos (2005).....	161

<b>Figura 80.</b> Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). .....	168
<b>Figura 81.</b> Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 80.....	169
<b>Figura 82.</b> Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizo análisis de química mineral en carbonato con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). .....	170
<b>Figura 83.</b> Diagrama ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas corresponden a la Figura 82. ....	170
<b>Figura 84.</b> Imagen de retrodispersado de la sección COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).....	171
<b>Figura 85.</b> Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 84.....	172
<b>Figura 86.</b> Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02,1B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). .....	173
<b>Figura 87.</b> Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 86.....	174
<b>Figura 88.</b> Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02.1B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos, berilos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). .....	175
<b>Figura 89.</b> Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química	

mineral en carbonatos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso)..... 176

**Figura 90.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 89..... 177

**Figura 91.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada Nº COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). ..... 178

**Figura 92.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 91..... 179

**Figura 93.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada Nº COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). ..... 180

**Figura 94.** Tipos Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita ankerita. Diagramas corresponden a la Figura 93..... 181

**Figura 95.** A. Clasificación de feldespatos analizados de la lamina delgada Nº COR 016 025. B. Clasificación de feldespatos analizados de la lamina delgada Nº COR 029 02.1B..... 185

**Figura 96.** Clasificación de feldespatos analizados de la lamina delgada Nº COR 029 02B. .... 186

**Figura 97.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada Nº COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en albitas con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). ..... 188

**Figura 98.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada Nº COR 016 025 mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en albita y berilo con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Para una mejor comprensión véase la Figura 42A, obtenida por microscopia óptica. .... 189

<b>Figura 99.</b> Clasificación de esmeraldas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos. ....	193
<b>Figura 100.</b> Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales y relación inversa entre el $N_2O$ y el $Cr_2O_3$ . Diagrama binario correspondiente a la Figura 98. ....	193
<b>Figura 101.</b> Secuencia de cristalización de minerales. Carbonato (Mg, Fe) se refiere a la secuencia Dolomita rica en (+Fe) hasta ankerita. ....	196
<b>Figura 102.</b> Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico en el ciclo hidrológico. Tomado de Encarta (2000). ....	202
<b>Figura 103.</b> Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según $\delta^{18}O_{SMOW}$ vs. $\delta^{13}C_{PDB}$ . ....	207
<b>Figura 104.</b> Histograma de valores de $\delta D_{SMOW}$ (‰) determinados en muestras de esmeralda. ....	207
<b>Figura 105.</b> Reservorios naturales de deuterio, junto con los valores isotópicos determinados en inclusiones fluidas hospedadas en cristales de berilo analizados. Tomado y modificado de Rollinson, 1996. ....	208
<b>Figura 106.</b> Histograma de valores de $\delta^{18}O_{SMOW}$ determinados en muestras de carbonatos. ....	208
<b>Figura 107.</b> Reservorios naturales de oxígeno, junto con los valores isotópicos determinados en los carbonatos analizados. Datos de: Taylor (1974), Onuma et al. (1972), Sheppard (1977), Graham y Harmon (1983) y Hoefs (1987). Tomado y modificado de Rollinson (1996). ....	209
<b>Figura 108.</b> Histograma de valores de $\delta^{13}C_{PDB}$ determinados en muestras de carbonatos. ....	211
<b>Figura 109.</b> Histogramas de valores de $\delta^{34}S_{CDT}$ determinados en sulfuros de roca caja y vena. ....	211
<b>Figura 110.</b> Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, en la muestra COR 029 002A. ....	213
<b>Figura 111.</b> Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con $CO_2$ , según variación de la temperatura, en la muestra COR 029 002A. ....	214

**Figura 112.** Fraccionamiento isotópico de sulfuros de roca caja (COR 016 014) y vena (COR 029 002C) en equilibrio isotópico con H<sub>2</sub>S, según variación de la temperatura.....215

**Figura 113.** Valores isotópicos de O e H en algunas aguas y reservorios de interés en el estudio de depósitos minerales. Tomado de Recio y Subías (2002). .....218

## LISTA DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Parámetros de medición de muestras en polvo desorientado .....	9
<b>Tabla 2.</b> Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas de la Mina “Buenavista”. El valor amarillo resalta el Dominio 1 y el valor azul el Dominio 2.....	116
<b>Tabla 3.</b> Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas de la Sección 1 (Columna de la Formación Batá, sección Buenavista). El valor azul resalta el Segmento A y el valor amarillo el Segmento B. ....	119
<b>Tabla 4.</b> Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas para el corte a detalle, Sección 2. El valor amarillo resalta el valor amarillo indica los niveles brechados (“cascoche”).....	122
<b>Tabla 5.</b> Localización y descripción de las muestras doblemente pulidas para estudios de petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas.....	143
<b>Tabla 6.</b> Resultados de análisis petrográficos de IF.....	152
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis microtermométrico en inclusiones fluidas. T <sub>pfl</sub> = Temperatura de la primera fusión detectable del líquido, T <sub>fc</sub> = Temperatura de fusión del clatrato, T <sub>fhh</sub> = Temperatura de fusión final de la hidrohilita, T <sub>ffi</sub> = Temperatura de fusión final del hielo, T <sub>hh</sub> = Temperatura de homogenización de la hilita, T <sub>h-L</sub> = temperatura de homogenización a líquido, T <sub>d</sub> = Temperatura de decrepitación.....	157
<b>Tabla 8.</b> Resultados de química mineral de carbonatos en laminas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Los valores en amarillo corresponden seguramente a plagioclasas, las cuales erróneamente fueron medidas con un carbonato como patrón de referencia (de ahí los valores reportados). ....	167
<b>Tabla 9.</b> Resultados de química mineral de plagioclasas en laminas delgadas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Los valores en amarillo corresponde seguramente a Berilos, los cuales fueron medidos erróneamente con una plagioclasa como patrón de referencia (de ahí los valores reportados). Los valores en azul corresponden seguramente a carbonatos los cuales fueron medidos erróneamente con una plagioclasa como patrón de referencia (de ahí los valores reportados). ....	184

<b>Tabla 10.</b> Determinación de la fórmula química de la albita. Muestra COR 016 025, análisis 3.....	187
<b>Tabla 11.</b> Fórmulas químicas de albita determinadas para todas las láminas delgadas analizadas. ....	187
<b>Tabla 12.</b> Resultados de química mineral de berilos en laminas delgadas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).....	192
<b>Tabla 13.</b> Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas. Modificado de Redondo (2001). ....	199
<b>Tabla 14.</b> Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables. ....	200
<b>Tabla 15.</b> Muestras analizadas con su respectiva composición isotópica. ....	210
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la composición isotópica $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ del los carbonatos en equilibrio con el agua (en ‰). ....	212
<b>Tabla 17.</b> Resultados de la composición isotópica $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ del los carbonatos en equilibrio con el $\text{CO}_2$ (en ‰). ....	214
<b>Tabla 18.</b> Resultados de la composición isotópica $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ del los carbonatos en equilibrio con el $\text{H}_2\text{S}$ (en ‰). ....	215

## RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACION DE LOS YACIMIENTOS DE ESMERALDAS DE LA FORMACIÓN BATÁ (CRETÁCICO INFERIOR) EN EL SECTOR DE BUENAVISTA (UBALA-CUNDINAMARCA)\*.

AUTOR: Cesar Alfredo Tarazona Velásquez\*\*.

PALABRAS CLAVES: Esmeraldas, Petrografía, Alteraciones, Hidrotermalismo, Ubalá.

### DESCRIPCIÓN:

El distrito minero de Buenavista se localiza en el Cinturón Esmeraldífero Oriental, sobre el Anticlinal de Miralindo, situado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental de Colombia.

La mineralización de esmeralda se hospeda en rocas del Cretácico Inferior (Berriasiano), pertenecientes a la Formación Batá. La esmeralda se presenta en: venas hidrotermales compuestas de calcita-dolomita+albita+pirita; y brechas tectónicas cementadas por estos materiales de relleno hidrotermal. Los análisis macroscópicos, petrográficos y de DRX, permitieron identificar dos dominios: Dominio 1, de Brechificación/albitización y un Dominio 2 que consta de una zona de profusión de venas y roca encajante.

Los estudios petrográficos y de DRX permitieron reconocer tres tipos texturales de albita, de las cuales solo aquella de tamaños entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  y asociadas a venas y lentes en las rocas, están relacionadas genéticamente con la mineralización esmeraldífera. Las otras variedades de albita al parecer se relacionan con un evento anterior al evento mineralizante.

Los estudios de inclusiones fluidas (IF) en esmeraldas y carbonatos (ambos de origen hidrotermal), apuntan a que los fluidos mineralizantes se correlacionan con un sistema químico, tipo  $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CaCl}_2+\text{KCl}+\text{FeCl}_2+\text{LiCl}+(\pm\text{CsCl},\text{GaCl}_3)+\text{CO}_2+\text{N}_2$ . Las temperaturas mínimas de atrapamiento de estos fluidos oscilan entre 215-330°C y con salinidades entre los 35.4 y 29.5% en peso de NaCl.

Los estudios petrográficos y de química mineral apuntan a la siguiente secuencia de cristalización a partir del fluido mineralizante: dolomita–albita→esmeralda→moscovita→carbonatos(Mg→Fe)→pirita→sericita?→calcita.

Los estudios de isótopos estables de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta\text{D}$  en carbonatos y esmeraldas, sugieren que el disolvente principal (agua) se deriva de la devolatilización de metasedimentos. La composición isotópica del  $\delta^{13}\text{C}$  en carbonatos de relleno hidrotermal al parecer se relaciona con la oxidación de materia orgánica.

Las alteraciones supergénicas de los materiales de relleno hidrotermal, relacionadas con la mineralización esmeraldífera (conocidas por los mineros del área como “cascoche”), se componen fundamentalmente de yeso, jarosita, natroalunita y romboclasa.

---

\*Proyecto de Grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Director: Ph. D Luís Carlos Mantilla Figueroa. Codirectores. Geol Ingeominas. Jaime Mojica y Geol. UIS, Jairo Conde Gómez.

## ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF THE EMERALDS DEPOSITS OF THE BATÁ FORMATION (LOWER CRETACEOUS) IN THE SECTOR OF BUENAVISTA (UBALA-CUNDINAMARCA)\*.

AUTHOR: César Alfredo Tarazona Velasquez\*\*.

KEY WORDS: Emeralds, Petrography, Alterations, Hydrothermals, Ubala.

### DESCRIPTION:

The mining district of Buenavista is located in the Eastern Emerald Belt, on the Anticline of Miralindo, situated in the oriental flank of the Eastern Cordillera of Colombia.

The emerald mineralization stays in rocks of the Lower Cretaceous (Berriasian), belonging to the Formation Batá. The emerald is presented in: hydrothermal veins composed by calcite-dolomite+albite+pyrite; and tectonic breccias cemented by these materials of hydrothermal infilling. The macroscopic, petrographic and XDR analyses, they allowed to identify two domains: Domain 1, of Brecciation/albitization and a Domain 2 that it consists of an area of profusion of veins and wall rock.

The petrographic and XDR studies they allowed to recognize three textural types of albite, of those which alone that of sizes between 250-50 microns and associated to veins and eyeglasses in the rocks, they are related genetically with the emerald mineralization. The other albite varieties apparently are related with an event previous to the mineralization event.

The studies of fluid inclusions (IF) in emeralds and carbonates (both of hydrothermal origin), they point to that the mineralization fluids is correlated with a chemical system, type  $H_2O+NaCl+CaCl_2+KCl+FeCl_2+LiCl+(\pm CsCl, GaCl_3)+CO_2+N_2$ . The minimum trapping temperatures of these fluids oscillate among 215-330°C and with salinities between the 35.4 and 29.5% in weight of NaCl.

The petrographic and mineral chemistry studies they point to the following crystallization sequence starting from the mineralization fluid: dolomite-albite→emerald→moscovite→carbonate(Mg→Fe)→pyrite→sericite?→calcite.

The studies of stable isotopes of  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  in carbonates and emeralds, suggests that the main solvent (water) is derived of the meta-sediments dehydration. The isotopic composition of the  $\delta^{13}C$  in carbonates of hydrothermal infilling apparently is related with the oxidation of organic matter.

The supergenic alterations of the materials of hydrothermal infilling, related with the emerald mineralization (known by the miners of the area like "cascoche"), they are composed fundamentally of gypsum, jarosite, natroalunite and rhomboclase.

---

\* Grade Project.

\*\* Faculty of Physical and Chemical Engineerings. Department of Geology. Director: Ph. D. Luis Carlos Mantilla Figueroa. Co-directors: Geol Ingeominas. Jaime Mojica y Geol. UIS, Jairo Conde Gómez.

## INTRODUCCIÓN

Las esmeraldas producidas en Colombia se encuentran distribuidas en los Cinturones Esmeraldíferos Oriental y Occidental, cada uno ubicado en los flancos de la Cordillera Oriental de los andes colombianos.

Los depósitos de esmeraldas del Cinturón Occidental corresponden a los distritos mineros de Muzo, Quípama, Coscuez, Peñas Blancas y Maripí mientras que al “cinturón oriental” corresponden los distritos mineros de Chivor-Macanal, Ubalá y Gachalá.

Uno de los objetivos del gobierno nacional, incorporados en los programas de trabajo del INGEOMINAS y en el Plan Nacional de Desarrollo Minero, es estudiar la geología de los cinturones esmeraldíferos occidental y oriental de la Cordillera Oriental de Colombia. El propósito de estos estudios, es poder identificar guías o criterios de exploración que ayuden a identificar nuevas áreas con potencial esmeraldífero. Este aspecto, es considerado como la justificación más importante que amerita la realización del presente proyecto de investigación.

El presente estudio se realiza en el marco del convenio de cooperación entre **INGEOMINAS - UIS**, en el proyecto denominado “Estudio de los Procesos de Interacción Fluido-Roca en el Cinturón Esmeraldífero Oriental (Cordillera Oriental, Colombia) y su Importancia en la Exploración de Nuevos Yacimientos Hidrotermales”.

Este trabajo tiene como finalidad el estudio de los procesos de alteración hidrotermal asociados a la formación de depósitos esmeraldíferos de la Formación Batá (Cretácico Inferior), identificados en el sector de Buenavista, enfocando los

estudios en la Mina “Buenavista”, localizada en las inmediaciones del municipio Ubalá (Departamento de Cundinamarca). Para el desarrollo de este objetivo, se toma como punto de partida la cartografía geológica (el re-levantamiento cartográfico-geológico), recientemente elaborando por parte del INGEOMINAS; y evidentemente toda la información disponible del área de estudio. Con base en esta información se orientaran los presentes estudios.

Se pretende también con este trabajo, identificar zonas entorno a la mineralización esmeraldífera; con base en rasgos de fábrica de las rocas, mineralogía y petrografía, entre otros aspectos; para establecer sus relaciones causa-efecto con los procesos hidrotermales que favorecieron la formación de los depósitos esmeraldíferos. Con base en esta información, se espera identificar algunos criterios que ayuden en la exploración de este tipo de depósitos, al menos aplicables en otras áreas del Cinturón Esmeraldífero Oriental (Cordillera Oriental de Colombia).

## **1. OBJETIVOS.**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar y caracterizar las alteraciones hidrotermales en las rocas de la Formación Batá (Cretácico inferior) del sector Buenavista (cinturón esmeraldífero oriental, Ubalá - Cundinamarca).

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Compilar y analizar la bibliografía existente sobre la geología del área de estudio, particularmente de los depósitos de esmeraldas del sector, con el fin de contextualizar la problemática geológica del presente estudio.
- Realizar una salida a campo, con fines de reconocimiento geológico del área de estudio (apoyados en la cartografía geológica elaborada previamente por el INGEOMINAS) y para efectuar el correspondiente muestreo y documentar los diferentes rasgos geológicos del área de estudio. Este paso involucra muestreo de: un túnel ubicado en el área, afloramientos de la zona, además del seguimiento y muestreo de la columna estratigráfica levantada por funcionarios de INGEOMINAS.
- Describir macroscópicamente las muestras recolectadas en campo, para generar su correspondiente catálogo de muestras.

- Realizar un estudio petrográfico de 29 secciones delgadas de rocas (afectadas o no hidrotermalmente), brechas hidrotermales y venas.
- Realizar el estudio petrográfico y microtermométrico en Inclusiones Fluidas (IF), de 5 muestras relacionadas con materiales de origen hidrotermal.
- Identificar la tipología de las manifestaciones hidrotermales presentes a lo largo de la Mina “Buena Vista” y la zona de estudio (brechas hidrotermales, venas hidrotermales, etc.).
- A partir de análisis de isótopos estables definir la fuente de los paleofluidos asociados a las manifestaciones hidrotermales.
- Realizar un estudio de química mineral, mediante la técnica de microsonda electrónica, especialmente en aquellos materiales de relleno hidrotermal.
- A partir de los nuevos datos obtenidos, generar un modelo de génesis de las manifestaciones hidrotermales identificadas y establecer su relación con los eventos generadores de esmeraldas en el sector de estudio.
- Con base en los estudios anteriores, proponer algunos criterios o guías de exploración de esmeraldas.

## **2. METODOLOGIA.**

Con la intención de lograr los objetivos mencionados en el apartado anterior, se diseñó y siguió con una metodología de trabajo, la cual consta de las siguientes fases: Pre-campo, Campo, laboratorio Interpretación de Datos y Edición del Informe Final.

Por su importancia en la obtención de nuevos datos, a continuación se describe más detalladamente lo relacionado con las fases Campo y Laboratorio.

### **2.1 FASE DE CAMPO.**

Para el presente estudio, se realizó un recorrido por diferentes sectores del Cinturón Esmeraldífero Oriental, en aras de reconocer las unidades estratigráficas y las estructuras cartografiadas previamente por geólogos del INGEOMINAS durante el re-levantamiento cartográfico-geológico del Cinturón Esmeraldífero Oriental. Para muestreos específicos que tendrán lugar durante este estudio, se realizaron conjuntamente entre el personal de INGEOMINAS y la Escuela de Geología de la Universidad Industrial (UIS).

Un muestreo detallado de túneles y afloramientos, y en menor detalle la toma de datos estructurales se desarrolló con posterioridad a la etapa de reconocimiento. Una jornada de campo especial fue dedicada al muestreo del sector de Buenavista (objeto de estudio del presente trabajo de grado), con la finalidad de muestrear su litología y las diferentes manifestaciones hidrotermales (venas, bolsones, etc.). Cada muestreo fue detalladamente documentado mediante la toma de fotografías,

localización en coordenadas planas X, Y, dato tomado mediante GPS. En el caso de la localización de las muestras al interior de la mina, estas fueron referenciadas con respecto a la bocamina, y además controlado mediante la toma de distancias con decámetro.

## **2.2 FASE DE LABORATORIO.**

En el transcurso de esta fase, se describieron las muestras de mano tomadas en la fase de campo, se elaboraron las secciones delgadas para estudios mineralógico-petrográficos mediante microscopía óptica de luz transmitida, se prepararon y analizaron muestras mediante Difracción de Rayos X (DRX), se prepararon láminas delgadas doblemente pulidas para estudios petrográficos y microtermométricos de Inclusiones Fluidas, y se separaron manualmente fracciones monominerales y fragmentos de rocas para estudios de geoquímica de isótopos estables.

Una descripción detallada de los análisis realizados, los procedimientos seguidos y los equipos analíticos utilizados, se presenta a continuación.

### **2.2.1 Microscopía óptica.**

La descripción macroscópica de las muestras de mano recolectadas en campo, se realizó con ayuda de la lupa estereoscópica marca Stemi DV4, *Carl Zeiss* Jena (Figura 1A), en el Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Esta descripción consistió en la determinación de las principales características macroscópicas de las rocas,

venas, bolsas y brechas, tales como: Color, textura, estructura, composición y clasificación, las cuales fueron registradas y compiladas en una ficha Excel.

El estudio mineralógico-petrográfico en rocas y venas, al igual que el estudio petrográfico de Inclusiones Fluidas, se realizó utilizando un microscopio de luz transmitida (Nikon *Eclipse-50i*), incorporado con Cámara Digital modelo DS-L1 (Figura 1B) localizado en el laboratorio de Microscopia Óptica de la Escuela de Geología de la UIS (sede Principal).

La descripción petrográfica de la IF, se realizó basándose en lo propuesto en Roedder (1984) y Van Den Kerkhof (2001), en donde las IF se clasifican según diferentes criterios: genéticos, morfológicos, número de fases, etc.



**Figura 1. A.** Aspecto de la lupa Estereoscópica Stemi DV4, Carl Zeiss Jena, utilizada en la descripción macroscópica de las muestras de mano recolectadas. **B.** Aspecto del microscopio de Luz Transmitida Nikon Elipse 50i, utilizado en el estudio mineralógico-petrográfico y petrografía de Inclusiones Fluidas.

### 2.2.2 Difracción de Rayos X.

La preparación de muestras para análisis de difracción de rayos X (DRX), se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología

de la Universidad Industrial de Santander. Para tal fin, las muestras fueron sometidas a un proceso de triturado, pulverizado y secado alcanzando un tamaño de grano menor a  $2\mu\text{m}$ . Posteriormente, las muestras de roca pulverizada (agregado desorientado) fueron analizadas en un difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB (Figura 2), localizado en las instalaciones de la Escuela de Química de la Universidad industrial de Santander.

Unos 20 gramos de muestra, pulverizada manualmente con un mortero cerámico, fueron utilizados para el análisis de DRX. El Espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un porta muestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral. Las mediciones realizadas con el propósito de determinar la composición mineralógica de las muestras de rocas se realizaron bajo las condiciones indicadas en la Tabla 1.



**Figura 2.** Aspecto del difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizada en los análisis de DRX. Escuela de Química, Universidad industrial de Santander.

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).

Posteriormente, dichos resultados se analizaron para calcular de manera semicuantitativa, las diferentes especies minerales. En total se analizaron 46 muestras. Los difractogramas con análisis cualitativos se presentan en el Anexo 3.

**Tabla 1.** Parámetros de medición de muestras en polvo desorientado

<b>CONDICIONES DEL EQUIPO</b>	
Voltaje	40(kV)
Corriente	20(mA)
Rendijas (Slits)	DS = 1.0°
	RS = 0.3mm
	SS = 1.0°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuK $\alpha$ 1
Monocromador	Grafito
<b>IDENTIFICACION DE FASES</b>	
Tipo de barrido	continúo
Velocidad de Barrido	1.2° / min.

### 2.2.3 Microtermometría de inclusiones fluidas (IF).

Los análisis microtermométricos en IF, se realizaron utilizando una *Platina* TH600-LINKAM (Figura 3), adaptada a un microscopio óptico de luz transmitida, marca Nikon Elipse 50i.

El rango de temperatura en el cual se pueden medir los cambios de fases (procesos de calentamiento - enfriamiento), es del orden de -198 °C y +600 °C. En las mediciones en un 10 mismo punto, el calentamiento siempre fue posterior al

enfriamiento para evitar una posible decrepitación en las inclusiones de menor temperatura de homogenización.



**Figura 3.** Aspecto de la Platina TH600 marca LINKAM, utilizada en el estudio de microtermometría de inclusiones fluidas. Escuela de Geología, Sede Guatiguará, Universidad Industrial de Santander (UIS).

#### **2.2.4 Geoquímica isotópica.**

Los análisis de Isótopos estables de C, O y S de las muestras seleccionadas fueron realizados laboratorios de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca (España).

Las muestras seleccionadas para estudio mediante isótopos estables, fueron analizadas en el laboratorio de Isótopos estables de la Universidad de Salamanca (España). Las muestras monominerales a las cuales se realizó este estudio fueron: carbonatos (calcita – dolomita) sulfuros (pirita) y berilos (variedad esmeralda). Estos minerales, extraídos manualmente de las muestras de interés fueron sometidos a varios lavados mediante ultrasonidos, para con esto eliminar algunas posibles contaminaciones adheridas a su superficie.

Las muestras una vez seleccionadas, fueron sometidas al siguiente tratamiento químico en los laboratorios de Isótopos estables de la Universidad de Salamanca (España):

1. Las muestras monominerales fueron molidas en un mortero mecánico de ágata hasta obtener su pulverización total; luego de ser pulverizadas, se pesaron para separar 0.01 gramo de cada muestra, luego esta se dispone en el fondo de una de las terminaciones de un tubo 'Y', junto con 25 ml de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 100% (vertido en el fondo de la otra terminación del tubo) evitando el contacto de la muestra con el ácido.
2. El tubo 'Y' fue sometido a una purificación al vacío (a presiones de  $10^{-3}$  Torr), en una línea de extracción con trampas criogénicas, congelando así cualquier vapor o gases indeseables presentes. Una vez hecha la purificación al vacío del tubo 'Y', éste se somete a un baño maría a  $25^\circ C$ , durante 24 horas, manteniendo en contacto el ácido fosfórico con la muestra para que esta reacción favoreciera la liberación de  $CO_2$ , entre otros volátiles.
3. Los volátiles liberados mediante este ataque ácido, pasaron nuevamente por la columna de trampas criogénicas de la línea de extracción, con el objetivo de aislar (recolectar) el  $CO_2$  liberado de la muestra. Finalmente, este gas se analizó mediante un espectrómetro de masas Tipo 20-20, para calcular las relaciones isotópicas del oxígeno y carbono.

Durante el análisis el espectrómetro inyectaba el patrón y la muestra intercaladamente, para generar un gráfico, a partir del cual fueron hechos los cálculos que permitieron obtener los valores  $\delta^{18}O$  y  $\delta^{13}C$ . El patrón utilizado en este caso, fue un patrón interno (Patrón CM-1); proveniente de una muestra de

mármol, con composición isotópica para  $\delta^{13}\text{C} = 2,12\text{‰}$  (PDB) y para  $\delta^{18}\text{O} = -1,51\text{‰}$  (PDB); al igual que patrones de agua suministrados por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), tales como SMOW, V-SMOW, SLAP e GISP; y patrones de comparación internos.

El procedimiento anteriormente mencionado, se describe en la página Web <http://www.usal.es/~isotopos/>.

### 2.2.5 Microsonda electrónica.

Los análisis de química mineral, fueron realizados en el laboratorio para análisis de microsonda electrónica (UCLEMA en sus siglas en ingles, “Laboratory for Electron Microbeam Analysis”), que pertenece al departamento de geología y geofísica de la Universidad Calgary (Alberta, Canadá). Este laboratorio cuenta con una microsonda electrónica JEOL modelo JXA-8200 (Figura 4), el cual está provisto con 5 espectrómetros de dispersores de longitud de onda (WDS) y espectrómetros dispersores de energía (EDS).



**Figura 4.** Aspecto de la Microsonda electrónica, utilizada en el presente estudio para análisis de química mineral. Microsonda JEOL modelo JXA-8200.

Para la realización de estos análisis, las muestras fueron preparadas como secciones delgadas en el laboratorio de muestras de la Universidad Industrial de Santander, empleando la misma metodología para la preparación de secciones delgadas, con la diferencia de que no se les pegó cubreobjetos y fueron pulidas con alúmina de  $1\mu\text{m}$  y  $0,005\mu\text{m}$ ; con el objetivo de dejar su superficie lo mas pulida posible ya que ésta sería bombardeada por electrones, previo recubrimiento de la lamina con grafito.

En el análisis por microsonda electrónica, Los electrones incidentes normalmente tienen una energía cinética de 15 y 35 keV (un eV es la energía asociada con un cambio de 1 voltio en el potencial de un electrón), y penetra la muestra a una profundidad del orden de  $1\mu\text{m}$ , extendiéndose lateralmente a una distancia entre 1 y  $2\mu\text{m}$ . Esto impone un límite inferior para el volumen analizado y por tanto para la resolución espacial (<http://www.uned.es/cristamine/mineral/metodos/sem.htm>).

La mejora de la resolución mediante la reducción de la energía del electrón es generalmente impracticable ya que éstos deben poseer suficiente energía para conseguir una excitación eficiente de rayos X. En los análisis de microsonda, el espectro de rayos X es grabado con un espectrómetro de dispersión de longitudes de onda (*wavelength-dispersive spectrometers, WDS*), o de dispersión de energía (*energy-dispersive spectrometers, EDS*).

El primero utiliza un cristal difractor que actúa como un monocromador, seleccionando una longitud de onda cada vez, dependiendo del ángulo de incidencia de los rayos X. Muchos instrumentos tienen dos o más espectrómetros con cristales que cubren diferentes rangos de longitudes de onda. Los espectrómetros de energía dispersiva emplean detectores complementarios de rayos X en estado sólido y para algunos objetivos han reemplazado a los WDS.

Los EDS graban el espectro completo simultáneamente, se analiza la altura del pulso electrónico para tipos de pulsos producidos en el detector de acuerdo con la energía de los rayos X.

La platina portadora de muestras aloja normalmente varias muestras y estándares. Las muestras son siempre redondas o rectangulares con dimensiones típicas del orden de 2 o 3cm. Los patrones pueden ser montados individualmente o agrupados en soportes de tamaño normalizado. Se requiere que las muestras sean gruesas y estén pulidas, y que sean situadas en un sitio plano. Lo normal es fijar el foco del microscopio óptico acoplado y usar un fino ajuste de la platina en la dirección z para enfocar. Esto asegura que la posición de la fuente de rayos X es constante, lo cual es especialmente importante para espectrómetros de dispersión de longitudes de onda. En la actualidad, mediante ordenadores se controla la posición x e y, y los movimientos en z. Esto posibilita el análisis de un gran número de puntos sin intervención del operador, usando coordenadas previamente almacenadas.

### 3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO.

#### 3.1 LOCALIZACIÓN.

La zona esmeraldífera del cinturón oriental se localiza en la parte noroccidental del Anticlinal de los Farallones. Este cinturón presenta altitudes entre los 900 y 2000m sobre el nivel del mar y una orientación regional de N30-40E (Maya *et al.*, 2004).

Los depósitos de esmeralda de este cinturón oriental corresponden a los distritos mineros en orden de norte-sur a los municipios Chivor (Departamento de Boyacá), Ubalá y Gachalá (Departamento de Cundinamarca) (Figuras 5 y 6)

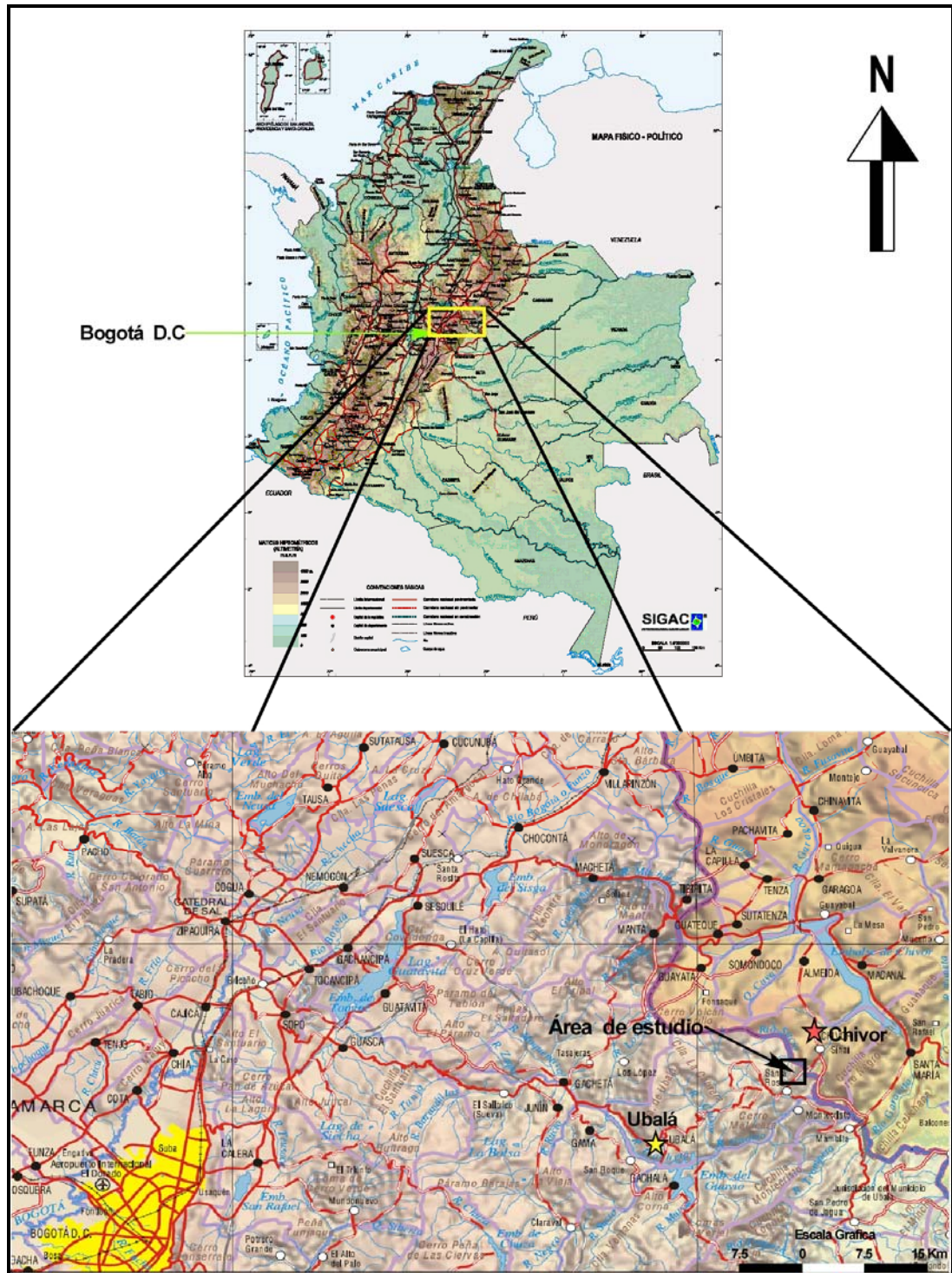
El distrito minero de Buenavista (objeto de estudio), se encuentra ubicado en el Corregimiento de Santa Rosa, jurisdicción del municipio de Ubalá (Departamento de Cundinamarca), en límites de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Este distrito, está separado geográficamente de las minas de Chivor por el Río Rucio (Figuras 5 y 6).

El municipio de Ubalá es un pequeño valle del piedemonte ubicado a 107 km de Bogotá, a una altura de 1949 metros sobre el nivel del mar.

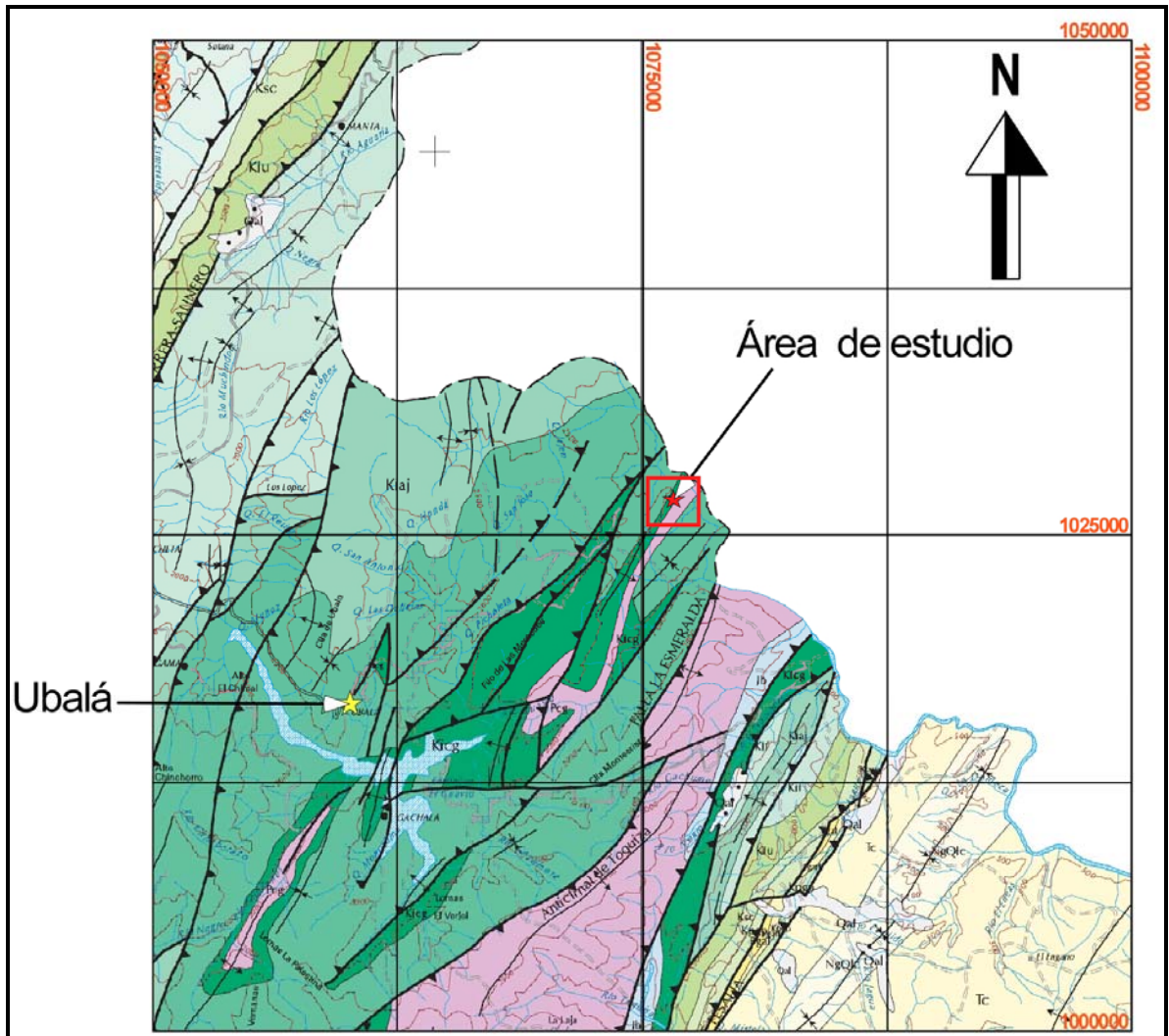
En el sector de Buenavista fueron muestreados el túnel denominado Mina “Buenavista”, un afloramiento del área del cual se levanto una pequeña columna a detalle de 3.4m (**Sección 2**), y además se realizo el muestreo de una columna levantada previamente por el INGEOMINAS en el sector (**Sección 1**). Todo esto, con el propósito de poder relacionar e identificar procesos hidrotermales en el área

específica de estudio, para entender mejor la historia hidrotermal del área y su relación con la mineralización esmeraldífera.

Las coordenadas de la bocamina (Mina Buenavista) son: Norte =1'027.125 y Este =1'076.239. La columna levantada a detalle se levo a cabo en las coordenadas Norte =1'027.484 y Este =1'076.991. El muestreo de una columna levantada previamente por el INGEOMINAS, inicio en las coordenadas Norte =1'027.301 y Este =1'076.920, finalizando las coordenadas en Norte =1'027.305 y Este =1'076.364. Estas coordenadas hacen parte de la plancha 189 (escala 1:100.000), y más específicamente en la plancha 229-I-D, escala 1:25.000, según la base cartográfica del IGAC.



**Figura 5.** Localización geográfica regional del área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca, Colombia). Tomado y modificado de [www.igac.com.co](http://www.igac.com.co).



**Figura 6.** Localización geográfica del área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca). Tomado y Modificado de Ulloa y Acosta (1999). Geología del Departamento de Cundinamarca.

### 3.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y FISIAGRÁFICOS.

Cundinamarca es un departamento predominantemente montañoso, aunque fisiográficamente se puede dividir en cinco regiones (Figura 7): Valle del Magdalena, Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, Cordillera Oriental,

Vertiente Oriental de la Cordillera Oriental y Llanos Orientales (Banco de la República, 1964. En Ulloa y Acosta, 2002).

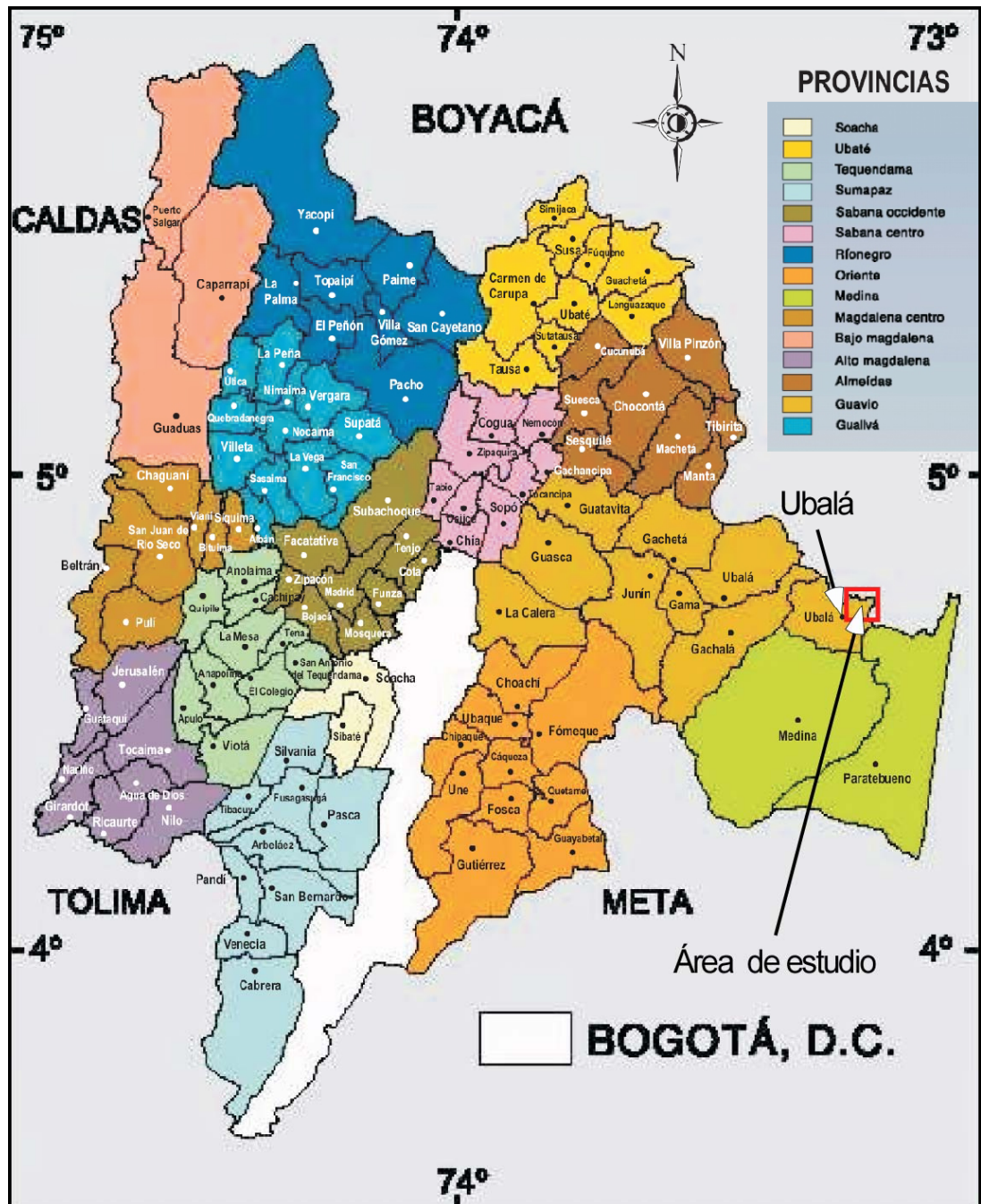
El municipio de Ubalá pertenece a la Vertiente oriental de la Cordillera Oriental y además hace parte de la Provincia del Guavio, conjuntamente con Gachalá, Gachetá, Gama y Junín (ver Figura 8). Se encuentra localizado a los 4° - 46' - 24" de Latitud Norte, 73° - 32' de Longitud Oeste, a 107 kilómetros de distancia de la capital del país ([www.ubala-cundinamarca.gov.co](http://www.ubala-cundinamarca.gov.co)).

El conjunto de los cinco municipios abarca un área total de 1694 kilómetros. Ubalá tiene una extensión de 50.481 Hectáreas, de las cuales 129 pertenecen al área urbana y 50.378 al área rural.

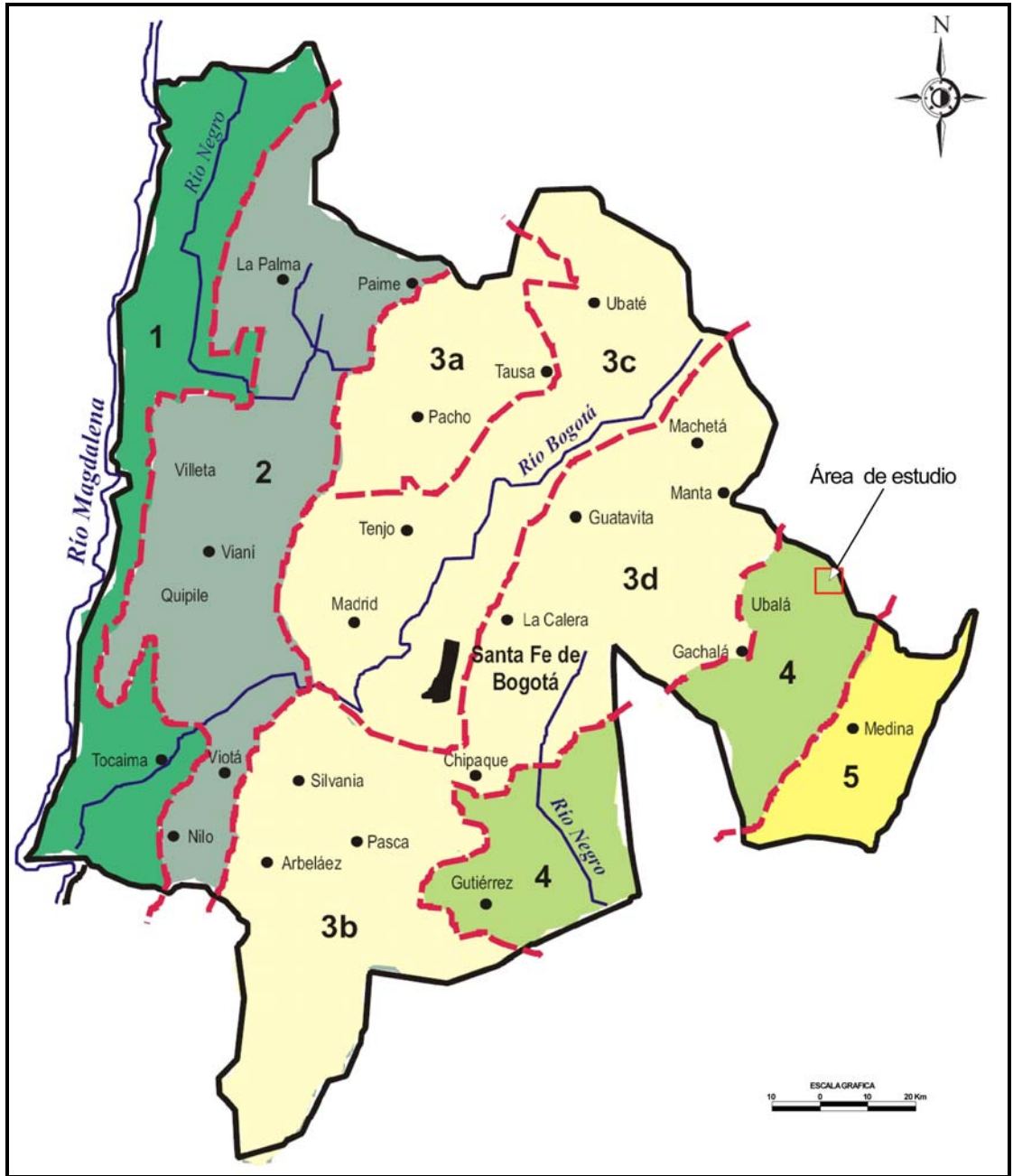
El municipio de Ubalá es un pequeño valle del piedemonte ubicado a 107km de Bogotá, a una altura de 1949 metros sobre el nivel del mar.

Límites del municipio:

NORTE:	Departamento de Boyacá.
SUR:	Municipio de Medina, Gachalá y Gama (Cundinamarca).
ORIENTE:	Municipio de Medina (Cundinamarca).
OCCIDENTE:	Municipio de Gachetá.



**Figura 7.** División política del Departamento de Cundinamarca. Tomado y modificado de Ulloa y Acosta (2002)



**Figura 8.** Regiones fisiográficas del departamento de Cundinamarca. 1. Valle del Magdalena. 2. Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental. 3. Cordillera Oriental: 3a. Páramos Occidentales. 3b. Macizo de Sumapaz. 3c. Altiplano Cundinamarqués. 3d. Cordón Magistral. 4. Vertiente Oriental de la Cordillera Oriental. 5. Llanos Orientales. Tomado y modificado de Ulloa y Acosta (2002).

La formación que aflora en este sector, Formación Batá, presenta relieve suavemente ondulado con amplios cañones en ríos y quebradas, que contrastan con las topografías abruptas y los cañones estrechos y escarpados que presentan las unidades supra e infrayacentes Arenisca de las Juntas y Calizas del Guavio respectivamente.

### **3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN.**

La geografía municipal es diversa y se manifiesta en sus pisos térmicos y/o bioclimáticos que se encuentran: alto andino, andino, subandino y ecuatorial. De la misma forma los paisajes son variados y contienen un gran potencial de biodiversidad. En el territorio municipal se encuentran ecosistemas estratégicos como los bosques primarios o no intervenidos o los bosques de vegetación nativa poco intervenida que representan gran valor ecológico como vegetación protectora de las vertientes captadoras de las diferentes cuencas y micro cuencas hidrográficas que constituyen la gran riqueza hídrica del Municipio y la región.

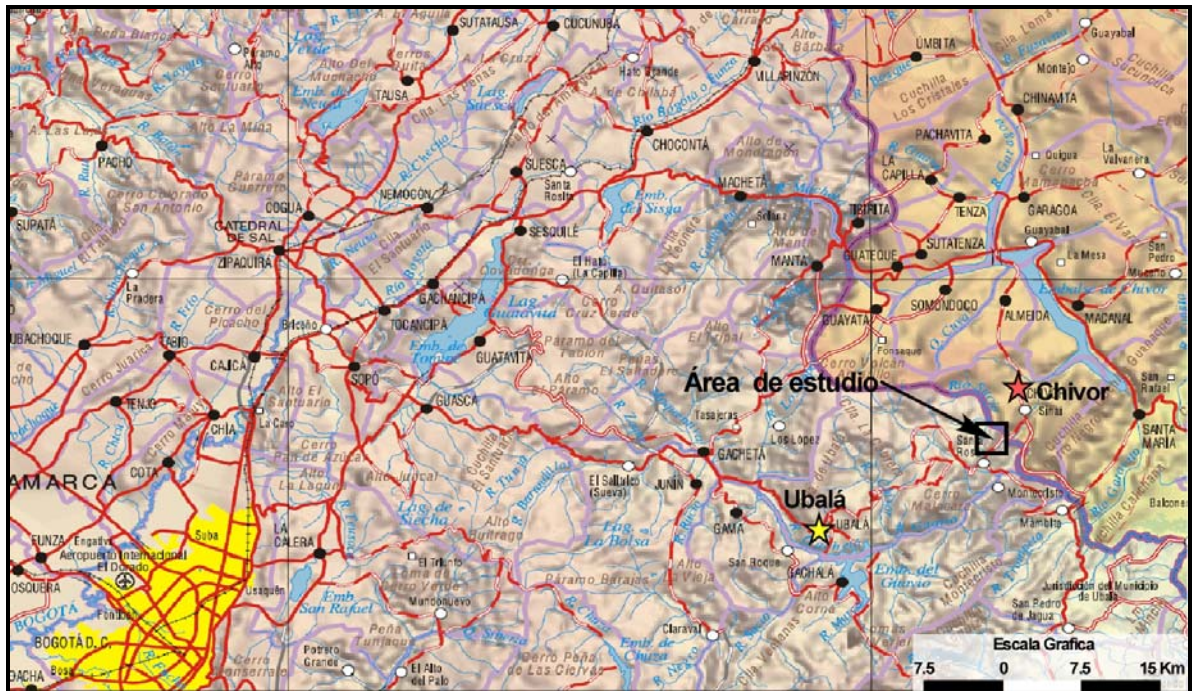
### **3.4 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA.**

El sector de Buenavista como ya se ha manifestado con anterioridad, se ubica entre los límites de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en la zona rural de los municipios de Ubalá y Chivor, por ende, esta es posible de acceder desde cualquiera de estos dos municipios, pues la zona se ubica entre el carretable que los conecta (Figura 9). Aunque se advierte que el carretable que

comunica los municipios de Chivor y Ubalá se encuentra en un estado precario, lo cual se evidencia en la dificultad para transitar en vehículos que no posean doble tracción y en la casi imposibilidad de circular, aún en estos, en épocas de lluvia.

El centro urbano de Ubalá se ubicada geográficamente al noreste Bogotá comunicada por una carretera departamental de 107 kilómetros de los cuales un 80% son pavimentados y los restantes localizados en el Páramo de Guasca se adelanta la pavimentación por parte del Ministerio de Transporte. En su recorrido atraviesa por los Municipios de La Calera, Guasca y Gachetá. Esta vía es la principal para el Municipio ya que por ella llega toda la comunicación de Bogotá.

El acceso para el municipio de Chivor se puede hacer por la carretera alterna a los llanos orientales, tomando la vía Bogotá – Tunja y a la altura del sitio conocido como “El Sisga” (sitio cercano a la represa que lleva el mismo nombre, ver mapa 1) se toma la vía que conduce a Guateque, municipio desde el cual se encuentra una carretera destapada hasta Chivor.



**Figura 9.** Vías de acceso al distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca. Tomado y modificado de [www.igac.com.co](http://www.igac.com.co).

### 3.5 ANTECEDENTES.

#### 3.5.1 Contexto paleogeográfico y paleotectónico.

Los andes colombianos están constituidos de tres cadenas montañosas subparalelas, conocidas como las cordilleras, Oriental, Central y Occidental. Estas se encuentran separadas por dos valles o cuencas intermontañas, en las cuales fluyen los principales ríos del país, Cauca y Magdalena.

Desde el Triásico, las tres cordilleras han pasado por varios episodios de subducción, acresión y colisión debido a que la parte noroccidental de Suramérica,

a interactuado con las placas de Farallón, Nazca, Caribe y varios arcos de isla. Sin embargo, la estructura actual de las tres cordilleras resulta principalmente desde el Mioceno, en las cuales se han sobre impuesto nuevos episodios.

La Cordillera Oriental se caracteriza por un basamento cristalino Precámbrico y Paleozoico que exhibe múltiples procesos deformativos a lo largo de los eventos orogénicos pre-Mesozoicos (Taboada *et al.*, 2000). Dicho basamento se encuentra suprayacido por una gruesa secuencia sedimentaria, cuyas edades corresponden desde el Mesozoico hasta mediados del Cenozoico, y que ha sido fuertemente deformado por distintos eventos de plegamiento y cabalgamiento, a lo largo del Neógeno.

Entre el Triásico superior y el Cretácico temprano, Colombia fue periféricamente afectada por una actividad volcánica, de tipo rifting, relacionada con la separación eventual de Norte y Suramérica en el proto-caribe, así como la apertura del Paleocaribe (Cooper *et al.*, 1995). Estos eventos iniciaron la formación de una cuenca sedimentaria regional que comprende ahora La Cordillera Oriental, el Valle Medio del Magdalena y la Cuenca de los Llanos (Figura 10); y fueron provocados por sucesivos eventos distensivos que dieron lugar a la formación de un graben supracontinental, bordeado por fallas normales, con subsidencia por causa de una tectónica de bloques, que permite la acumulación de los sedimentos continentales de las Formaciones Bocas, Girón y Los Santos (Fabre, 1983, en Mojica y Franco, 1990). Según Toussaint y Restrepo (1989, en Clavijo y Royero, 2000), el fraccionamiento y hundimiento de dicha fosa tectónica da como resultado la depositación de los abanicos aluviales que dieron origen a la Formación Tiburón.

Posteriormente, al seguir siendo sometidos estos terrenos a dicha distensión y a un fallamiento normal, hacia inicios del Cretácico, se produce una transgresión general que se extiende hasta comienzos del Terciario, y que cobija la parte

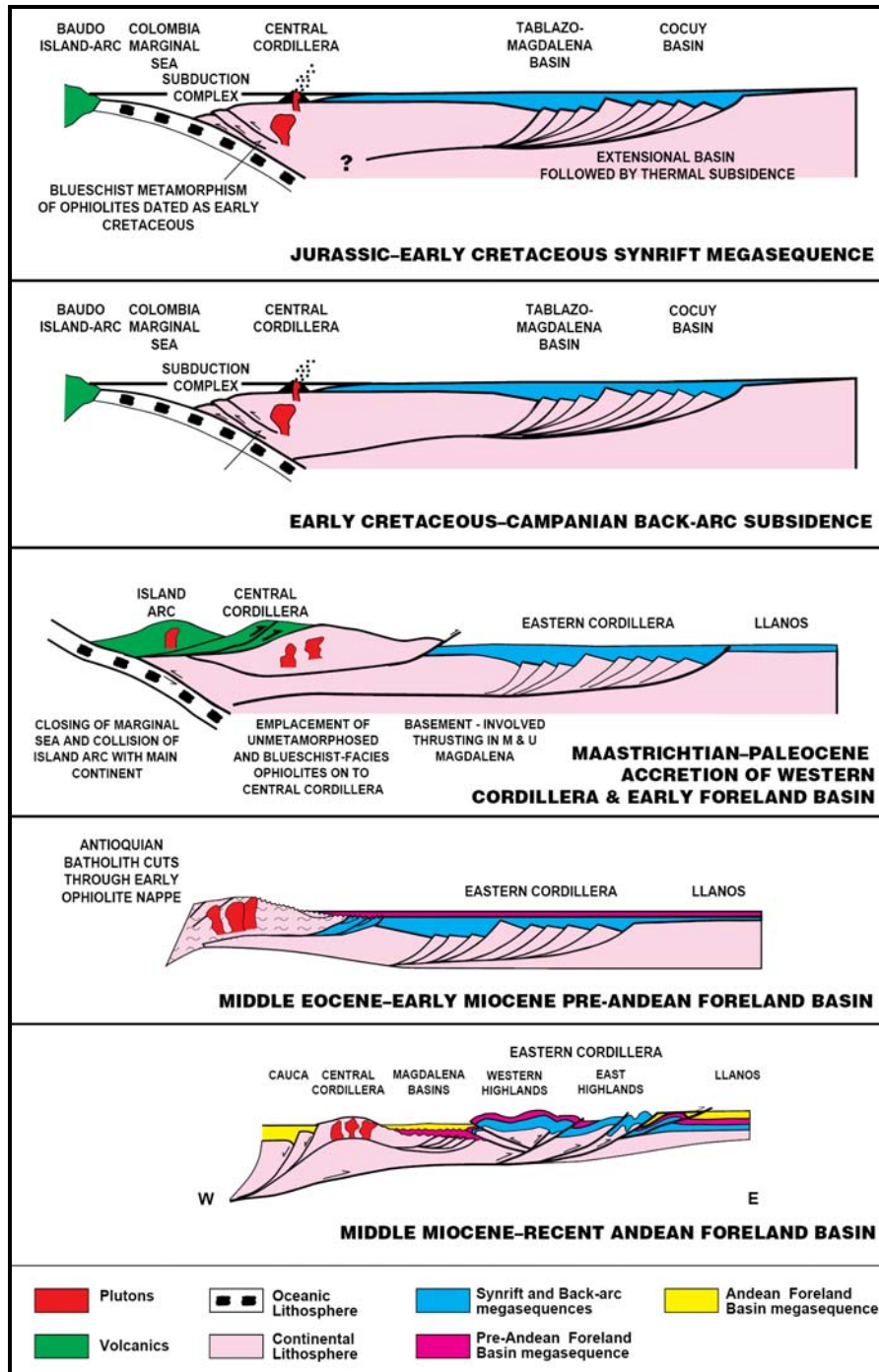
central de La Cordillera Oriental y el Valle del Magdalena, dando lugar a la depositación de la Formación Lisama. A lo largo de esta fase distensiva se presentan, simultáneamente, eventos magmáticos de intrusiones intermedias y básicas, así como intercalaciones de tipo piroclástico correspondientes a la Formación Jordán, y de pórfidos dacíticos que cortan la Formación Tambor.

Hacia finales del Cretáceo y comienzos del Paleoceno, se produce un evento regresivo que interrumpe la depositación marina de manera definitiva durante el Maastrichtiano Superior, debido a la acreción final de los fragmentos de corteza oceánica de la Cordillera Occidental (Figura 10). Esta fase inicial pre-Andina provocó deformación en el Valle Superior del Magdalena y el segmento sur de la Cordillera Oriental (Cooper *et al.*, 1995).

De este modo termina el episodio distensivo y se produce una inversión de esfuerzos que da inicio a la etapa compresiva que comienza a inicios del Paleoceno y se mantiene hasta la actualidad. A mediados del Paleoceno se inicia el levantamiento del Macizo Santander- Floresta, que va acompañado de la remoción erosiva de gran parte de la secuencia estratigráfica depositada previamente en anticlinales, opuesta a la más o menos continua depositación y subsidencia en zonas sinclinales (Julivert; 1961 en Mojica y Franco, 1990).

Entre el Eoceno y el Mioceno ocurre la depositación de las Formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado en ambientes continentales. En este periodo ocurre un gran evento compresivo que produce plegamiento y cizallamiento de los sedimentos hasta el momento depositados en el Valle Medio del Magdalena, dando lugar a la formación de la actual cadena plegada cabalgante con vergencia al occidente (Figura 10). Esta deformación terminó la depositación de sedimentos a través de Colombia y pudo haber sido limitada por la convergencia oblicua de la placa Nazca y la placa Sur Americana hasta hace unos 49 Ma (Pardo-Casas y

Molnar, 1987 en Cooper *et al.*, 1995); pero los efectos posteriores de la carga reestablecieron la cuenca en la que se depositó la secuencia pre-Andina hasta el Mioceno temprano (Cooper *et al.*, 1995). Además de estas fases tectónicas, también se identifica una última fase pre-Andina durante el Oligoceno más bajo, caracterizada por cabalgamientos y plegamientos a lo largo de los flancos de la Cordillera Oriental (Branquet *et al.*, 1999 en Taboada *et al.*, 2000) que al parecer no causaron deformación alguna en la Cordillera Oriental o en los Llanos, pero en cambio, pudo haber ocurrido deformación transgresiva destal a lo largo de los sistemas de fallas de Romeral y Salinas como resultado de la convergencia oblicua entre la placa Paleo-Caribe y el Noroeste de Suramérica (Alfonso *et al.*, 1989 en Cooper *et al.*, 1995).



**Figura 10.** Modelo secuencial del desarrollo de las regiones tectónicas para La Cordillera Oriental, el Valle del Magdalena Medio y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper *et al.* (1995).

La mayor deformación de la Cordillera Oriental y el Piedemonte Llanero tiene lugar como resultado de la acreción del arco Baudó-Panamá y su posterior colisión con Sur América, hacia el Mioceno tardío. Esta Colisión bloqueó la subducción oceánica normal de la Placa Caribe bajo el continente, provocando que la velocidad de convergencia entre las placas disminuyera de modo que la deformación activa se trasladó hacia el este, hacia zonas de la litosfera continental debilitadas por la misma subducción de bajo ángulo y finalmente acomodó el acortamiento de esta deformación a lo largo de las cuencas extensionales Mesozoicas por medio de la inversión de fallas normales antiguas y el desarrollo de nuevas estructuras compresionales. Durante el Mioceno-Plioceno, se reactivan como fallas inversas las paleoformas del zócalo originadas en la fase distensiva, debido a que se presentan como planos de debilidad preferenciales sobre los cuales la Cordillera Oriental pudo cabalgar hacia el oeste (Fabre, 1983; en Mojica y Franco, 1990). Desde el Mioceno superior hasta el Pleistoceno, ocurre la última secuencia de depositación molásica, evidenciada en Los Grupos Real y Mesa, así como depósitos recientes que presentan poca deformación.

### **3.5.2 Geología del área de estudio.**

El distrito minero de Buenavista, ubicado en el Corregimiento de Santa Rosa en el Municipio de Ubalá, en una estructura anticlinal, la cual en la bibliografía se conoce con el nombre de Anticlinal de Miralindo (Ulloa, 1979 y Forero, 1987).

Las unidades estratigráficas que afloran en la región de estudio, son básicamente las siguientes, de base a techo: Grupo Farallones, Formación Batá, Formación Lutitas de Macanal y Formación Calizas del Guavio.

En la literatura y cartografía geológica disponible hasta la fecha de elaboración del presente trabajo, la formación sobre la cual se hospeda la mineralización, es la Formación Lutitas de Macanal, denominada por Ulloa (1979) durante los estudios geológicos del cuadrángulo K-12, Guateque. Sin embargo, en la nueva cartografía geológica elaborada INGEOMINAS (Trabajos inéditos), indica que las rocas hospedadoras de la mineralización de esmeralda en este sector no corresponden a rocas de la Formación Lutitas de Macanal. Las rocas que afloran y hospedan la mineralización de esmeralda en este sector, parece indicar que hacen parte de la Formación Batá (Geol. INGEOMINAS, Roberto Terraza y Diana Montoya en comunicación verbal).

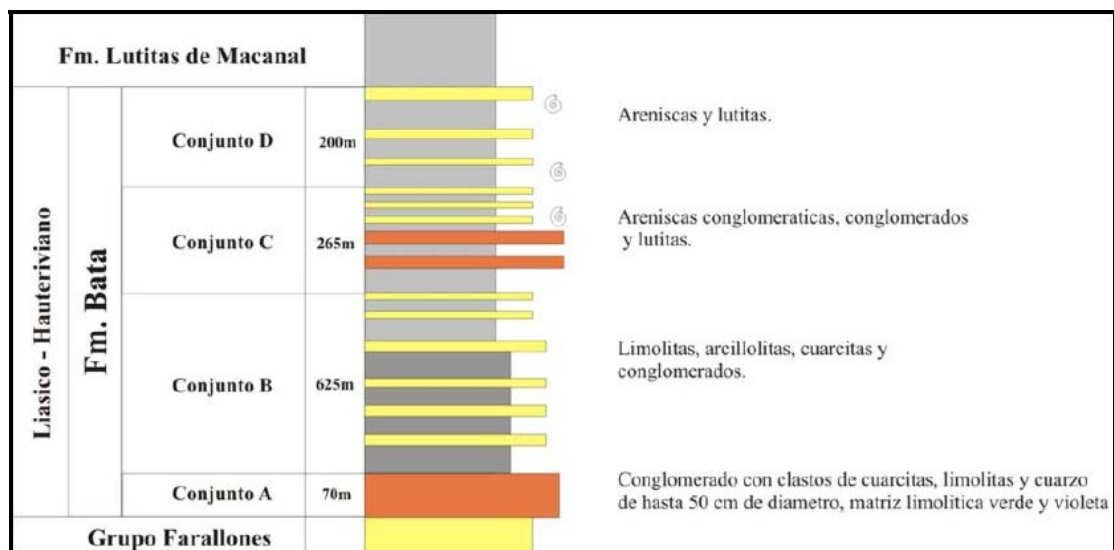
Por lo anteriormente mencionado y considerando los objetivos del presente trabajo, a continuación se presentara solo un resumen sobre los aspectos geológicos más relevantes de la Formación Bata, por ser la unidad estratigráfica hospedadora de las manifestaciones hidrotermales objeto del presente estudio. Información adicional sobre las restantes unidades estratigráficas presentes en el área, se describen más detalladamente en los trabajos de Ulloa (1979), Ulloa y Acosta (2002) e INGEOMINAS-GEOSTRATOS Ltda. (2005).

### **Formación Batá.**

Bürgl (1960) describió un conjunto de estratos que afloran en el cañón del Río Batá, al que denominó Liásico del Río Batá. Aflora al noreste de Bogotá, en la parte más septentrional del Macizo de Quetame. Rodríguez y Ulloa (1979), le asignaron el rango y nombre a esta unidad, para designar así a un conjunto de 1.160 m, compuesto por una secuencia de 1160 m de arenitas, conglomerados y lutitas (Figura 12) que descansan discordantemente sobre las rocas paleozoicas del Grupo Farallones. Ulloa y Rodríguez (1979) dividen así la formación Batá, de

Base a techo: conjunto A. conglomerado con cantos de cuarcitas, limolitas y cuarzo, espesor 70m; Conjunto B, compuesto por limolitas, arcillolitas y conglomerados, con espesor de 625m, Conjunto C, arenisca conglomeráticas, conglomerados y lutitas, con un espesor de 265m; Conjunto D, constituido esencialmente por areniscas lutitas que alcanzan unos 200m de espesor, en los niveles C y D ocurren niveles fosilíferos.

Las determinaciones paleontológicas de Bürgl (1960), y Ulloa y Rodríguez (1979), indicaban una edad Rhetico - Liásico, pero Etayo (2003), reinterpretando las determinaciones paleontológicas del techo de la unidad, encontraron que tiene una edad Valanginiano-Hauteriviano. Sin embargo, en determinaciones paleontológicas, la edad de la Formación Batá en el área de estudio, indican una edad Berriasiano (Geol. INGEOMINAS, Roberto Terraza y Diana Montoya en comunicación verbal).



**Figura 11.** Columna estratigráfica generalizada de la Formación Batá. Tomado y modificado de INGEOMINAS-GEOSTRATOS Ltda. (2005).

### 3.5.3 Modelos de génesis de esmeraldas.

A escala mundial, se conocen dos tipos fundamentales de yacimientos de esmeraldas que contrastan, donde se produce una conjunción favorable de las condiciones requeridas (Recio y Subías, 2002):

- Modelo pegmatítico, según el cual pegmatitas asociadas a granitoides – portadoras del Be- intruyen rocas básicas a ultrabásicas, que aportan el Cr y V necesario para formar la esmeralda. Los yacimientos que se ajustan a este modelo están por lo general asociados a la intrusión de rocas graníticas en encajantes prácticamente siempre de afinidad básica a ultrabásica, aunque su naturaleza puede ser muy variada, desde rocas volcánicas a sedimentarias, e incluyendo metasedimentos. Las esmeraldas en este contexto suelen presentarse en venas y/o halos de alteración metasomática asociados a las mismas dentro del encajante.
- El modelo tectónico – hidrotermal, según el cual la formación de esmeraldas tiene lugar como consecuencia de la actividad hidrotermal asociada a grandes fallas corticales o zonas de cizalla que afectan a esquistos máficos – ultramáficos. Las estructuras focalizan el flujo de los fluidos, que lixivian el Cr-V en las rocas básicas y precipitan las esmeraldas en el frente de alteración / metasomatismo, durante la interacción roca / fluido, cuando el fluido portador del Be encuentra el esquistos rico en Cr. En este tipo de yacimiento la salinidad del fluido puede oscilar desde bastante baja a supersaturado. La presencia de evaporitas (sulfatos) parece ser importante a la hora de controlar la química del fluido durante la precipitación de esmeraldas. Este modelo no requiere la existencia de pegmatitas o rocas ígneas (graníticas) asociadas. Los

yacimientos colombianos son un caso especial dentro de este modelo (Recio y Subías, 2002), denominado sedimentario-hidrotermal.

- **Modelo Sedimentario-Hidrotermal (Esmeraldas Colombianas)**

Los depósitos de esmeraldas conocidos en la Cordillera Oriental de Colombia, se presentan en dos cinturones que cubren áreas de los Departamentos de Boyacá y Cundinamarca. En estos sectores las mineralizaciones se presentan por lo general en las sedimentitas del Cretácico Inferior, litologías mayoritariamente del tipo shale carbonoso (Giulliani *et al.* 1995).

Muchos trabajos se han realizado con el objetivos de estudiar la génesis de los depósitos esmeraldíferos en los dos Cinturones esmeraldíferos que reposan en la Cordillera Oriental Colombiana. Dichos trabajos se han encaminado a esclarecer los procesos que dieron origen a estos excepcionales depósitos minerales que tanto fascinan a la comunidad científica, valiéndose de diferentes propuestas y teorías basadas en los distintos resultados obtenidos a partir de análisis geológicos, geoquímicos y geofísicos, entre muchos otros.

Los primeros estudios orientados a explicar el origen de las depósitos esmeraldíferos del Cinturón Occidental, les confirieron un origen magmático; tal es el caso de Scheibe (1916, en Maya *et al.*, 2004), quien otorga las esmeraldas de Muzo un origen magmático, sobre la base de la presencia de diques pegmatíticos, aunque admite la inexistencia de un afloramiento de rocas graníticas del Cretáceo Inferior. Posteriormente Restrepo (1958, 1959, en Maya *et al.*, 2004) soporta esté modelo con un estudio realizado sobre las esmeraldas de Muzo, donde plantea la posibilidad de que el origen de estas esmeraldas este vinculado con posibles pegmatitas a profundidad o a fenómenos de anatexis. Hacia los años setentas,

varias teorías se desprendieron de esta idea común, así fue como Beus y Mineev (1972, en Maya *et al.*, 2004) proponen que los depósitos de Muzo y Coscuez estaban relacionados con soluciones hidrotermales de procedencia magmática, de relativa baja temperatura, ricas en CO<sub>2</sub>, S, Na, Ca, Mg y F; en donde el transporte de berilo ocurrió en forma de compuestos de carbonatos de F, desestabilizados por un aumento de alcalinidad y una disminución de la presión de CO<sub>2</sub>. Del mismo modo, Hall (1976, en Maya *et al.*, 2004), mediante un estudio geoquímico y mineralógico, concluye que las vetas esmeraldíferas tienen más afinidad con procesos postmagmáticos neumatolíticos e hidrotermales. Por otra parte, Ulloa (1980), llega a la conclusión de que las esmeraldas de la parte central de la Cordillera Oriental (Regiones del Guavio y Vásquez-Yacopí), provienen de las rocas plutónicas básicas que intruyen las sedimentitas del Cretácico, y que se localizan en los alrededores de las mineralizaciones (Plutones La Corona, Cáceres, Pajarito y Rodrogoque).

No obstante, no todos apoyaban este modelo magmático, ya que Wokittel y Mutis (1954, en Maya *et al.*, 2004) reportan la imposibilidad de que las rocas ígneas localizadas al sur de la región hayan sido las fuentes de las mineralizaciones de esmeraldas pues observa que no hay aureola de contacto en los sedimentos que las suprayacen. Sin embargo, no fue sino hasta Ottaway *et al.* (1994, en Maya *et al.*, 2004) que se plantea un modelo hidrotermal – sedimentario para la formación de las esmeraldas de Colombia.

Posteriormente, Giuliani *et al.* (1995) a partir del análisis inclusiones fluidas e isótopos de azufre, determinan que salmueras hipersalinas calientes, provenientes de la cuenca, y enriquecidas en Na, Ca y K, fueron los fluidos originarios de la reacción. Además, estudian las evaporitas y los shales carbonosos, relacionados con la evolución de dicha cordillera (antes de la orogenia andina del Mioceno-Plioceno), a partir del cual, determinan que dichas salmueras reaccionaron con la

materia orgánica de los shales durante la reducción termoquímica del sulfato (de origen evaporítico), por una interacción con los estratos ricos en materia orgánica. De este modo, elaboran un nuevo modelo de génesis de los depósitos esmeraldíferos, del flanco occidental de la Cordillera Oriental, conocido como el modelo Hidrotermal – Sedimentario. De igual forma, ese año Cheilletz *et al.* (1994) determinan la edad de las esmeraldas colombianas, a partir de dataciones Ar/Ar; y plantean un modelo de depósitos mesotermiales para explicar el origen de dichas esmeraldas. Consecuentemente, Cheilletz y Giuliani (1996) se unen para identificar los depósitos esmeraldíferos colombianos como estratoconfinados de bajas temperaturas asociado con lutitas negras del Cretácico inferior, formados en ambientes sedimentarios y producidos a través de reducción termoquímica de salmueras ricas en sulfatos y ácidos sulfurosos por interacción con estratos ricos en materia orgánica.

Antes de los trabajos de Cheilletz y Giuliani, no existía un acuerdo en cuanto al origen de las esmeraldas en el Cinturón Occidental, ya que las teorías al respecto solo daban soluciones a depósitos particulares y no a la totalidad. De modo tal que los modelos más aceptados eran los que se relacionaban con un origen ígneo granítico (Scheibe, 1916), con un origen neumatolítico hidrotermal carbonatítico (Hall, 1973), con una concordancia genética con las evaporitas (McLaughlin, 1972, en Ulloa, 1980) y con un origen autóctono de rocas circundantes (Medina, 1970, en Maya *et al.*, 2004).

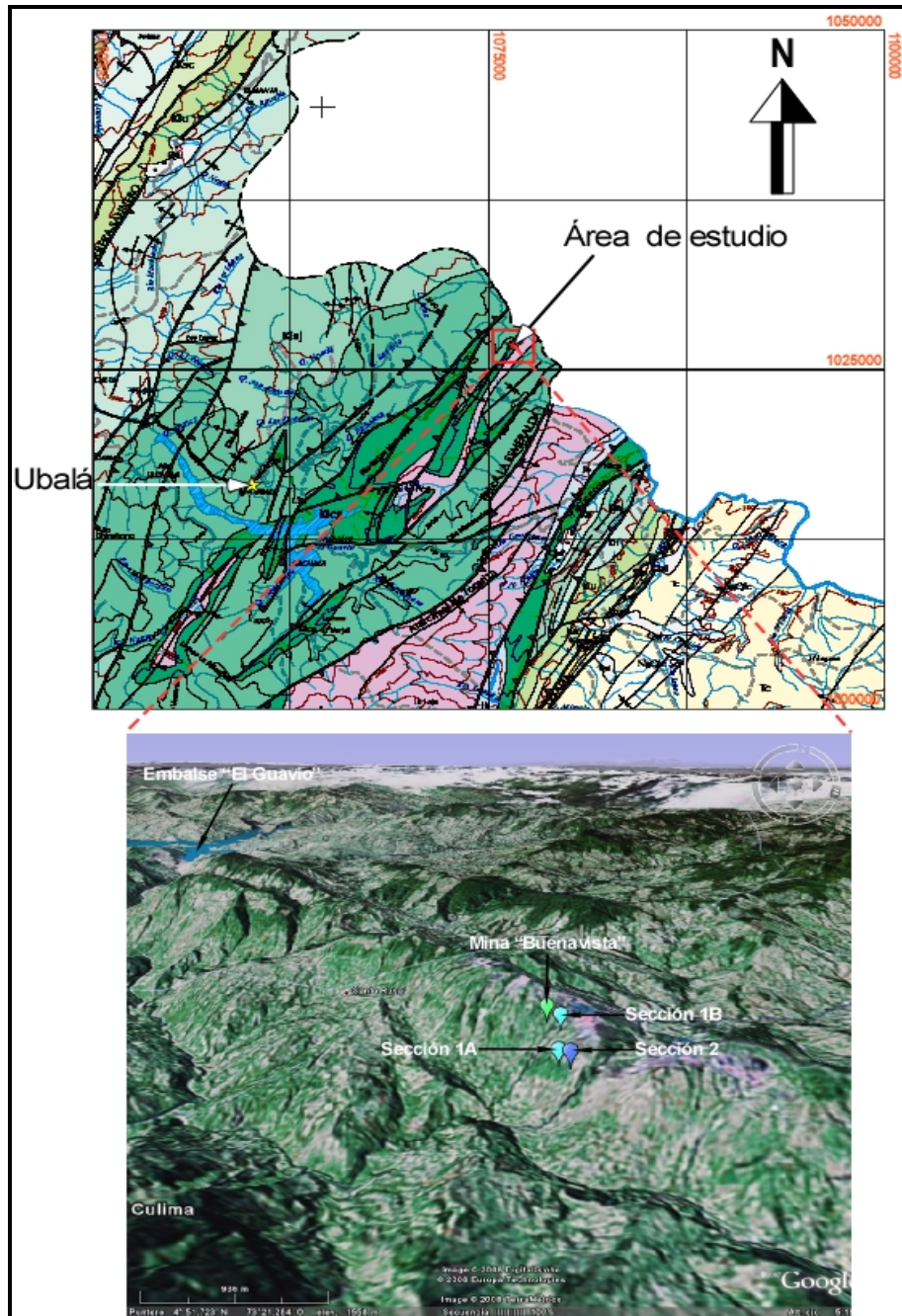
Es a partir del trabajo de Cheilletz y Giuliani (1996) que se han establecido criterios específicos que permiten la consolidación de una teoría predominante que revela el origen de los depósitos esmeraldíferos occidentales y que se fundamenta en datos de inclusiones fluidas y de isótopos estables, y corroborado por dataciones  $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$  en moscovitas verdes ricas en Cr-V, contemporáneas a la formación de las esmeraldas de este cinturón (Cheilletz *et al.*, 1994).

## 4. RESULTADOS.

### 4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Con el propósito de conocer los rasgos geológicos más importantes del área de estudio y su relación con la mineralización esmeraldífera, se estudió la geología al interior del Mina “Buenavista”, y dos sectores concretos en superficie. El objetivo fundamental de este trabajo, es poder identificar rasgos geológicos a escala macroscópica, comunes tanto al interior de la mina, como en superficie, los cuales puedan servir a manera de guías de exploración esmeraldífera en áreas circunvecinas. Además, porque de esta manera, se tendría indicadores relacionados con zonas de menor o nula alteración como la sección 1, otra como la Mina “Buenavista” (mediana alteración) y la sección 2 (alteración supergénica intensa).

Tal como se menciona en el apartado de localización las coordenadas de los sitios muestreados son las siguientes (ver Figura 12): Mina “Buenavista”, referenciado con respecto a bocamina sus coordenadas corresponde a Norte =1'027.125 y Este =1'076.239. Levantamiento de una pequeña columna a detalle de 3.4m (**Sección 2**) se llevo a cabo en las coordenadas Norte =1'027.484 y Este =1'076.991. El muestreo de una columna levantada previamente por el INGEOMINAS (**Sección 1**), inicio en las coordenadas Norte =1'027.301 y Este =1'076.920, finalizando las coordenadas en Norte =1'027.305 y Este =1'076.364. Estas coordenadas hacen parte de la plancha 189 (escala 1:100.000), y más específicamente en la plancha 229-I-D, escala 1:25.000, según la base cartográfica del IGAC



**Figura 12.** Localización geográfica regional del los sitios muestreados y estudiados en el área de estudio (Distrito minero de Buenavista, Ubalá-Cundinamarca, Colombia). Tomado y Modificado de Ulloa y Acosta (1999). Geología del Departamento de Cundinamarca. Imagen satélite tomada de [www.google-earth.es](http://www.google-earth.es) El punto de inicio del muestreo de la Sección 1 en la imagen esta marcado como Sección 1A, y el punto de finalización como Sección 1B

#### **4.1.1 Aspectos geológicos generales al interior de la Mina “Buenavista” (Formación Batá y manifestaciones hidrotermales asociadas).**

La unidad estratigráfica hospedadora de la mineralización en el sector minas de Buenavista, es la Formación Batá, de edad Berriasiano, tal como se menciona anteriormente. A nivel de la geología estructural del área, el sector de minas de Buenavista se encuentra sobre el flanco occidental del Anticlinal de Miralindo (Ulloa, 1979 y Forero, 1987).

##### **Rasgos macroscópicos:**

La mina de Buenavista (ver Figura 13) se extiende 84,4m lineales. Estos 84,4m se dividen en: Una galería que va desde bocamina (punto 5, ver Figura 13) a hasta un punto de bifurcación (punto 4, ver Figura 13) de 37m de longitud. Este punto en el cual se divide, uno en dirección SW, por unos 30 m, y otro en dirección predominantemente SE, alrededor de unos 40 m. Respecto a la galería que se abre en dirección SW esta cambia de dirección (puntos 3 y 2, ver Figura 13) en dirección predominantemente SE por unos 17.4m.

En lo concerniente al levantamiento de esta mina, se recolectaron datos estructurales, así como 21 muestras de mano, entre las cuales se encuentran venas, bolsas, brechas y rocas encajantes (Figura 13). Cabe mencionar que la galería comprendida entre los puntos 4 y 5, no fue posible culminar su muestreo y toma de datos debido a trabajos de minería llevados a cabo, pues estos continuaban en el momento en que se muestreaba la mina.

A grandes rasgos se pueden reconocer dos dominios (ver Figura 14 y 15), diferenciados por características estructurales y texturales presentes en la roca, las cuales son:

- **Dominio 1:** Zona de brechificación.
- **Dominio 2:** Roca encajante, lodolitas carbonosas y lodolitas calcáreas carbonosas plegadas y fracturadas.

**Dominio 1:** Se caracteriza, por ser una zona de brechificación y de albitización.

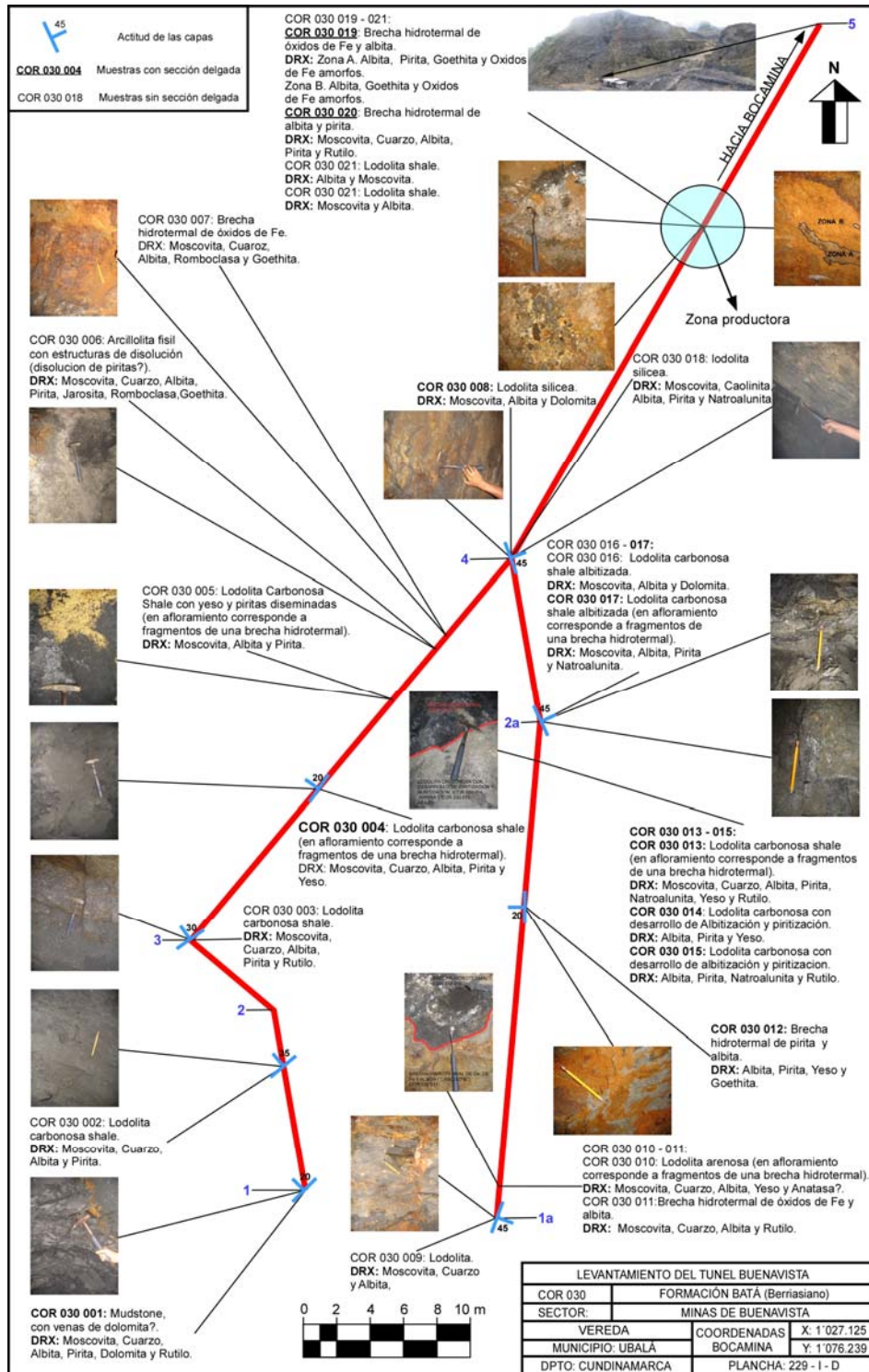
La zona brechificada: corresponde a rocas constituidas por fragmentos angulares a subangulares de arcillolita físil carbonacea, lodolitas grises claras y shales carbonosos. Esta zona yace generalmente paralela a la estratificación y cercanas a las zonas albitizadas (Figura 15A).

La zona albitizada: Son cuerpos masivos de color blanco compuestas principalmente por albita y en menor proporción pirita (zona albitizada, ver Figura 16B y C), incluye también algunos pocos fragmentos de roca encajante. Son cuerpos estratiformes (paralelos a la estratificación de la lodolita carbonosa), no obstante en ocasiones la cortan. Estos cuerpos albitizados, se presentan en contacto con lodolita carbonosa albitizada, con profusión de venas de albita (ver Figura 16B).

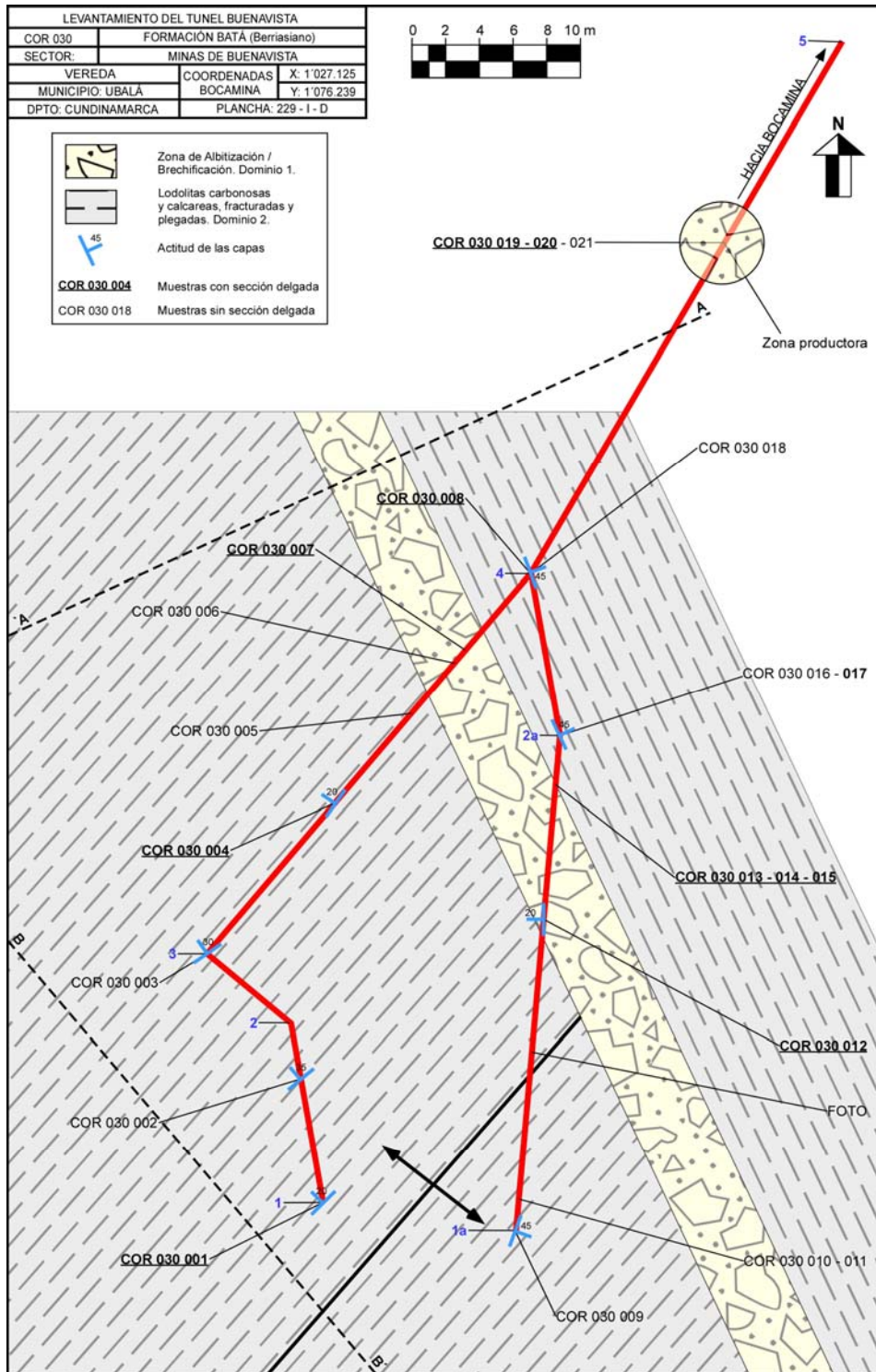
Muchos de los fragmentos que conforman la brecha, y roca encajante de las zonas de brechificación y albitización, presentan desarrollo de piritización (pirita diseminada principalmente en los shales carbonosos), aunque es frecuente observar oquedades dejadas por la disolución/oxidación de la pirita, lo que explica las tonalidades rojo-amarillentas de las rocas de esta zona.

La característica en común entre estos dos tipos de rocas, consiste en que constituyen un material bastante triturado y friable (podría indicar que se trata de

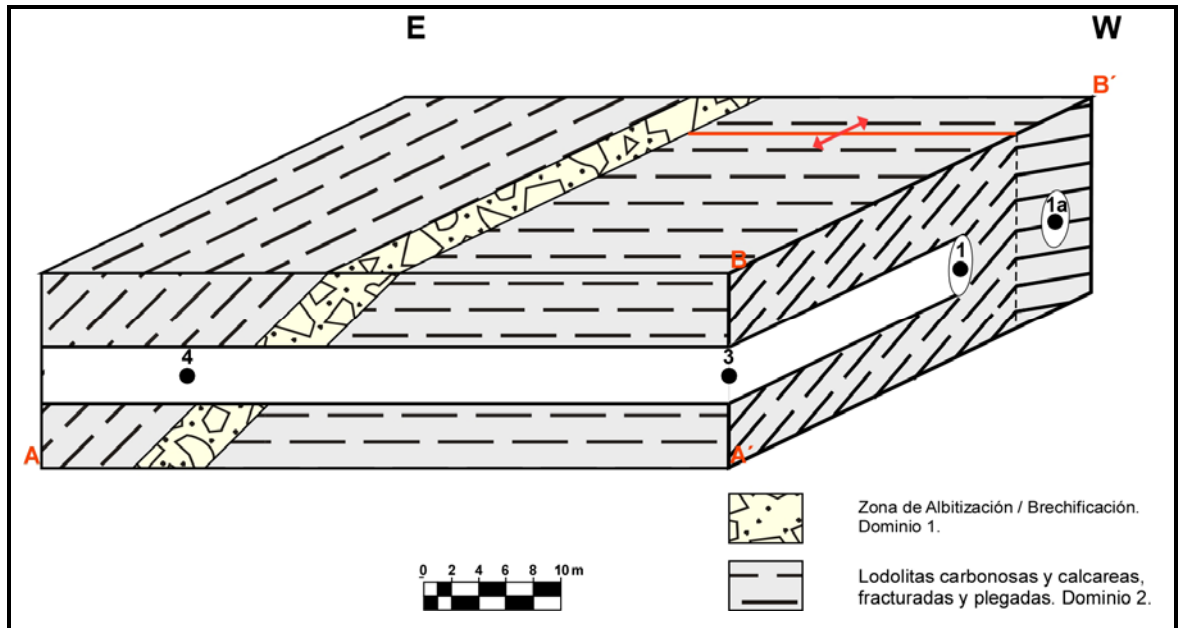
un retrabajamiento, zona de cataclasis, posterior a la mineralización y pérdida de material cementante por acción de disolución de aguas meteóricas) que los diferencia de las manifestaciones hidrotermales encontradas en el muestreo sistemático de la columna de la Formación Batá, sección Buenavista (por ejemplo los cuerpos brechificados, que están muy bien cementados, ver apartado 4.1.2). Este material con tales características, los mineros de la zona lo denominan “cascoche”, el cual siguen para la explotación de esmeraldas. Es también muy característico de este dominio, la presencia abundante de óxidos de Fe (tonalidades rojas amarillentas y amarillas rojizas en la roca).



**Figura 13.** Diagrama en vista de planta de la Mina "Buenavista", con descripción macroscópica de las muestras recolectadas y fases minerales encontradas en las muestras por medio de DRX.



**Figura 14.** Diagrama en vista de planta de la Mina "Buenavista", mostrando los dominios y principales rasgos estructurales de la mina.

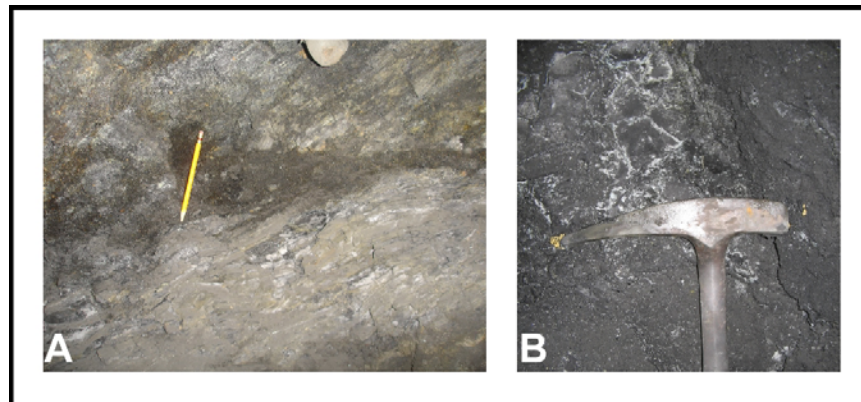


**Figura 15.** Esquema ilustrativo en bloque diagrama de los rasgos estructurales de la Mina "Buenavista".



**Figura 16.** **A.** Aspecto de una zona de brechificación (fotografía a escala de afloramiento de la muestra COR 030 020). **B.** aspecto de una zona albitizada (en coloración blanca en la fotografía y zona de brechificación abajo (muestras COR 030 014 y 015), en contacto con lodolita carbonosa con profusión de venillas de albita, arriba). **C.** Desarrollo de zonas de bandas y bolsas albitización + pirita (delineado en negro), en contacto con una zona que presenta alta oxidación (muestra COR 030 019).

- **Dominio 2:** Caracterizado por poseer roca encajante plegada y fracturada (Figura 15), aunque se aprecia con mayor fracturamiento (estructura brechoide y profusión de venillas) y desarrollo de un clivage incipiente a medida que se acerca a la zona de albitización/brechificación. Las fracturas de las rocas en contacto con la zona de se encuentran rellenas de albita (Ver Figura 17)



**Figura 17. A.** Zona fracturada y con desarrollo de una foliación incipiente con evidente proceso de albitización. (Fotografía a escala de afloramiento de la muestra COR 030 016). **B.** Lodolita carbonosa, triturada con rellenos de albita. Estos se desarrolla principalmente en cercanías con la zona de albitización y brechificación (muestra COR 030 005).

A nivel de litológico, esta zona consta principalmente de lodolitas carbonosas y en menor proporción lodolitas calcáreas carbonosas y grises claras las cuales constituyen los niveles litológicos más competentes, en las cuales se aprecia el desarrollo de venillas de calcita fibrosa de aproximadamente 0.5cm de espesor, paralelas-subparalelas a la estratificación (ver Figura 18). Sobre todos estos cuerpos rocosos, en común con el dominio 1, presentan desarrollo de piritización (pirita diseminada), aunque muchas veces se presentan oquedades dejadas por la disolución/oxidación de la pirita, lo que produce que se lixivien óxidos sobre los planos de fracturamiento de la roca.



**Figura 18.** Lodolita calcárea carbonosa con profusión de venillas de calcita fibrosa de 0.5-1cm de espesor, paralelas-subparalelas a la estratificación (muestra COR 030 001).

#### **4.1.2 Aspectos geológicos generales en superficie del sector minero de Buenavista (Con base en dos secciones estratigráficas de referencia en la Formación Batá)**

- **Sección 1:**

Se decidió realizar el estudio de esta litología en ésta sección concreta del área, por representar una parte importante de la Formación Batá, tal como fue señalado por el INGEOMINAS, con base en sus estudios cartográfico-geológicos previos (indicaciones de la geóloga Diana Montoya).

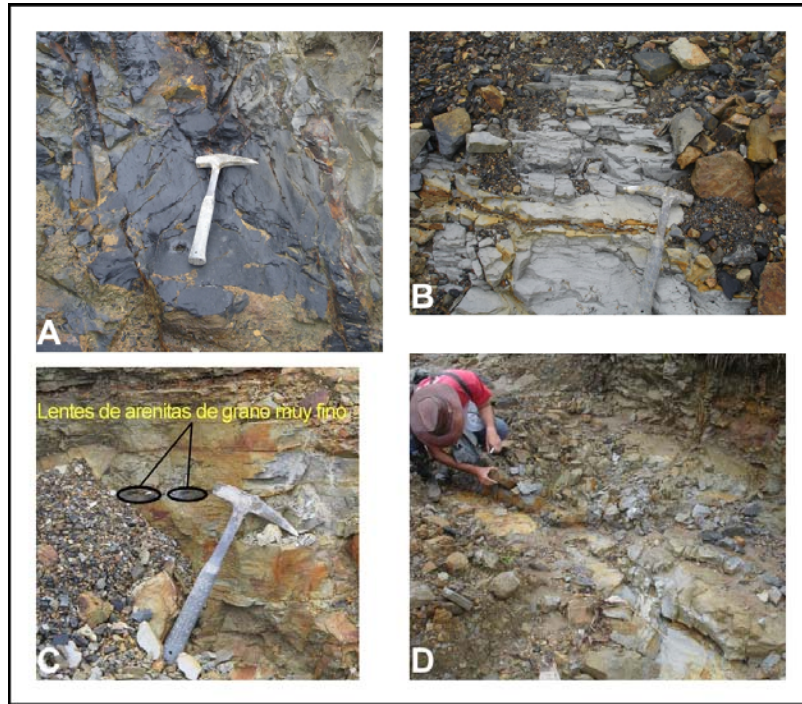
La sección relacionada en éste apartado, corresponde a rocas de la Formación Batá en el sector de Buenavista (Ver Anexos 1) levantada en el flanco oriental del Anticlinal de Miralindo (Ulloa, 1979 y Forero, 1987). El muestreo inicio en las

coordenadas Norte =1'027.301 y Este =1'076.920, finalizando las coordenadas en Norte =1'027.305 y Este =1'076.364 de la plancha 229 – I – D.

En cuanto al muestreo, se recolectaron 25 muestras de mano, entre las cuales se encuentran brechas y rocas encajantes.

Es una unidad silisiclástica, predominantemente lodosa, con esporádicas intercalaciones de areniscas de grano fino. En el presente trabajo se dividió en dos segmentos:

**Segmento A.** Consiste principalmente de intercalaciones lodolitas grises claras y gris verdosas, en ocasiones gradando o intercaladas con a areniscas cuarzosas gris claras de grano muy fino, con lodolitas y limolitas negras orgánicas (ver Figura 19). Algunos niveles de lodolita gris clara posee intercalaciones de niveles arcilloso con coloraciones café oscuro, de aspecto botroidal, que los mineros denominan “cascoche” el cual los mineros siguen para la explotación de esmeraldas (ver Figura 19B). En general la secuencia se encuentra bastante fracturada, fracturas en las cuales se lixivian óxidos de Fe o se presentan rellenas por venillas que al parecer se corresponden con Alófana y Halloysita. Ésta última asociación mineral, fue determinada por comparación con lo reportado en Mantilla *et al.* (2003), para región de Guavatá, en el departamento de Santander.



**Figura 19.** **A.** Limolitas negras carbonosas. **B.** Nivel de lodolitas gris claras con láminas de material con abundante óxidos de Fe de aspecto botroidal. **C.** Lodolitas gris claras (cuando se alteran presenta coloraciones naranja amarillento oscuro) con lentes de arenitas de grano muy fino. **D.** Lodolita grisácea, en ocasiones rellenas de óxidos.

**Segmento B.** Constituida por una secuencia monótona interestratificada de lodolitas, arcillolitas, limolitas y shales orgánicos carbonosos. Algunos de estos cuerpos presentan nódulos o lentes de pirita paralela a la laminación (ver Figura 20). Gran parte de la secuencia, igual que el segmento A, se presenta intensamente diaclasada.

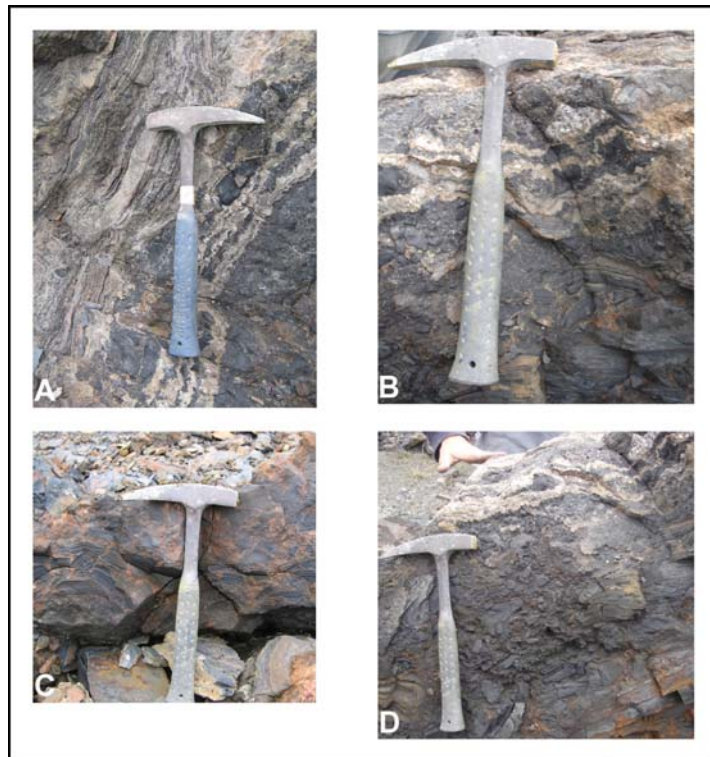


**Figura 20.** Nódulos o lentes de pirita en lodolita negra carbonosa, paralelos a la Laminación.

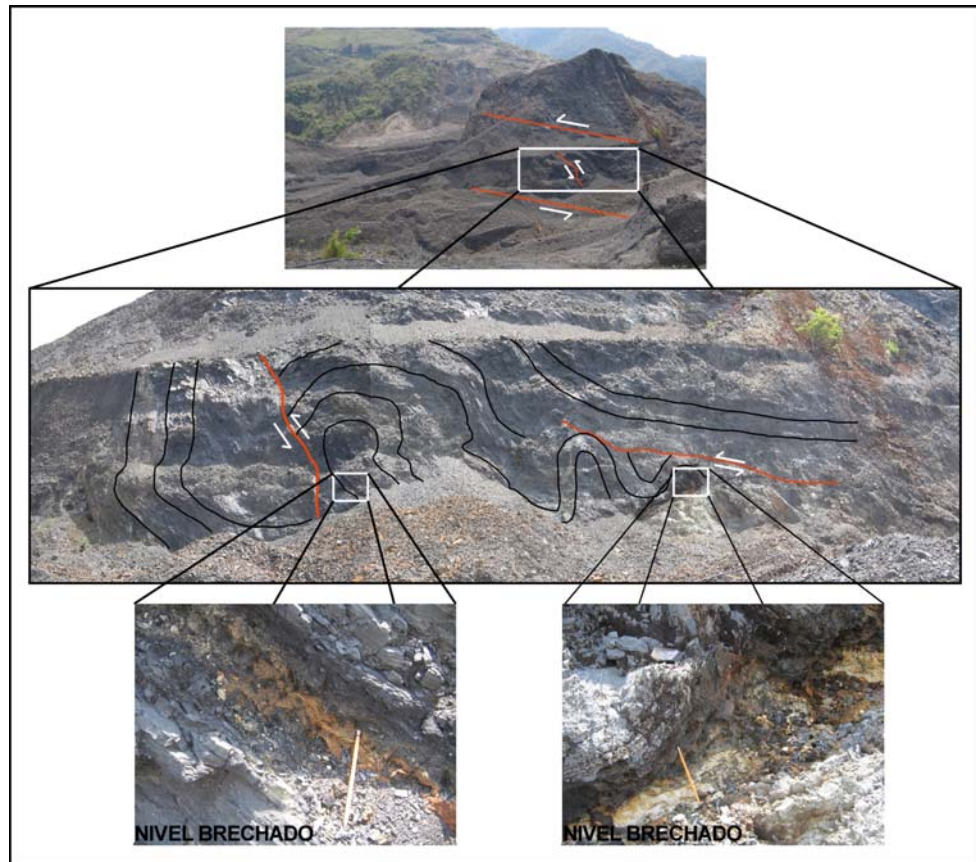
Hacia la parte superior de la secuencia se presenta un nivel de geometría lenticular brechificado (ver Figura 21), concordante con la estratificación; consiste de fragmentos de lodolita y shales orgánicos carbonosos, de morfología angular a subredondeada y cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 y 7cm, con matriz cementante compuesta de los mismos minerales de la paragénesis hidrotermal (albita, carbonatos y pirita) que hace que la brecha posea una muy buena cohesión. En el mismo cuerpo brechoso las texturas pueden variar lateral y verticalmente, lentes aislados de brecha clasto-soportadas están rodeadas por una brecha cemento-soportadas, aunque predomina la brecha clasto-soportadas (ver figura 21C y D). También estos cuerpos brechificados presentan estructuras bandeadas de coloraciones blancas compuestas por carbonatos, albita, y pirita, y otras que presentan coloraciones oscuras en las cuales predomina la pirita. Estas estructuras tratan de seguir la antigua estratificación de la roca brechificada (ver Figura 21A y B).

Hacia la parte final de la columna se presentan lodolitas negras orgánicas, muy fracturada, presentando estructura en “*pencil clivage*”. Además, estas revelan replegamiento asociado a una zona de cizallamiento paralelo a la dirección de

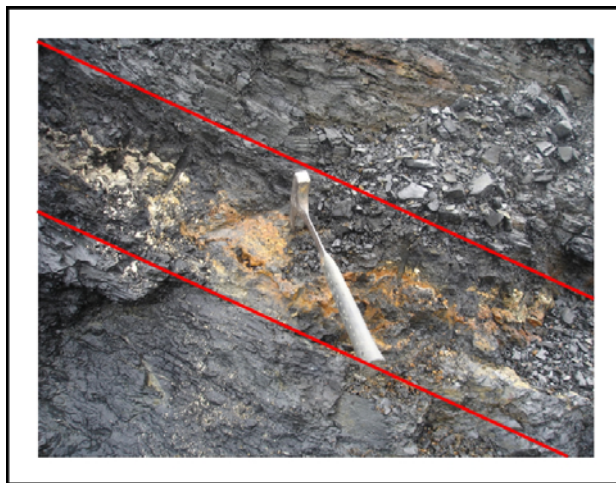
buzamiento de los estratos, en sentido hacia la charnela del anticlinal. Esta zona presenta algunos niveles brechificados alterados (“cascoche” como lo denominan los mineros del área) que se disponen paralelos a la estratificación (ver Figura 22 y 23).



**Figura 21.** Nivel brechificado: **A. y B.** venas con estructuras bandeadas que tratan de seguir la antigua estratificación de la roca brechificada. **C.** Brecha clasto soportada, con fragmentos de morfología angular a subangular, cementados por una matriz de pirita predominantemente (aspecto oxidado) y carbonato. **D.** Brecha clasto soportada, con fragmentos de morfología angular a subredondeada, cementados por una matriz de pirita y carbonato.



**Figura 22.** Lodolitas negras orgánicas muy fracturadas (trituradas) y plegadas, asociado a una zona de cizallamiento paralelo a la dirección buzamiento de los estratos, en sentido hacia al charnela del anticlinal.

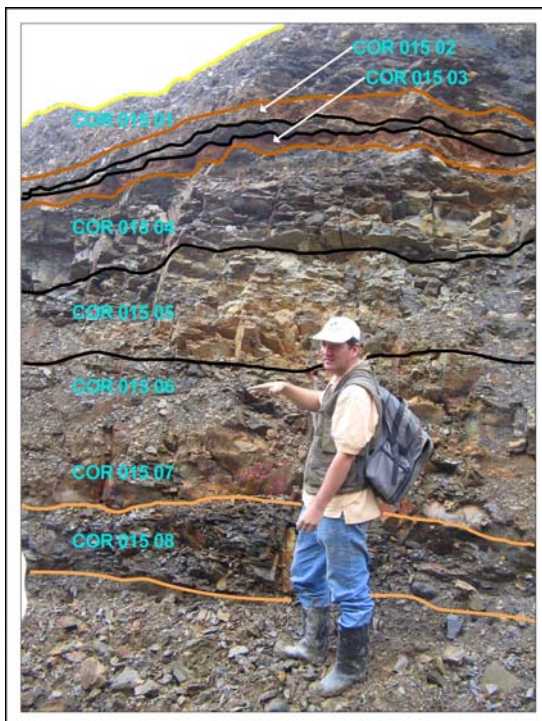


**Figura 23.** Nivel de brecha paralelo a la estratificación (delineado en color rojo) en zona de lodolitas carbonosas plegadas.

- **Sección 2.**

Corte a detalle de 3,4m de altura levantado en el sector Buenavista en las coordenadas X = 1'027.199, Y = 1'076.992 y Z = 2754 de la plancha 229 – I – D. Este corte estratigráficamente se ubica en la base de la columna de la Formación Batá, sección Buenavista (Sección 1).

En cuanto al muestreo, se recolectaron 8 muestras de mano, entre las cuales se encuentran brechas y rocas encajantes (ver Figura 24y 25).



**Figura 24.** Fotografía con ubicación de la toma de muestras del corte a detalle, Sección 2.

El perfil o corte, consiste principalmente de una secuencia siliciclástica de lodolitas grises claras y gris verdosas con intercalaciones de lodolitas arenosas amarillentas y dos intercalaciones de niveles brechados de 10 y 20cm de espesor

con tonalidades naranja amarillento, ubicadas en la parte superior del perfil (ver Figura 24 y 25).

Los mineros del área a estos cuerpos brechificados con estas características, lo denominan “cascoche”, el cual siguen para la explotación de esmeraldas (ver Figura 24 y 25). Este perfil se presenta muy diaclasado, diaclasas en las cuales se lixivian óxidos de Fe que le confieren a la roca tonalidades naranjas y amarillentas.

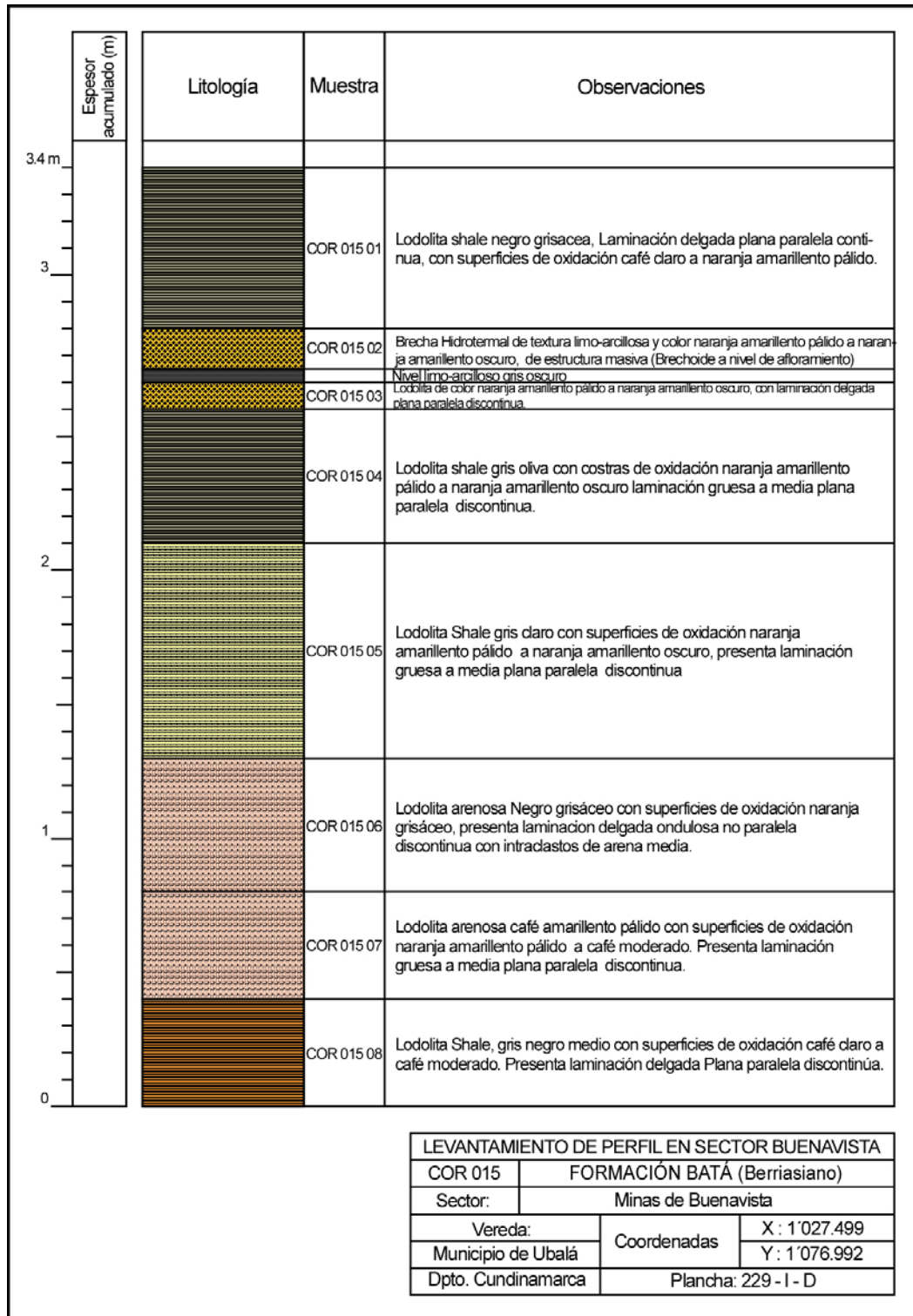


Figura 25. Esquema corte a detalle, Sección 2.

## **4.2 PETROGRAFÍA.**

Teniendo en cuenta la necesidad no solo de conocer la composición de una roca en particular, sino también de estudiar sus rasgos mineralógicos y petrográficos en láminas delgadas, se realizó la descripción mineralógico-petrográfica de las principales manifestaciones hidrotermales de la Mina “Buenavista” y de la columna de la Formación Batá (**Sección 1**, Buenavista). Esto, con el propósito fundamental de establecer su tipología con base en criterios texturales de los materiales que lo conforman (material de relleno, morfología de fragmentos rocosos, distribución, etc).

Con lo anteriormente expuesto, y en aras de facilitar la visualización de los aspectos analizados, se presentará previamente algunas generalidades relacionadas con los procesos generadores de las manifestaciones hidrotermales reconocidas en campo y sus criterios de clasificación, así como su significado geológico.

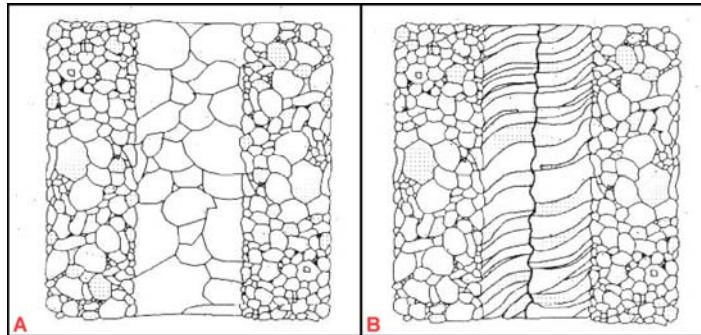
La descripción detallada de las muestras analizadas, se documentó en un formato especial facilitado por el INGEOMINAS (Anexos 2).

### **4.2.1 Consideraciones Previas:**

#### **4.2.1.1 Mecanismos y procesos asociados a la formación de venas hidrotermales**

Las venas hidrotermales están directamente relacionadas con fracturas extensionales (dilatación), y se pueden clasificar desde un punto de vista genético o desde un punto de vista de la textura del relleno mineral (Dunne y Hancock,

1994). Genéticamente, las venas hidrotermales se pueden dividir en dos tipos: a) venas de reemplazamiento y; b) venas de relleno. Las primeras se caracterizan por tener minerales que proceden del reemplazamiento de la roca caja preexistente, mientras que en las segundas, los minerales han precipitado rellenando un espacio abierto. Desde el punto de vista de la textura del relleno mineral, estas venas se pueden dividir en dos grupos: a) con textura de 'relleno masivo o granular' (Figura 26A) y; b) con textura de relleno con minerales en cristales fibrosos paralelos entre sí y oblicuos a la pared de la vena (Figura 26B).



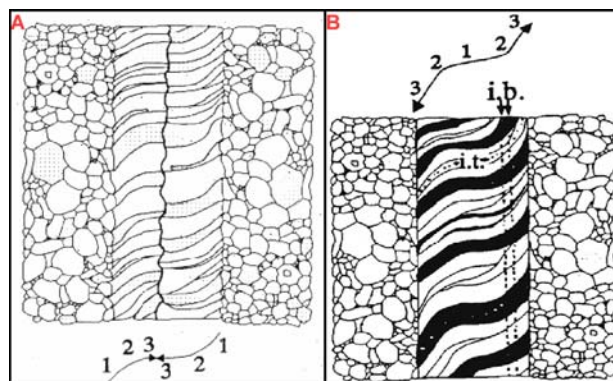
**Figura 26.** A. Vena con relleno masivo. B. Vena con relleno fibroso. Tomado y modificado de Dunne y Hancock (1994).

Mišík (1971), interpreta las venas con textura granular como fábricas de apertura rápida, ya que su el mecanismo de apertura sucede más rápido que el de relleno, lo cual es típico de etapas deformacionales a baja temperatura. Por otro lado, Groshong (1988) interpreta las venas con rellenos en fibras, como producidas por apertura lenta y/o producción muy lenta de material de relleno.

Las venas también pueden ser formadas bajo eventos de apertura y relleno. Rawsay (1980), describe este mecanismo como una apretura seguida, sucesivamente, del relleno de la fractura. En estos casos se pueden presentar

varios estados de apertura y entrada consecutiva de fluido. El relleno generado durante estos eventos puede ser fibroso o de agregados cristalinos, entre otros.

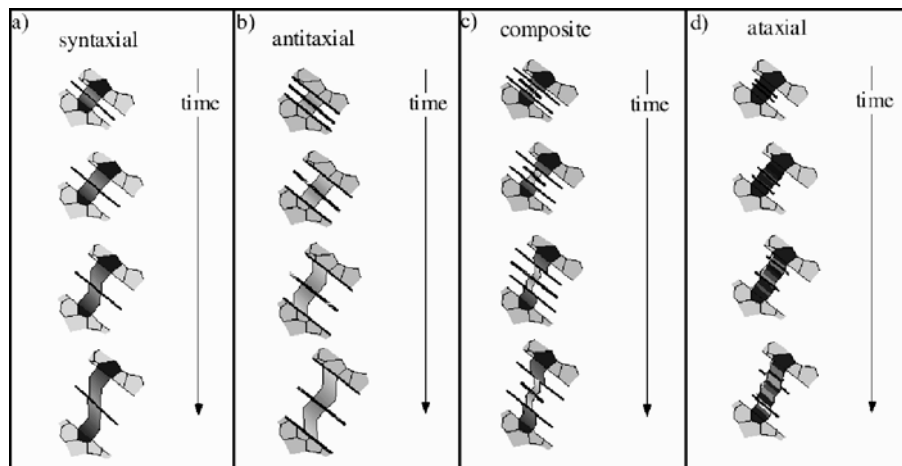
Además de las clasificaciones anteriormente expuestas, Dunne y Hancock (1994) estudiaron las venas con material de relleno a manera de 'granos minerales fibrosos paralelos', y determinaron que se pueden dividir en dos clases: de relleno sintaxial y antitaxial. Las fibras de venas sintaxiales crecen en continuidad óptica desde los granos en la pared de la vena, hasta su encuentro desigual en la zona de sutura central, de modo tal que la parte más antigua de la vena estaría en la zona adyacente a la pared de esta (Figura 27A); mientras que las venas antitaxiales presentan un comportamiento opuesto, ya que crecen incrementándose desde la vena hasta las paredes de esta y por lo tanto no tiene sutura en su parte central y las fibras más jóvenes estarían en la pared de las venas (Figura 27B).



**Figura 27. A.** Vena con crecimiento de tipo sintaxial. **B.** Vena con crecimiento de tipo antitaxial Tomado y modificado de Dunne y Hancock (1994).

Pashier y Trouw (1998), describen una clasificación para el relleno de venas que se divide en cuatro tipos de crecimientos: sintaxial, antitaxial, compuesto, ataxial (Figura 28). Este último tipo de vena, corresponde a aquellas que se forman por

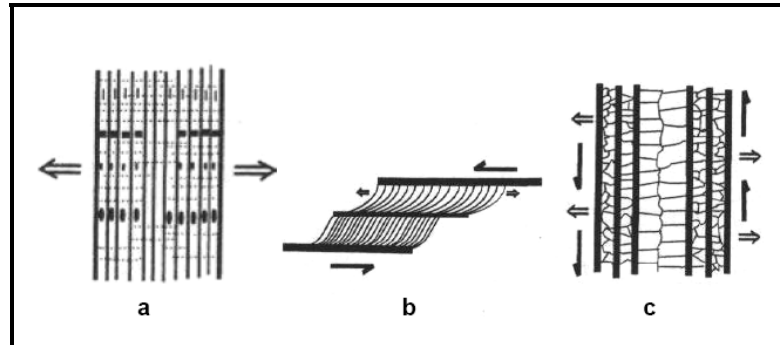
repetida fracturación y crecimiento, en lugares alternantes diferentes de la vena y por lo tanto no presenta una línea media que este en continuidad con los fragmentos de un simple cristal en ambos lados de la vena.



**Figura 28.** Tipo de crecimiento de relleno en venas fibrosas. Tomado de Paschier y Trough (1998).

Ramsay y Huber (1983) ofrecen una clasificación a partir de la textura del relleno de la vena y consiste en cuatro tipos: a) masivas o granulares; b) sintaxiales; c) antitaxiales y; d) de rellenos estirados o 'stretched fill'.

Petit *et al.*, (1999), determina una clasificación para estas venas, a partir del modo mecánico de su desarrollo, y las divide en tres clases: a) 'crack-seal'; b) 'crack-slip-seal' y; c) 'crack-seal-slip' (Figura 29). Donde las dos últimas clases requieren de una sobre presión de fluidos y su formación es asociada al frente de avance de las fallas de tipo cabalgante.



**Figura 29.** (a) Fracturamiento y luego relleno; (b) Fracturamiento + Deslizamiento y luego Relleno; (c) Fracturamiento + Relleno y luego Deslizamiento. Tomado de Petit *et al.* (1999).

#### 4.2.1.2 Mecanismos y procesos asociados a la formación de brechas.

Las Brechas son las más amplias texturas rocosas distribuidas en los depósitos hidrotermales vetiformes. Estas, están asociadas con numerosos tipos de depósitos, ya sea de origen supergénico o hipogénico, tanto en ambientes del subsuelo como en submarinos.

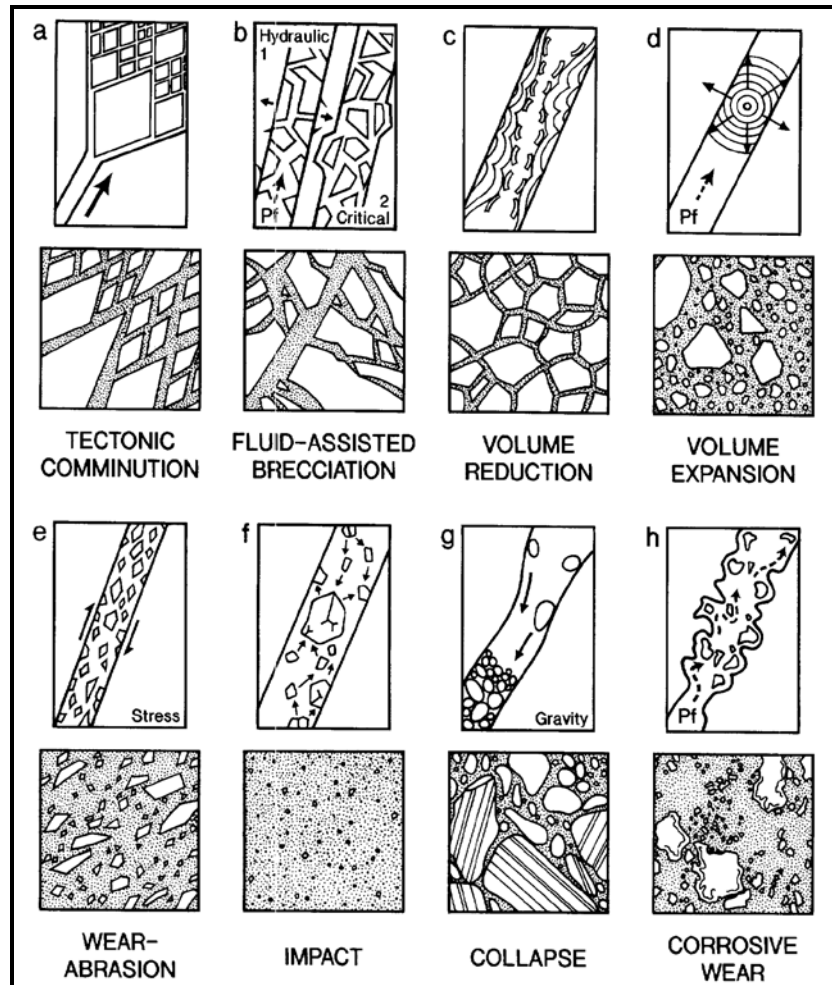
9 mecanismos de brechificación pueden ser definidos (Jébrak, 1997; Figura 30):

- Trituración tectónica (*Tectonic Comminution*) o brecha tectónica.
- Brechificación asistida por fluido (*Fluid assisted brecciation*).
- Desgaste por abrasión (*Wear abrasion*).
- Reducción de volumen (*Volumen reduction*).
- Expansión de volumen (*Volumen expansion*).
- Impacto (*Impact*).
- Colapso (*Collapse*).
- Desgaste por corrosión (*Corrosive wear*).

Trituración tectónica, brechificación asistida por fluido, desgaste por abrasión son los mecanismos de brechificación más comunes, amplios y representativos en los depósitos minerales vetiformes. Reducción de volumen, expansión de volumen, impacto, colapso y desgaste por corrosión son procesos de brechificación que son menos comunes y abundantes en la naturaleza geológica (Jébrak, 1997).

### **Propagación de fracturas (*Fracture propagation*):**

Las brechas hidrotermales se desarrollan primero durante la formación de venas en respuesta al proceso de *propagación de fracturas*. Este es uno de los mecanismos más comunes de brechificación. La propagación de fracturas puede ser visto en todas las escalas, desde fracturas de tamaño milimétrico, hasta fallas de kilómetros de largo las cuales encierran fragmentos de las rocas del hanging wall (bloque colgante) y del footwall (bloque yacente). Numerosas interacciones ocurren entre los microfragmentos durante una fragmentación a pequeña escala y se conoce como *desgaste por abrasión*. La propagación de fracturas y el desgaste por abrasión juntos, son los 2 componentes de la trituración tectónica. La brechificación asociada con la propagación de fracturas generalmente se desarrolla en asociación con un esfuerzo constante, y la ruptura o falla del material rocoso ocurre, cuando el esfuerzo crítico se alcanza. Sin embargo, en casos de una carga aplicada en un largo periodo de tiempo, las fracturas pueden también desarrollarse en intensidades de esfuerzo por debajo del esfuerzo crítico (propagación subcrítica, Atkison, 1984 en Jébrak, 1997). La Ruptura de la roca por fuerzas de compresión y de tensión es posible que ocurra, aunque los cuerpos rocosos son más débiles frente a fuerzas de tensión que las fuerzas de tipo compresivo, por lo tanto, las fuerzas de tensión generalmente serán las dominantes.



**Figura 30.** Ilustración esquemática de los mecanismos de brechificación en depósitos hidrotermales vetiformes, y la geometría final de las brechas. Flechas largas (trituration tectónica) indican la dirección de la propagación de la falla, flechas mas cortas indican la dirección de desplazamiento de la roca encajante (Brechificación asistida por fluidos y Expansión de volumen) o de los fragmentos (Impacto y Colapso).  $P_f$  es la presión del fluido. La escala no es indicada. Tomado de Jébrak (1997).

Las brechas asociadas a propagación de fractura se presentan en zonas frágiles de cizallamiento. Las brechas desarrolladas a partir de trituración tectónica típicamente muestran fragmentos con morfología angular especialmente en fracturas de tensión (Sammis y Biegel, 1986, en Jébrak, 1997) y los tamaños de los fragmentos varían ampliamente. El desarrollo de fallas comprende 2 pasos: primeramente el desarrollo de una serie de fracturas *en-echelon* y segundo, el

encadenamiento de todas estas fracturas para formar largas fallas (Segal y Pollard, 1983; Granier, 1985, en Jébrak, 1997). Las fracturas *en echelon* (*echelon cracks* = fracturas escalonadas) comúnmente muestran una periodicidad general, causada por una distribución al azar de defectos, en una propagación de fracturas a baja velocidad y cerca al equilibrio en el sistema (Granier, 1985; Renshaw y Pollard, 1994; Wu y Pollard, 1995; en Jébrak, 1997). Como el sistema evoluciona, la propagación de las fracturas puede ocurrir más rápidamente puesto que se incrementa la fragilidad del medio. Durante la propagación de la zona de cizalla puede ocurrir una ramificación arborescente, reflejando una inestabilidad en el mecanismo de propagación así como también en la velocidad, relacionado a la intensidad de los esfuerzos.

La fábrica direccional puede aparecer debido a la reorientación de los fragmentos paralelo al sentido del movimiento o de las altas presiones, perpendicular al eje principal del esfuerzo compresivo. La dilatación, que es definida como la razón entre la matriz y el volumen de fragmentos, es típicamente baja. Debido a que la actividad tectónica típicamente posee mayor duración que la circulación hidrotermal, las condiciones para la precipitación mineral puede variar y algunas asociaciones minerales, caracterizan las brechas, estas asociaciones minerales pueden ser usadas para reconstruir la historia de brechificación dentro de la falla.

### **Brechificación asistida por fluidos (*Fluid-assisted brecciation*):**

Los fluidos son abundantes en cada nivel de la corteza, especialmente en su parte más frágil (Fyfe et al., 1978 en Jébrak, 1997). En los sistemas hidrotermales el mas frecuente de los procesos de brechificación es el hidrofracturamiento, el cual esta relacionado con variaciones temporales en la presión del fluido (Phillips, 1972; Jébrak, 1992; Hagemann et al., 1992, en Jébrak, 1997). El proceso de

formación de fracturas y disyunción de los fragmentos puede ser dividido en dos pasos: 1) fracturamiento hidráulico y 2) fracturamiento crítico (Figura 30).

- **Fracturamiento hidráulico (*Hydraulic fracturing*):**

El fracturamiento hidráulico está relacionado con el incremento en la presión de fluido dentro de la veta (Phillips, 1972, en Jébrak, 1997). Esto causa un decrecimiento en la presión efectiva la cual puede permitir la propagación de fracturas.

El incremento en la presión del fluido puede tener varios orígenes, incluye el decrecimiento en la permeabilidad de la zona de falla debido a l desplazamiento de la falla (fault slip), deposición mineral y efervescencia o ebullición como resultado de reacciones químicas (Parry y Bruhn, 1990, en Jébrak, 1997). Muchos de estos procesos son pasajeros o transitorios y la brechificación estaría comúnmente señalando uno o algunos momentos específicos durante la precipitación mineral. La brechificación puede aparecer antes o durante la formación de vetas, puesto que este tiende preferencialmente a ocurrir en rocas con baja permeabilidad y frecuentemente se observara en el principio del proceso de relleno, previo a la fragmentación extensiva.

- **Fracturamiento crítico (*Critical fracturing*):**

El fracturamiento crítico está relacionado a la destrucción del equilibrio entre la presión de fluido y los esfuerzos regionales dentro de la veta (Hobbs, 1985, en Jébrak, 1997). La presión del fluido decrece en respuesta a una repentina apertura de espacio generado por el rápido deslizamiento o por la intersección de diferentes vetas. Cualquier incremento en la porosidad del sistema, especialmente

después del fracturamiento hidráulico, provocando descompresión y caída de fragmentos de roca encajante. Los mejores ejemplos documentados son brechas de implosión en aberturas por dilatación, formados por dos cizallas opuestas (Sibson, 1986; Forde y Bell, 1994, en Jèbrak, 1997) y la intersección entre dos fallas. Esto explica por que las venas que se cruzan están comúnmente asociadas con zonas de intensa brechificación. Este tipo de brechificación se desarrolla durante la formación de vetas, y es frecuentemente observado en depósitos de oro mesotermal.

Los mecanismos de brechificación hidráulica y crítica se encuentran fuertemente asociados puesto que estos dos procesos están asociados con variaciones de la presión del fluido. Estos dos tipos de brechificación asistida por fluido (Fluid - assisted brecciation) originan in situ texturas de fragmentación (brechas de mosaico) en un patrón de rompecabezas con una rotación insignificante de los fragmentos, los cuales muestran una morfología angular. La brechificación de por estos tipo de procesos, sigue típicamente los planos de discontinuidad preexistentes, como estratificación o esquistosidad.

### **Desgaste por abrasión (*Wear abrasion*):**

El desgaste por abrasión, o fricción ocurre siempre que un objeto sólido es cargado contra partículas de un material que posee una dureza igual o superior (Figura 1). En los depósitos vetiformes este ocurre siguiendo la dirección de propagación. Varios mecanismos ocurren concurrentemente durante el desgaste por abrasión que incluye fracturas de escala microscópica, recorte, fatiga y erosión por fricción. El desgaste de los granos es fuertemente dependiente del tamaño de los granos de la roca brechificada y puede ser muy importante en rocas de grano muy grueso (Stachowiak y Butchelor, 1993, e Jèbrak, 1997) el desgaste por abrasión puede desarrollarse dentro de un flujo cataclástico en un mecanismo de

deformación que compromete microfracturamiento uniformemente distribuido combinada con la rotación y fricción deslizante de los fragmentos (Higgins, 1971; Patterson, 1978; Arthaud et al., 1996, en Jébrak, 1997).

A escala macroscópica, fabricas formadas durante la abrasión pueden ser confundidas con aquellas formadas en procesos dúctiles, aún en escala microscópica estas fabricas son obviamente producidas por el reordenamiento de un agregado de granos rígidos. Esto es posible, sin embargo, que en la transición entre los comportamientos dúctiles y frágiles podría surgir debido a la microplasticidad del material a altas presiones y en un contexto de una alta razón de interacción fluido-roca. Tales procesos son comunes en todos los ambientes geológicos frágiles, pero puesto que la fuerza de fricción se incrementa con la presión efectiva (carga normal efectiva; Byerlee, 1978, en Jébrak, 1997), el proceso es mas comúnmente desarrollado a profundidad. Un repetitivo deslizamiento podría causar fracturas relacionadas a fatiga, produciendo grandes fragmentos desgastados. Los fragmentos en brechas originadas por desgaste por abrasión comúnmente se encontrarían redondeados.

#### **4.2.1.3 Estudios Anteriores.**

Escobar (1975, en Forero, 1987) observo que en Gachalá la mineralización esta controlada tectónicamente; los sitios productivos se localizan en las zonas de falla, en brechas o en fracturas y venas a menos de 200m de las fallas, probablemente conectadas a ellas, característica que puede extenderse por todo el cinturón esmeraldífero oriental.

Ulloa (1980), en la región del Guavio, observo que las mineralizaciones de esmeraldas se han encontrado relacionado casi siempre con brechas de falla y en menor medida escala con vetas.

Forero (1987), describió los cuerpos brechados de la siguiente manera: la brechas son de tono gris con una matriz mineralizada cementada por caolín y pirita; y en menor proporción en venas, las cuales son mas frecuentes en Chivor tienen menos de 15cm de espesor y 65 m de longitud y su número esta relacionado con la intensidad de plegamiento. En las brechas la mineralización consiste de cuarzo albita, esmeralda, pirita, material carbonoso, calcita y rombos de dolomita gris.

En el Cinturón esmeraldífero oriental estudios realizados por Cheilietz *et al.* (1997, en Maya, 2005), señala que las brechas identificadas son:

Brechas tectónicas hidrotermales: Son brechas poligénicas compuestas de fragmentos de lutita negra y albitas cementadas por pirita, albita, carbonatos y lutita negra pulverizada. Estas rocas yacen generalmente paralelas a la estratificación y cercanas a la albitas estratiformes; su espesor varía de 10cm a 10m. Contienen cavidades con depósitos de esmeraldas.

#### **4.2.2 Estudio mineralógico-petrográfico de muestras al Interior de la Mina “Buenavista”.**

La petrografía de la Mina “Buenavista” fue realizada a 12 secciones delgadas pertenecientes al muestreo de la mina, tales como roca caja y brechas y otras 6 secciones delgadas más, de venas y brechas asociadas con mineralización de esmeralda las cuales corresponden a muestras adquiridas en el campamento minero del sector de Buenavista las cuales se describirán en el siguiente apartado.

Tal como se describió anteriormente, esta mina se divide en 2 dominios, valiéndose principalmente en características texturales y estructurales de la roca. Por lo tanto se abordara la descripción petrográfia dividiéndola según los dominios anteriormente propuestos.

### **Petrografía del Dominio 1:**

Se caracteriza, por ser una zona de brechificación y desarrollo de cuerpos masivos de color blanco compuesto principalmente por albita y en menor proporción pirita (zona albitizada), incluyen algunos pocos fragmentos de roca encajante (ver Figura 31).

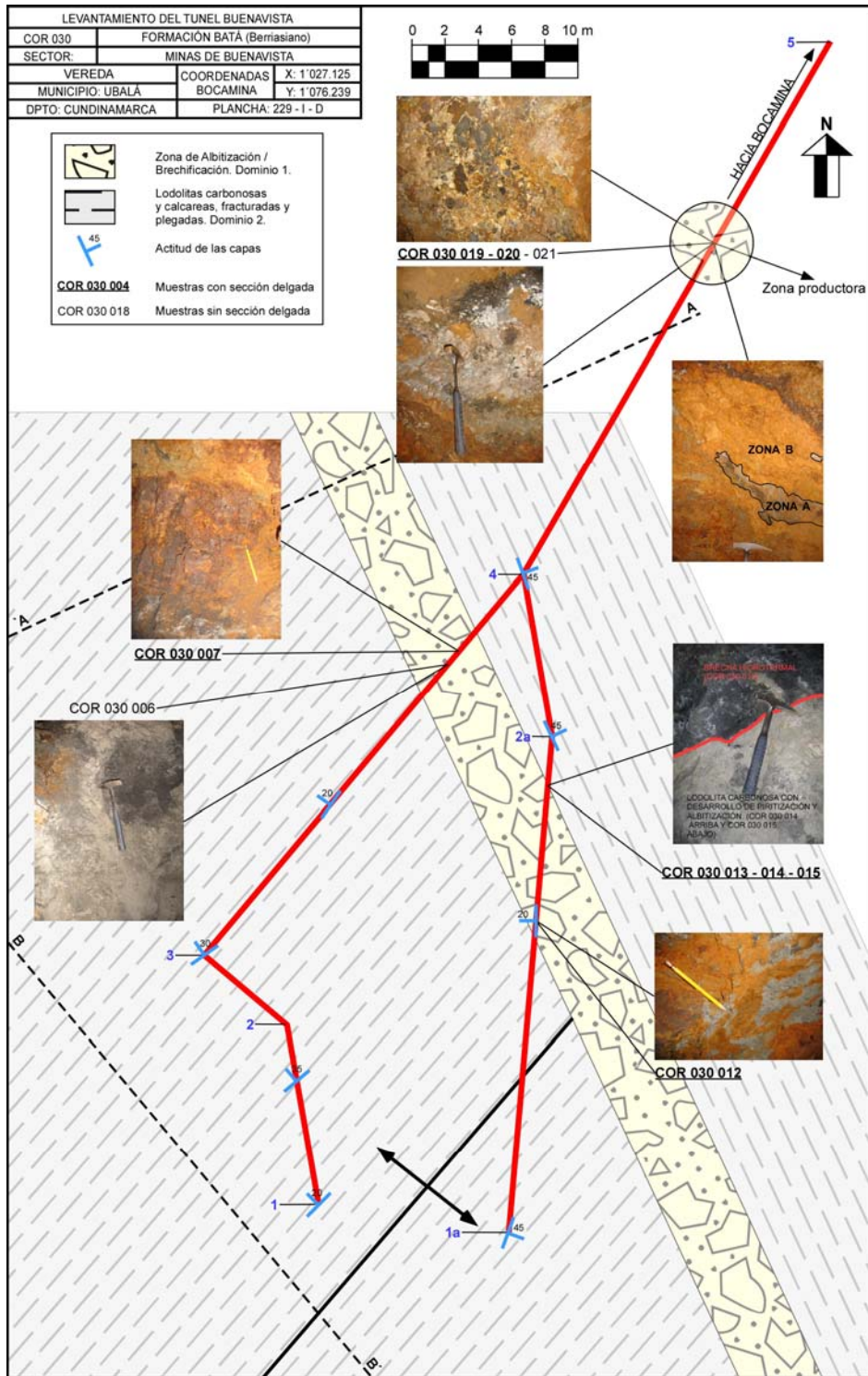
Las brechas consisten de fragmentos angulares a subredondeados de lodolita albitizada y lodolita carbonosa parcialmente albitizada (Figura 32, 33 y 35). Algunos sectores de estos cuerpos brechados presentan matriz cementante compuesta por albita, en menor proporción pirita y ocasionalmente presenta moscovita exhibiendo estructura fluidal (moscovita orientada bordeando fragmentos de lodolita albitizada, ver Figura 35), mientras que en otros sectores, se preserva únicamente la albita. En ocasiones en las láminas es posible observar oquedades en forma de romboedro, lo cual hace pensar que estas oquedades estuvieron ocupadas de carbonato (ver Figura 33). Por lo tanto, muy seguramente también estos cuerpos brechados estuvieron cementados también por carbonatos (calcita-dolomita).

También se presentan óxidos de Fe, principalmente hacia los bordes de los clastos de lodolita albitizada, y en algunas de las oquedades.

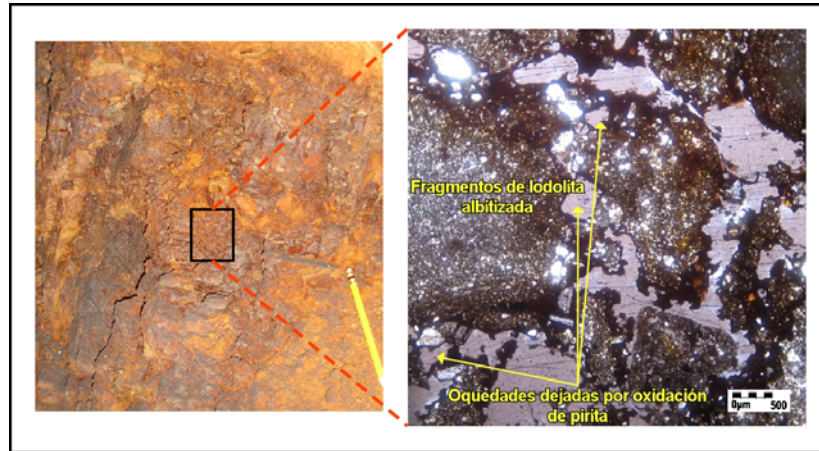
La pirita se presenta como individuos de forma subhedral a euhedral con tamaños entre cristalino grueso a fino, bordeando a los fragmentos de lodolita albitizada. Presenta oxidación (hematita?). Esta asociada en contacto neto con la albita y la moscovita.

Los cuerpos albitizados, son cuerpos masivos estratiformes (paralelos a la estratificación de la lodolita carbonosa), de color blanco y friables, compuestos

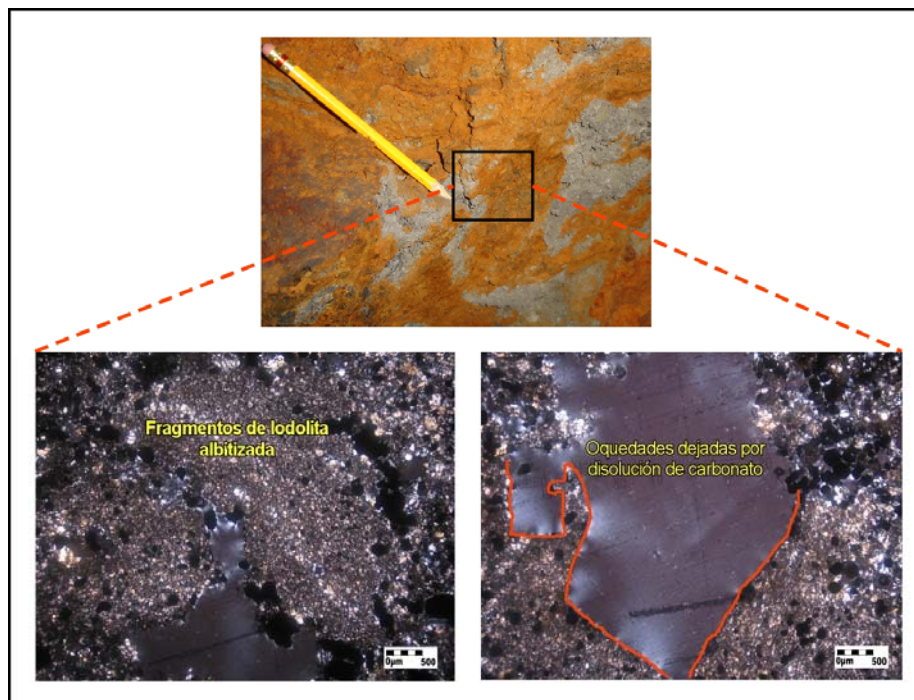
principalmente por albita y en menor proporción pirita, incluyen algunos pocos fragmentos de lodolita carbonosa y lodolita albitizada, los cuales se observan en lamina delgada como agregados granulares de albita (ver Figura 34B). Algunos de estos cuerpos albitizados se muestran con considerable porosidad y oxidación. Las piritas revelan rasgos redondeamiento, que pueden ser debidos a procesos de disolución (oxidación), mientras que los individuos de albita se muestran bastante fracturados y en un estado parcial de alteración (Figuras 34B y 20, Zona A). El fracturamiento en las albitas, podría indicar que se trata de un retrabajamiento (zona de cataclasis, o zona de deformación frágil) posterior a la mineralización, lo que le daría en parte el carácter friable de estos cuerpos. También se presentan patinas de goethita, la cual se aprecia como una gran mancha roja escarlata masiva en toda esta zona, en la cual la albita se encuentra embebida (Figura 36, Zona B). En la región de contacto entre estas dos zonas se aprecia con claridad la disolución/oxidación de la pirita, razón por la cual no existe pirita en la zona B.



**Figura 31.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, ilustrando las muestras correspondientes al Dominio 1.

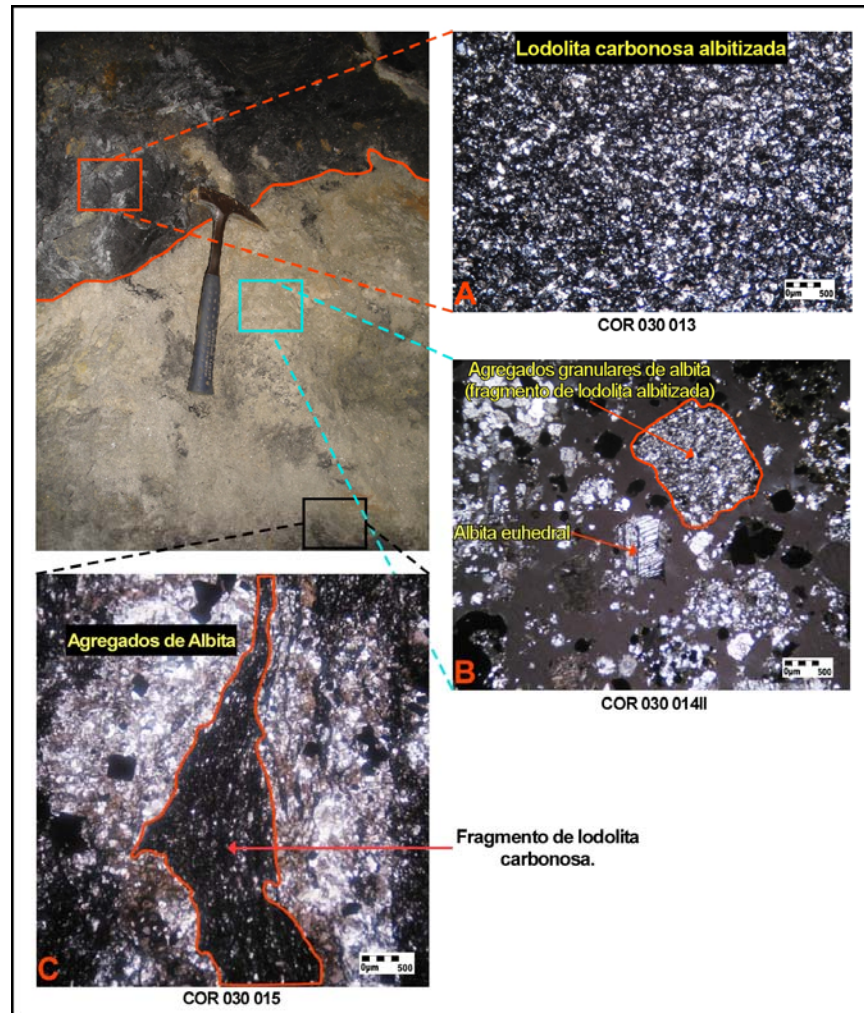


**Figura 32.** A la izquierda fotografía a escala de afloramiento de zona de brechificación (muestra COR 030 007), con detalle al microscopio en sección delgada (a la derecha). Como se puede observar la muestra esta presentando oxidación/disolución de la pirita y tal vez, también disolución de carbonatos, dejando el espacio. Microfotografía tomada en nicols cruzados (a la derecha) con objetivo de 5X.

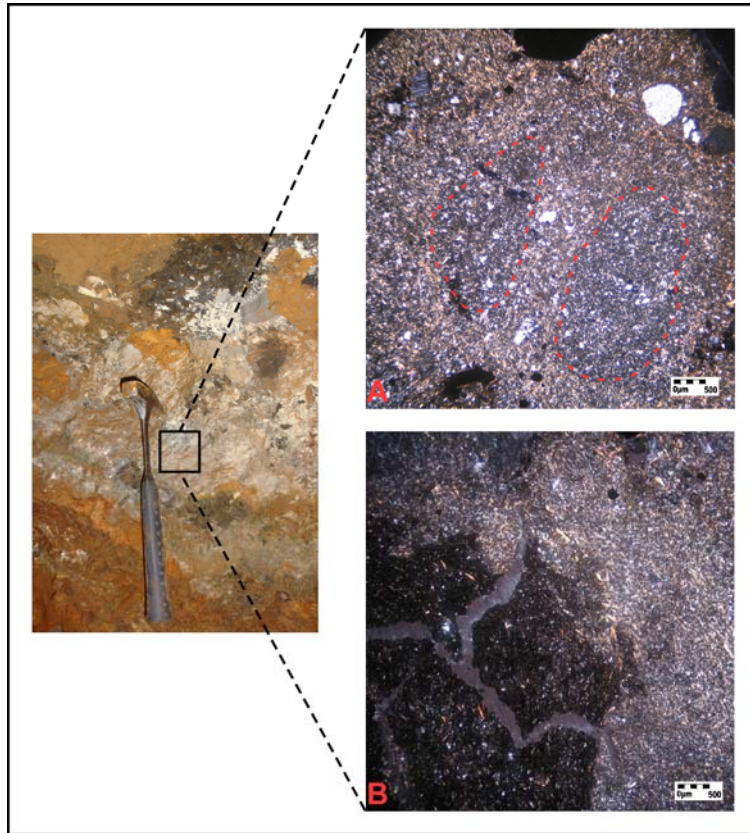


**Figura 33.** A la izquierda fotografía a escala de afloramiento de zona de brechificación (muestra COR 030 012), con Detalle al microscopio en sección delgada (abajo). Brecha constituida por fragmentos de lodolita albitizados de morfología angular a subangular, bordeados por una matriz de albita y pirita (opacos). Se aprecian una gran cantidad de oquedades en forma de rombo, tal vez ocupadas antes por carbonatos (proceso de disolución), permaneciendo exclusivamente la albita y

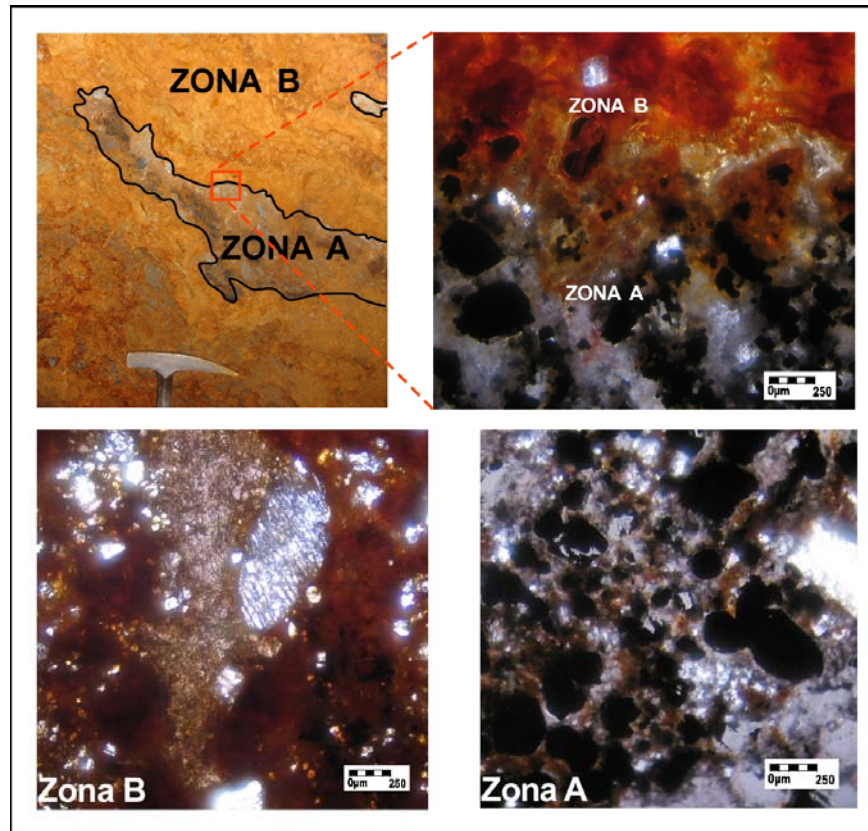
pirita, que constituyen el cemento y matriz de la brecha. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados con objetivo de 5X.



**Figura 34.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de brechificación en lodolita carbonosa y de albitización (zona de tonalidad blanca) con detalle al microscopio en sección delgada: **A.** Lodolita carbonosa con desarrollo parcial de proceso de albitización. **B.** Brecha hidrotermal compuesta por fragmentos de lodolita albitizada (agregados de granulares de albita) de tamaño arena gruesa a muy gruesa, redondeados a subredondeados, en una matriz de albita y pirita (opacos). **C.** Desarrollo de brechificación en Lodolita carbonosa parcialmente albitizada, Los espacios entre los fragmentos (cemento/matriz), se encuentran rellenos por agregados de albita y pirita (opacos). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 35.** Foto a escala de afloramiento (izquierda) de zona de brechificación en lodolita carbonosa con Detalle al microscopio en sección delgada (muestra COR 030 020): **A.** Zona que presenta gran abundancia de moscovita tabular en estructura fluidal, bordeando a agregados granulares de albita y cuarzo? (lodolita albitizada, enmarcados en línea punteada en rojo). **B.** Lodolita carbonosa mostrando estructura brechoide, en contacto con la zona descrita anteriormente. Microfotografías tomadas en nicols cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 36.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de albitización (Zona A) y zona de oxidación (Zona B). Muestra COR 030 019. Microfotografías (a la esquina superior derecha y abajo) en nicols cruzados tomada con objetivo de 10X.

### **Petrografía del Dominio 2:**

Caracterizado por poseer roca encajante plegada y fracturada, aunque se aprecia con mayor fracturamiento (triturada) y desarrollo de un clivaje incipiente a medida que se acerca a la zona de albitización/brechificación (Ver Figura 37).

Las rocas inmediatamente en contacto con la zona de albitización/brechificación son cuerpos fracturados (con estructura brechoide) de lodolitas carbonosas shale parcialmente albitizadas, presentan laminación plana paralela continua en láminas regulares, sin embargo, en algunas zonas se observa replegamiento de la

laminación, posiblemente a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización.

Los fragmentos de lodolitas carbonosas shale se encuentran englobados y cortados (cruzando la laminación) por venas, compuestas por agregados de albita tabular subhedral-anhedral con tamaños que oscilan de cristalino medio hasta afanocristalino, de forma euhedral y ocasionalmente asociado con pirita que se presenta hacia el centro de estos agregados, sin embargo, éste también se presenta diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa. En ocasiones estas venas presentan acumulaciones de materia orgánica hacia el centro o también dispersa en las venas. Además, se aprecian oquedades la cuales presentan forma de rombo, posiblemente pueden haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato (Ver Figura 38).

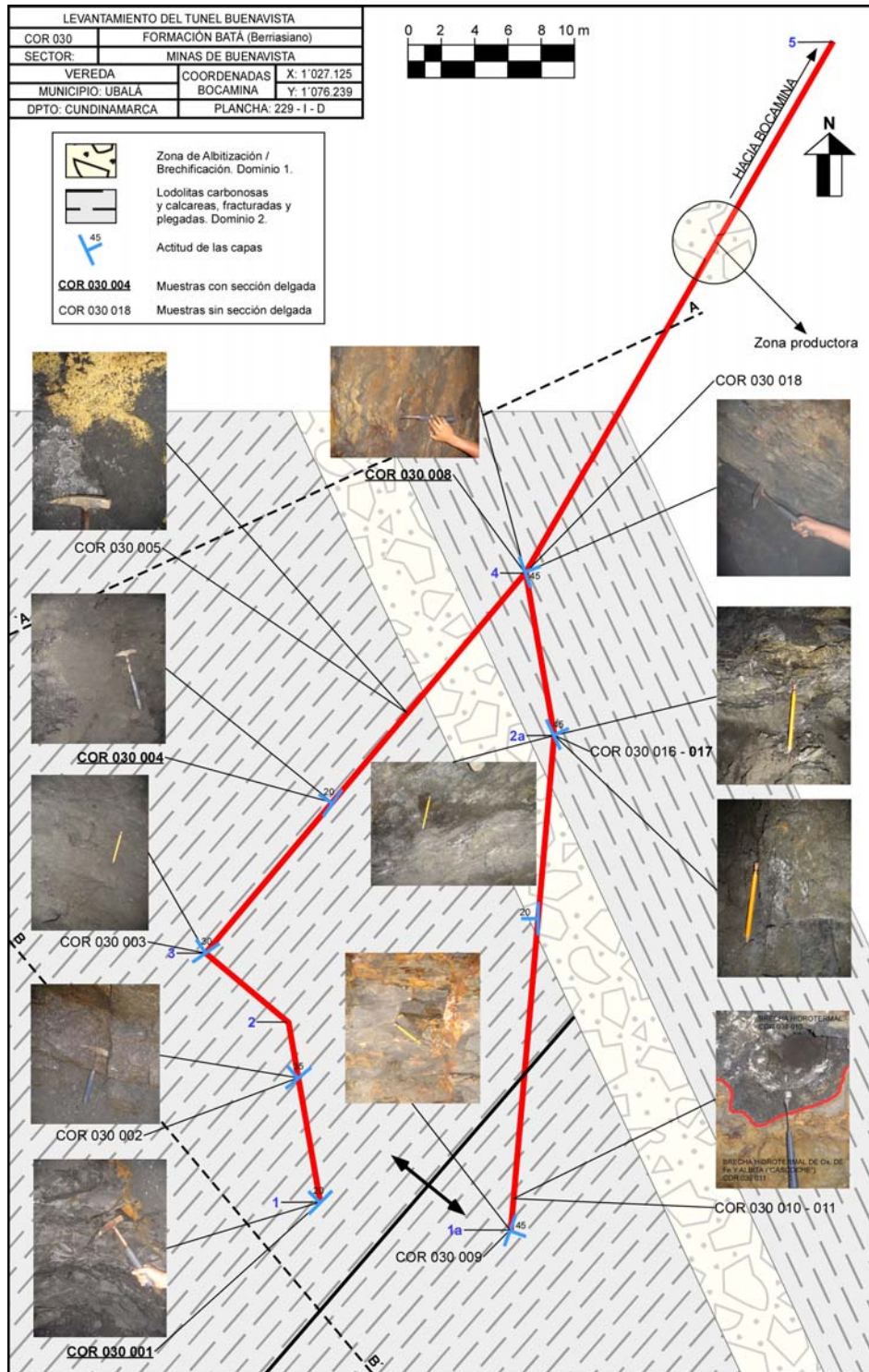
La albitización parcial de los fragmentos de lodolita carbonosa (ver Figura 38B) consiste de: 1. Albita tabular subhedral a anhedral, diseminada y en contacto flotante con la materia orgánica, cuyos tamaños oscilan entre cristalino fino a afanocristalino. 2. Agregados granulares de albita, compuesta por individuos irregulares, subhedrales-anhedrales de tamaño cristalino fino a muy fino, asociado con pirita en estado de oxidación. Estos agregados están dispuestos en bandas paralelas a la laminación. 3. Agregados granulares en morfología lenticular, los cuales pueden cortar o ser paralelos a la laminación. Presentan tamaños que oscilan de cristalino medio hasta afanocristalino, de forma irregular subhedral a anhedral. Es común que la pirita se presente en estas bolsas y lentes de albita, ubicándose principalmente hacia el centro de estas, pero también se presenta hacia los bordes de estos lentes, en los cuales se aprecia con sus mayores tamaños.

Con respecto a las rocas más alejadas de la zona de albitización/brechificación corresponden a niveles más competentes, no presentan desarrollo de estructura brechoide, sin embargo se encuentran muy diaclasadas. Está conformado por lodolitas calcáreas y silíceas carbonosas. Igualmente estas rocas, han sufrido procesos de albitización parcial, sin embargo esta se hace menos manifiesta a medida que se separa de la zona de albitización/brechificación. Estos procesos de albitización se presentan de dos maneras diferentes (Figura 39A): 1. Albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, de tamaño cristalino medio a fino, de forma irregular tabular subhedral-anhedral. Esta asociado en contacto neto con individuos de pirita de forma subhedral-euhedral distribuidos aleatoriamente en la roca, se presentan en tamaños que oscilan entre cristalino medio a fino. 2. Agregados granulares compuesto por individuos de forma tabular irregular, subhedral a anhedral presentando tamaños que oscilan de cristalino medio hasta afanocristalino. Estos agregados se presentan ya sea a manera de lentes o en forma de bandas, los cuales son paralelos y subparalelos a la laminación. Estos lentes o bandas de albita se encuentran asociada con la pirita en contacto neto. Corresponde a individuos cúbicos subhedral-anhedral con tamaños que oscilan entre cristalino grueso a fino, generalmente se les observa con las aristas redondeadas y bordes oxidado y en muchos casos permanecen las oquedades en las cuales en algún instante ocupó la pirita.

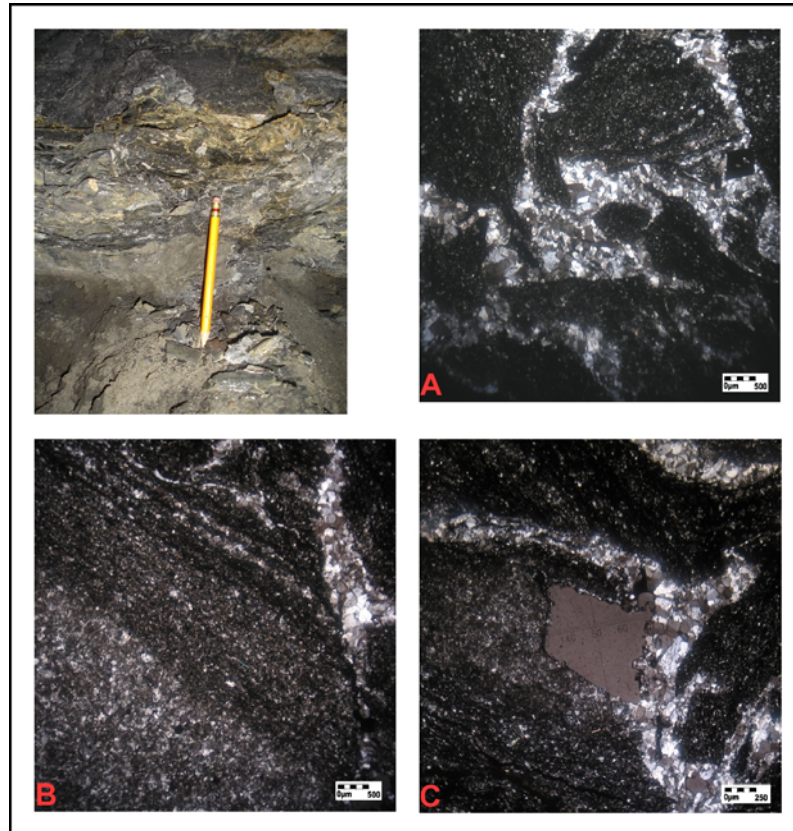
La laminación en algunos sectores de la roca se muestra replegada, probablemente por infiltración o percolación del fluido hidrotermal mineralizante, que produjo el proceso de albitización.

Algunas de estas rocas desarrollan venas de albita que cortan la laminación de la roca. Se compone de individuos de albita tabulares subhedral-euhedral, de tamaños entre cristalino grueso a medio (ver Figura 39 y 40B y C). También están las venas que corta la laminación que se componen de albita hacia la pared de la

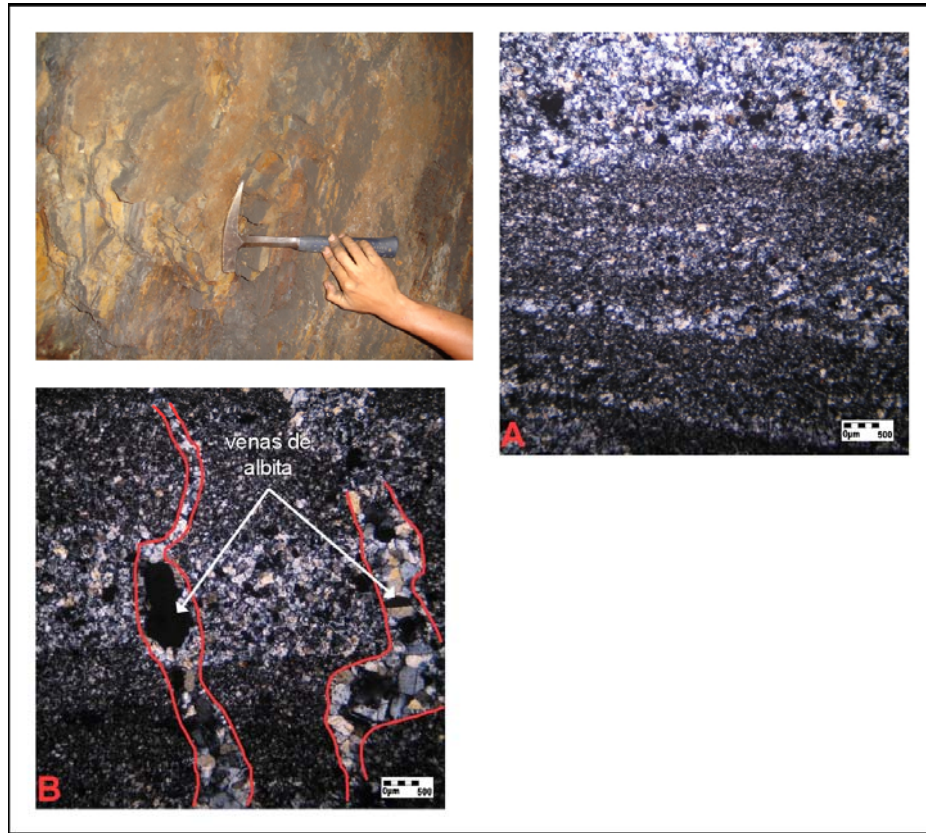
vena y en el centro con desarrollo de calcita fibrosa (Ver Figura 40A) con inclusiones de pirita. Los ejes mayores de estos minerales se disponen aproximadamente perpendiculares a las paredes de la vena. La textura de estas venas de calcita fibrosa parece corresponder a una textura syntaxial (crecen en continuidad óptica desde los bordes de la pared de la vena, hasta su encuentro desigual en la zona de sutura central, de modo tal que la parte más antigua de la vena estaría en la zona adyacente a la pared)



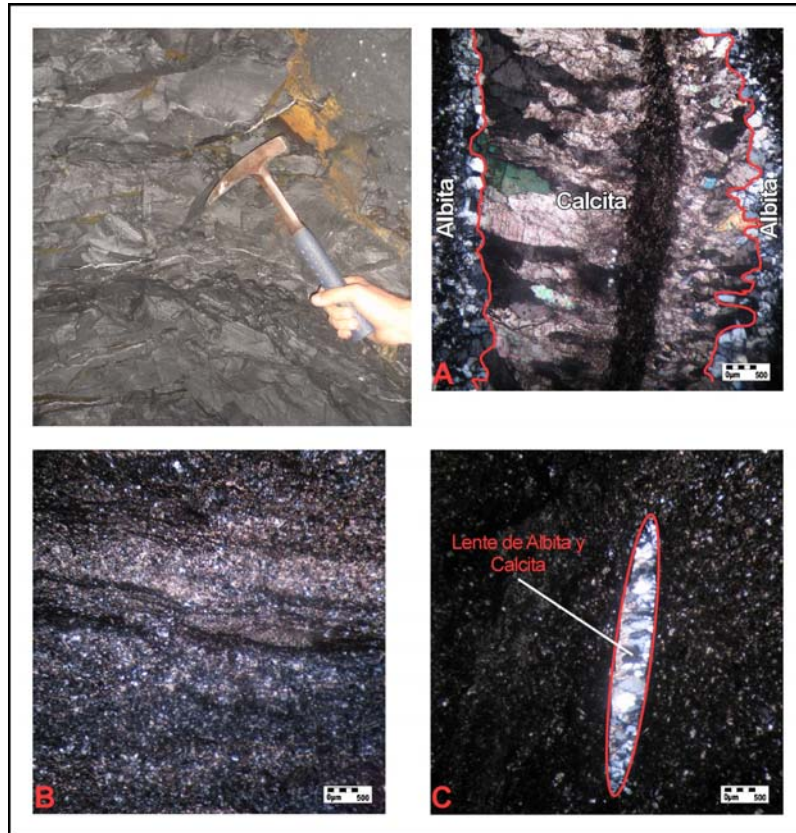
**Figura 37.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, ilustrando las muestras recolectadas correspondientes al Dominio 2.



**Figura 38.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de Lodolita carbonosa con estructura brechoide (muestra COR 030 017), fracturas rellenas de albita y pirita, con detalle al microscopio en sección delgada: **A.** Sistema de venas de Albita a veces en asocio con pirita, englobando y cortando fragmentos de Lodolita **B.** Lodolita carbonosa desarrollando proceso de albitización. **C.** Venas compuestas por agregados de albita euهدral. También se aprecian oquedades en forma de rombo, la cuales pueden haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato. Microfotografías A y B tomadas en nicoles cruzados con objetivo de 5X. Microfotografía C tomada en nicoles cruzados con objetivo de 10X.



**Figura 39.** Foto a escala de afloramiento (izquierda) de zona de brechificación en lodolita calcárea carbonosa con albitización parcial, con detalle al microscopio en sección delgada (muestra COR 030 008): **A.** Procesos de albitización parcial: albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica y agregados de albita que se presenta en forma de bandas o lentes paralelos a la laminación. **B.** Agregados de albita en venas que cortan la laminación de la roca. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 40.** Esquina superior izquierda: Foto a escala de afloramiento de zona de Lodolita calcárea carbonosa con albitización incipiente (muestra COR 030 001) y profusión de venas de calcita fibrosa paralelas y subparalelas a la estratificación. Detalle al microscopio en sección delgada: **A.** Vena albita y calcita fibrosa de crecimiento syntaxial **B.** Proceso de albitización. Albite diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica. También se muestra que la laminación en algunos sectores de la roca se encuentra replegada posiblemente por infiltración del fluido hidrotermal que produce la albitización. **C.** Agregados granulares exhibiendo una morfología lenticular, dispuesta de manera subparalela a la laminación. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

#### 4.2.2.1 Zonación al interior de la Mina “Buenavista”.

Con lo expuesto anteriormente en la descripción macro y microscópica, los Dominios propuestos anteriormente se pueden subdividir en zonas, atendiendo sobre todo a características texturales de la roca, las cuales se exponen a continuación (ver Figura 41):

El **Dominio 1** se divide en

- **Zona de brechificación:** Las brechas consisten de fragmentos angulares a subredondeados de lodolita albitizada y lodolita carbonosa parcialmente albitizada. Algunos sectores de estos cuerpos brechados presentan matriz cementante compuesta por albita, en menor proporción pirita y ocasionalmente presenta moscovita en estructura fluidal (moscovita bordeando fragmentos de lodolita albitizada), mientras que en otros sectores, se preserva tan solo la albita. En estos cuerpos brechificados es posible observar oquedades en forma de romboedro, lo cual hace pensar que estas oquedades fueron ocupadas por carbonatos. Es posible que estos cuerpos brechados estuvieran cementados también por carbonatos (calcita-dolomita). Estas rocas yacen generalmente paralelas a la estratificación y cercanas a las zonas albitizadas.
- **Zona de albitización:** cuerpos masivos de color blanco compuestas principalmente por albita y en menor proporción pirita, incluyen algunos pocos fragmentos de roca encajante. Son cuerpos estratiformes (paralelos a la estratificación de la lodolita carbonosa) Sin embargo, en algunas ocasiones la cortan. Se presentan en contacto con lodolita carbonosa parcialmente albitizada, con profusión de venas de albita

Estas brechas y los cuerpos albitizados constituyen un material bastante triturado y friable (podría indicar que se trata de un retrabajamiento (zona de cataclasis o zona de deformación frágil, posterior a la mineralización) y pérdida de material cementante por acción de disolución de aguas meteóricas.

El **Dominio 2** se divide en:

- **Zona A (Zona de venas):** Rocas inmediatamente en contacto con la zona de albitización presentan profusión de venas. Son cuerpos fracturados (con estructura brechoide) de lodolitas carbonosas shale parcialmente albitizadas, presentan laminación plana paralela continua en láminas regulares, sin embargo en algunas zonas se observa replegamiento de la laminación, tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización. Las fracturas se encuentran rellenas por agregados de albita tabular y ocasionalmente asociado con pirita que se presenta hacia el centro de estos agregados y diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa.
- **Zona B (Zona de roca encajante):** rocas más alejadas de la zona de albitización. Estas no presentan desarrollo de estructura brechoide, sin embargo se encuentran muy diaclasadas. Estas corresponden a niveles más competentes los cuales se conforman por lodolitas calcáreas y silíceas carbonosas. También han sufrido procesos de albitización parcial, aunque en menor grado. Igual que en el caso de las lodolitas carbonosas con profusión de venas, la laminación en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltración o percolación del fluido hidrotermal mineralizante que produjo el proceso de albitización. Esto hace pensar que los paleofluidos mineralizantes percolan la roca preferencialmente por entre los planos de estatificación y laminación.

Algunas de estas rocas desarrollan venas de albita que cortan la laminación de la roca. También están las venas que corta la laminación que se componen de albita hacia la pared de la vena y en el centro con desarrollo de calcita fibrosa con inclusiones de pirita. La textura de estas venas de calcita fibrosa parece corresponder a una textura sintaxial.

### **4.2.3 Petrografía de venas y brechas asociadas con mineralización de esmeralda.**

Este apartado corresponde al estudio petrográfico de 6 secciones delgadas de venas y brechas asociadas con mineralización de esmeralda las cuales corresponden a muestras adquiridas en el campamento minero del sector de Buenavista.

#### **Venas**

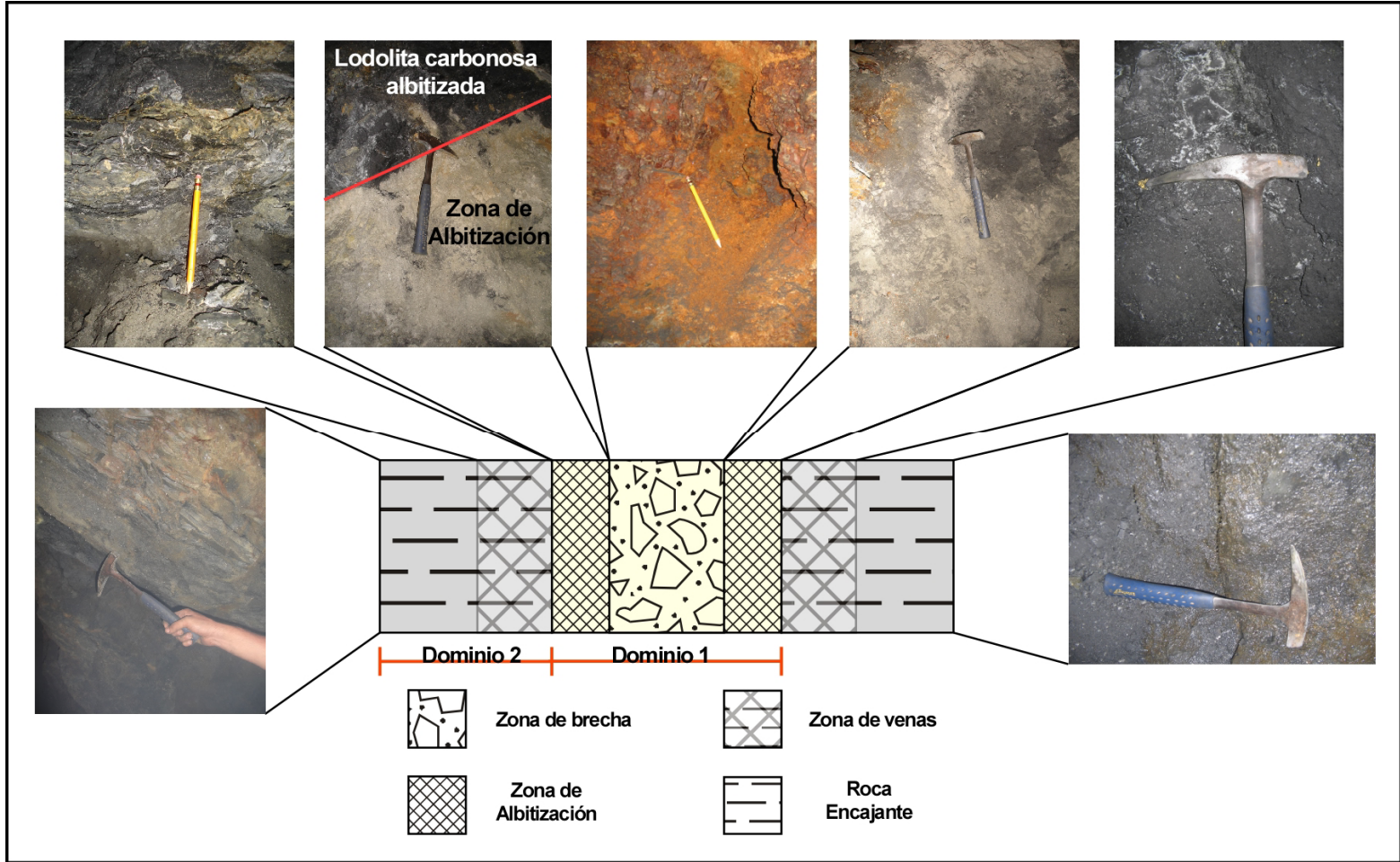
Se caracterizan principalmente por la paragénesis: Carbonato (Calcita-Dolomita), Albita, pirita y minerales accesorios tales como berilo, moscovita y sericita. De acuerdo con la zonación propuesta arriba, estas manifestaciones vetiformes probablemente se desarrollan en la denominada zona de venas, ubicada inmediatamente después de la zona de albitización.

*La albita* en las venas se presentan principalmente en agregados, compuesto por individuos paralelos entre si, de forma subhedral-euhedral y dispuestos de manera oblicua a la pared de la vena (con respecto al eje mayor del mineral, Ver Figura 42A y B). Presentan tamaños que oscilan entre cristalino grueso a fino, generalmente maclados según ley de la albita. Se encuentran incluidos en los agregados de Calcita-dolomita fibrosa. También se presenta como agregados granulares, compuesto por individuos tabulares subhedral-anhedral, maclados según ley de la albita, con tamaños entre cristalino medio a fino. Se presenta englobado y en contacto neto con la calcita-dolomita, berilo y pirita.

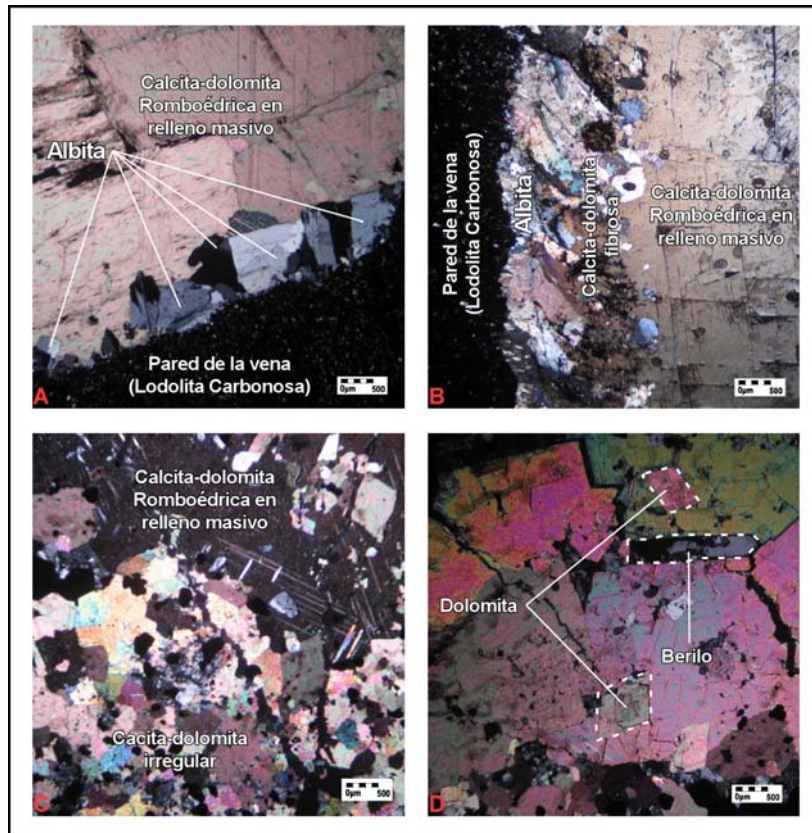
*Calcita-dolomita* en las vena presenta en 2 tipos: 1. Como agregados compuesto por individuos fibrosos paralelos entre si de forma subhedral-anhedral y dispuestos de manera oblicua a la pared de la vena (respecto al eje mayor del mineral Ver

Figura 42A y B). Presentan tamaños que oscilan entre cristalino grueso a medio, en contacto con la roca encajante, asociado a la albita, la cual esta englobando. También se presenta como agregados granulares, compuesto por individuos irregulares, subhedral-anhedral, con tamaños entre cristalino grueso a fino, también se presenta en los extremos de la vena. Este se asocia con la pirita (se presenta incluida en mayor cantidad en estos tipos de carbonato), albita y berilo como minerales englobados. 2. Individuos romboédricos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino extremado grueso, algunos presenta inclusiones de individuos romboédricos euhedrales de menor tamaño, los cuales corresponden a individuos de dolomita (Ver Figura 42). Estos agregados se disponen principalmente en el centro de la vena, aunque también se presenta como relleno masivo en toda la extensión de la vena. Se presenta incluido en individuos de berilo y presenta inclusiones de pirita.

*Pirita* se presenta como agregados masivos que cortan la vena de calcita-dolomita hasta casi entrar en contacto con la roca caja. Se componen de individuos masivos de tamaño cristalino extremado grueso, subhedrales euhedrales. Se encuentra en contacto neto con la albita e incluido en el Berilo. La pirita se encuentra en un alto grado de oxidación, por lo que muchas veces en la sección solo se aprecian óxidos o unos pocos relictos de pirita. Se presenta una mayor profusión de pirita hacia el centro de la sección, en asocio con el carbonato tipo 1. Se presenta incluido en calcita-dolomita y con inclusiones de albita.



**Figura 41.** Ilustración grafica esquemática de las diferentes zonas reconocidas. Ver texto para explicación.



**Figura 42.** **A.** Vena de calcita-dolomita romboédrica en textura de relleno masivo, e individuos de albita paralelos entre si oblicuos a la pared de la vena (Lamina delgada № COR 029 02B). **B.** Vena con albita y calcita-dolomita en cristales fibrosos paralelos entre si y oblicuos a la pared de la vena. En el centro calcita-dolomita romboédrica en textura de relleno masivo. Textura de crecimiento compuesto (Lamina delgada № COR 029 02S). **C.** Agregados, compuesto por individuos irregulares subhedral-anhedral en el extremo de la vena y en el centro calcita dolomita romboédrica en relleno masivo (Lamina delgada № COR 029 02.1B). **D.** Calcita-dolomita con inclusiones de cristales euhedrales de dolomita y berilo. En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita (Lamina delgada № COR 029 02.1B). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

*Berilo* es un mineral accesorio en venas, brechas y en casos excepcionales se encuentra incluido en lodolita carbonosa parcialmente albitizada (ver Figura 43A). En general se presenta como agregados equigranulares, compuesto por individuos de hábito columnar subhedral-euhedral en sección longitudinal, en sección transversal presenta contornos más o menos hexagonales (ver Figura 43D). Presenta tamaños que oscilan entre cristalino extremado grueso a grueso.

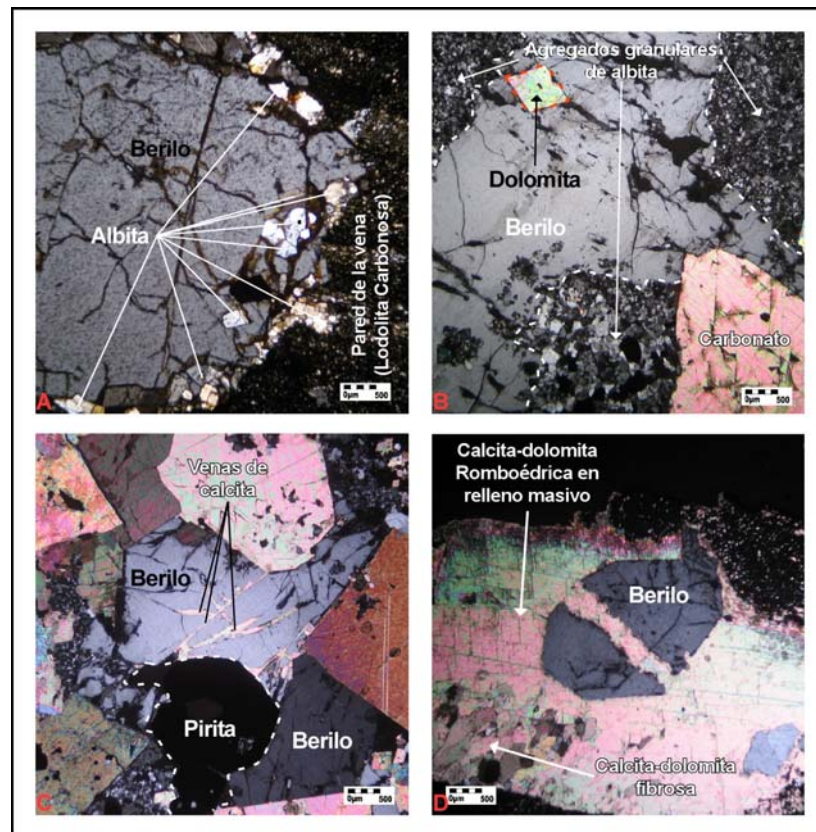
Se asocia en contacto neto con carbonato (calcita-dolomita), pirita y sericita; presenta inclusiones de albita, ya sea como individuos o agregados granulares, dolomita (ver Figura 43B) y venas de calcita que rellenan fracturas presentes en el berilo (ver Figura 43C y D).

*La sericita* (variedad de moscovita) es un mineral accesorio. Se presenta como agregados de tamaño cristalino muy fino a afanocristalino. Esta asociado con la albita, berilo, pirita y carbonato en contacto neto. También se presenta en contacto neto con la calcita-dolomita.

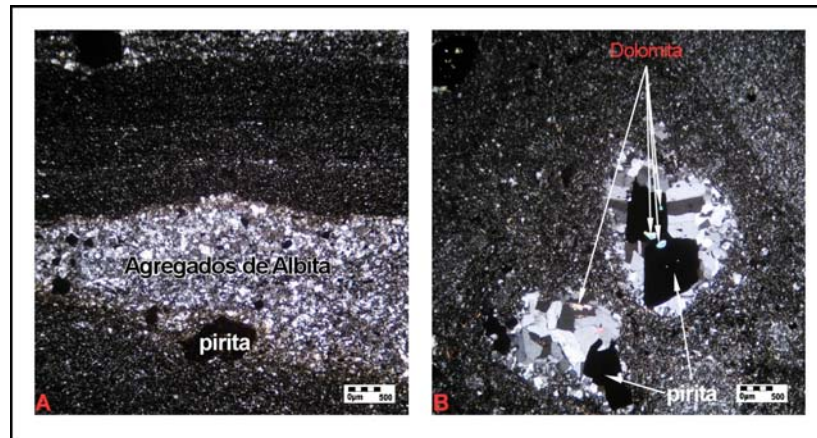
Texturalmente, las venas son en general de crecimiento compuesto, hacia los bordes es de tipo sintaxial (albita y calcita-Dolomita) y hacia el centro de tipo antitaxial (calcita-dolomita). Aunque también se presentan venas de relleno masivo las cuales son venas con textura de crecimiento antitaxial.

La roca encajante o pared de la vena, típicamente corresponde a Lodolita carbonosa, presenta un proceso parcial de albitización, el cual se manifiesta de 3 maneras diferentes (ver Figura 44): 1. Albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, de tamaño cristalino medio a muy fino de forma irregular subhedral a anhedral. 2. Albita en agregados compuesto por individuos tabulares subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a afanocristalino, en forma de lentes o bolsas aisladas, paralelas a la laminación. 3. Agregados granulares en forma de lentes y venas que cruzan la laminación de la roca caja. Se compone de individuos tabulares subhedral-euhedral, de tamaño cristalino grueso a fino asociado con la pirita y calcita-dolomita en contacto neto. La laminación de la roca dependiendo de la intensidad del proceso de albitización, en algunos casos solo se preserva en algunos sectores de la roca, mientras que en otras ha sido borrada por el proceso de albitización o plegada por el paso del fluido mineralizante.

*Pirita* se presenta diseminada en la roca encajante, de forma cúbica, subhedral euhedral de tamaño cristalino medio a fino. Además, la pirita se le encuentra también incluida en los agregados granulares de albita (tipo 3, Ver Figura 44B). En estos agregados al pirita exhibe tamaños que oscilan entre cristalino grueso a medio, de forma subhedral- euhedral y presenta inclusiones de dolomita.



**Figura 43.** **A.** Berilo de forma columnar. Presenta fracturamiento e inclusiones de albita. Su eje mayor es paralelo a la laminación de la roca (Lamina delgada № COR 016 025). **B.** Cristal de berilo de contornos hexagonales con inclusiones de dolomita y albita en forma de agregados granulares (Lamina delgada № COR 029 02.1B). **C.** Cristal de berilo de contornos hexagonales, con venas de calcita y en contacto neto con carbonato (calcita-dolomita) y pirita (Lamina delgada № COR 029 02.1B). **D.** Individuo de berilo con contornos hexagonales en vena de textura de crecimiento compuesto, cortado por carbonato (Lamina delgada № COR 029 02S). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 44.** Proceso de albitización en roca encajante de las venas: **A.** Albita diseminada en contacto flotante con la materia orgánica. Albita en agregados en forma de lentes paralelos a la laminación (Lamina delgada № COR 016 025). **B.** Albita diseminada. Agregados granulares de albita en forma de bolsas o lentes aislados, (Lamina delgada № COR 029 02B). En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

### **Brechas.**

Corresponden a rocas con estructura brechoide, definida por la presencia de fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada y lodolita albitizada (agregados granulares de albita), con tamaños que oscilan entre guijos muy finos a arena gruesa, presentan una morfología angular a subangular y una matriz cementante compuesta por la paragénesis: carbonato (calcita-dolomita), pirita, albita y accesorios tales como berilo, ankerita, moscovita y su variedad sericita.

La albita presenta en 3 tipos (ver Figuras 45 y 46): 1. Agregados compuesto por individuos tabulares subhedral-euhedral, son de tamaño cristalino grueso a fino en contacto neto con. Se presentan en la matriz cementante hacia los bordes de los clastos de lodolita carbonosa, como venillas que cortan los fragmentos de roca e incluidos dentro de los individuos de calcita-dolomita romboédrica (ver Figura 46A). 2. individuos de forma anhedral - subhedral de tamaño cristalino fino a muy fino, se encuentran diseminados en los fragmentos de lodolita carbonosa. 3. Matriz

compuesta por agregados granulares de albita cuyos tamaños oscilan de cristalino fino hasta afanocristalino, compuesto por individuos de forma irregular subhedral-anhedral. Estos a agregados se presentan inclusiones de fenocristales de pirita (tamaño cristalino medio a fino), calcita-dolomita romboédrica subhedral-anhedral (cristalino grueso a muy grueso), Albita (tamaño cristalino medio a fino, presentando inclusiones de moscovita y pirita) y esporádicamente cristales tabulares de moscovita euhedrales (tamaño cristalino fino). Estos agregados se encuentran englobados por cristales de calcita-dolomita (ver Figura 45A)

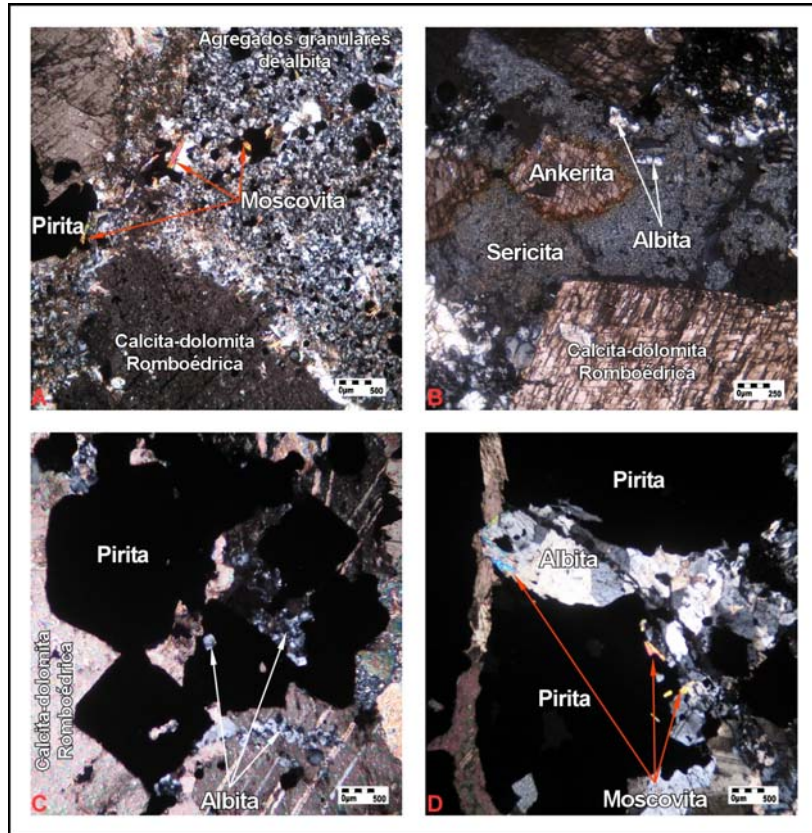
*Calcita-dolomita* presentan 4 tipos: 1. Calcita-dolomita de forma subhedral-anhedral de tamaño cristalino grueso a muy grueso. Se presenta como fenocristales en la matriz de agregados granulares de albita. Se encuentra asociado a la albita y a la pirita en contacto neto y con inclusiones de estos (ver Figuras 45A y 46C). 2. Calcita-dolomita de forma subhedral-euhedral de tamaño cristalino grueso a extremado grueso. Se presenta en la matriz cementante, englobando los fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada, lodolita albitizada (Agregados granulares de albita afanocristalinos), los agregados de pirita, sericita, Berilo y albita tipo 1 (ver Figuras 45B y C, y 46A y B). 3. individuos alargados, subhedrales-anhedrales, con extinción ondulante, en agregados granulares. Se presentan englobados por agregados de pirita (ver Figura 46D). Los tamaños de estos individuos oscilan entre cristalino grueso a medio. 4. Individuos de Dolomita romboédrica euhedrales de tamaño cristalino medio, englobados por los individuos del tipo 2. Algunos individuos presentan zonación (ver Figura 46B).

*La ankerita* es un mineral accesorio, no muy común, se presenta como individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino grueso a medio. Presentan bordes pardos amarillentos debido a la acción de la alteración. Se presenta incluido en los agregados de sericita (ver Figura 45B).

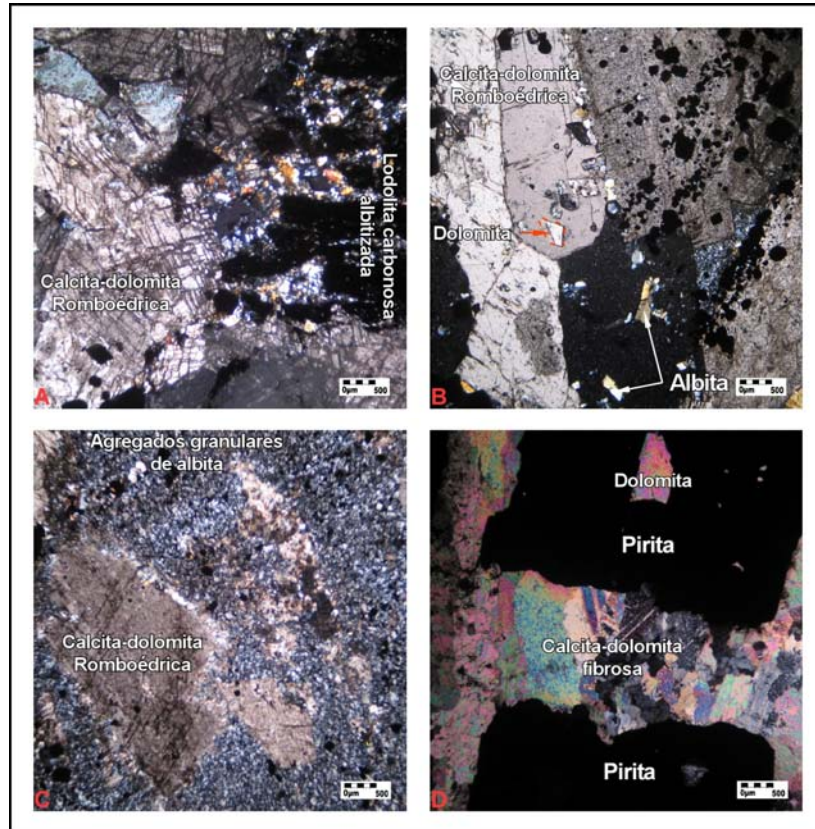
*Pirita* presenta 2 tipos: 1. Individuos y agregados compuesto cristales de forma cúbica subhedral-euhedral, de tamaño cristalino extremado grueso a medio. Se presenta englobado por la calcita-dolomita. Algunos individuos presentan inclusiones de calcita-dolomita anhedral, albita y moscovita. 2. individuos cúbicos subhedrales-euhedrales de tamaño extremado grueso, en agregados masivos. Se encuentran englobando a los agregados de calcita dolomita fibrosa y agregados granulares de albita, este a su vez se encuentra rodeado por calcita-dolomita romboédrica subhedral.

*La moscovita* igual que en las venas es un mineral accesorio. Se presenta ya sea como individuos tabulares subhedrales euhedrales, de tamaño cristalino fino (ver Figuras 45A y C) o como la variedad de tamaño afanocristalino conocido como sericita (ver Figura 45B). Los individuos tabulares se asocian con la albita y la pirita, en los cuales esta incluida. La sericita presenta inclusiones de ankerita, albita y esta en contacto neto con la calcita-dolomita.

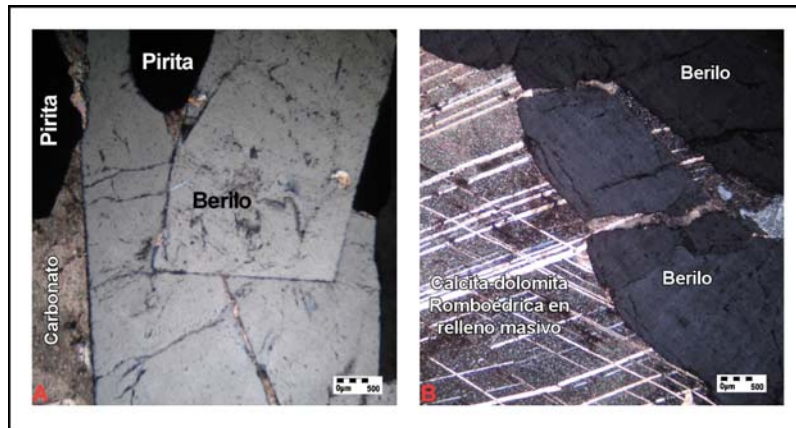
*Berilo*. agregado compuesto por individuos incoloros equigranulares columnares, subhedrales-euhedrales, de tamaño extremado grueso (ver Figura 47A). Algunos presentan terminaciones con bordes curvilíneos. Se encuentra en contacto neto con la calcita-dolomita y la pirita. También se aprecia como individuos incoloros de contornos hexagonales subhedrales (ver Figura 47B). Se presenta englobado y cortado por calcita-dolomita, y también presenta inclusiones de albita (tipo 3) y se asociada también a la pirita en contacto neto.



**Figura 45.** **A.** agregados afanocristalinos de albita englobado por calcita-dolomita romboédrica anhedrales. Dentro de estos a agregados se presentan inclusiones de fenocristales de pirita, calcita-dolomita de forma subhedral-anhedral, albita en contacto neto con cristales tabulares de moscovita (Lamina delgada № COR 029 02.1B). **B.** Sericita presentando inclusiones de ankerita y albita. También se presenta en contacto neto con la calcita-dolomita (Lamina delgada № COR 029 02B). **C.** Agregados masivos de pirita compuesto por individuos cúbicos subhedrales-euhedrales, con inclusiones de dolomita y albita. Se encuentran englobando a los agregados de calcita dolomita fibrosa y agregados granulares de albita, este a su vez, se encuentra rodeado por calcita-dolomita romboédrica subhedral (Lamina delgada № COR 029 02R). **D.** Agregados de albita compuesto por individuos tabulares de forma subhedral-euhedral. Se encuentran rodeados por agregados masivos de pirita (Lamina delgada № COR 029 02R). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicols cruzados, con objetivo de 5X las microfotografías A, C y D, con objetivo de 10X la microfotografía B.



**Figura 46.** **A.** Calcita-dolomita romboédrica subhedral en matriz cementante, englobando los fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada (Lamina delgada № COR 029 02.1A). **B.** Calcita-dolomita romboédrica subhedral en matriz cementante, englobando los agregados de pirita, albita e individuos de dolomita romboédrica euhedrales (Lamina delgada № COR 029 02.1A). **C.** Fenocristales de calcita-dolomita romboédrica subhedral-anhedral en matriz de agregados afanocristalinos de albita (Lamina delgada № COR 029 02D). **D.** Agregados granulares de calcita-dolomita compuesto por individuos alargados (fibrosos) englobados por agregados masivos de pirita los cuales presentan inclusiones de dolomita (Lamina delgada № COR 029 02R). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 47. A.** Agregado de berilo compuesto por individuos incoloros equigranulares columnares de tamaño extremado grueso. Algunos presentan terminaciones con bordes curvilíneos (Lamina delgada № COR 029 02D). **B.** Individuos de berilo con contornos hexagonales en vena de calcita –dolomita romboédrica de textura relleno masivo (Lamina delgada № COR 029 02R). En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

#### 4.2.4 Estudio mineralógico-petrográfico de la columna de la Formación Batá (Sección 1).

La petrografía de la columna de la Formación Batá, sección Buenavista fue realizada a 11 secciones delgadas pertenecientes al muestreo de la columna (ver Anexos 1), tales como roca caja y brechas muestreados del segmento B en la columna.

Hacia la base del segmento B (a los 108m de columna) se tienen lodolitas, y limolitas físisles, orgánicas carbonosas albitizadas. Algunos de estos cuerpos presentan lentes de pirita paralela a la laminación (ver Figura 20).

Las limolitas físisles, orgánicas carbonosas son bien seleccionada, presentan laminación muy delgada plana paralela, compuesta por cuarzo subredondeado de tamaño limo muy grueso a medio, moscovita de tamaño limo medio a fino, de

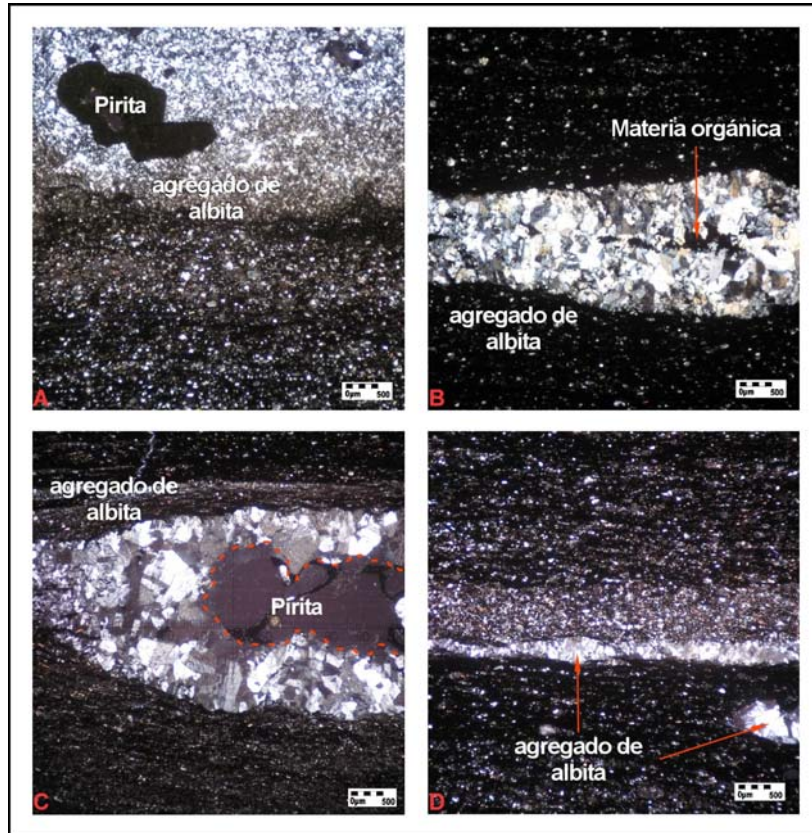
forma tabular y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino arcilla. El proceso de albitización se manifiesta como albita diseminada paralela a la laminación, de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino, en contacto flotante con la materia orgánica (ver Figura 48A).

Estas limolitas presentan desarrollo de lentes de piritas, acompañado por agregados cristalinos de albita (consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) y en menor proporción cuarzo? (individuos subhedrales-anhedrales, de tamaño cristalino fino a medio), minerales que bordean a los lentes de pirita (ver Figura 48A). También se presenta lentes de agregados cristalinos de albita (consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) englobando materia orgánica, la cual se ubica hacia en centro (ver Figura 48B).

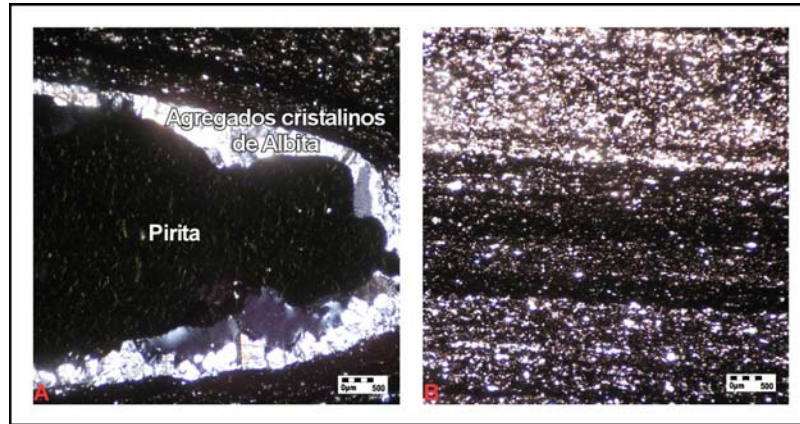
Las lodolitas físciles, orgánicas carbonosas son moderadamente bien seleccionadas, presentan laminación muy delgada plana paralela. Esta compuesta por cuarzo tamaño limo muy grueso a medio, subangular a subredondeado, moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino a arcilla. El proceso de albitización, igual que en las limolitas, se manifiesta como albita diseminada paralela a la laminación, de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino, en contacto flotante con la materia orgánica. También presentan lentes paralelos a la laminación, conformado por agregados cristalinos de albita, de forma tabular, subhedral.-euhedral y en menor proporción cuarzo? irregular subhedral-anhedral (ver Figura 48C y D). Ambos minerales poseen tamaños que oscilan entre cristalino medio a fino. Algunos de estos lentes se presentan acompañados por pirita ubicada hacia el centro de tales lentes.

A los 145m de la columna se localizan lodolitas carbonosas fisiles, presenta laminación muy delgada plana paralela en láminas regulares. Esta compuesta por cuarzo de tamaño limo muy grueso a medio, subredondeado-subesférico, moscovita de forma tabular cuyos tamaños oscilan entre limo medio a fino, y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino a arcilla, cementada por materia carbonosa amorfa, texturalmente madura.

Estas lodolitas carbonosas fisiles presentan desarrollo de lentes de pirita de tamaño cristalino grueso a medio, cristales cúbicos subhedrales a euhedrales, con bordes de agregados cristalinos de albita de tamaño cristalino medio a fino, subhedral a euhedral y en menor proporción cuarzo? de tamaño cristalino medio a fino, subhedral a anhedral (ver Figura 49A). También se presenta un proceso parcial de albitización, manifestado por el desarrollo de albitas subhedrales-anhedrales de tamaño cristalino medio a fino, diseminadas, que se encuentran preferencialmente paralelas a la laminación (ver Figura 49B).



**Figura 48.** **A.** Limolitas presentan desarrollo de lentes de piritas, acompañado por agregados cristalinos compuesto predominantemente por albita y en menor proporción cuarzo?. También se aprecia proceso albitización, manifestado por la formación de albita diseminada paralelo a la laminación (Lamina delgada № COR 016 014). **B.** Lentes de agregados cristalinos de albita englobando materia orgánica ubicada hacia en centro (Lamina delgada № COR 016 014). **C.** Lentes paralelos a la laminación compuestos por agregados cristalinos compuesto predominantemente de albita y cuarzo?, acompañado por pirita en el centro de tales lentes (Lamina delgada № COR 016 015). **D.** Lentes paralelos a la laminación, conformado por agregados cristalinos de albita y en menor proporción cuarzo? (Lamina delgada № COR 016 015). Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



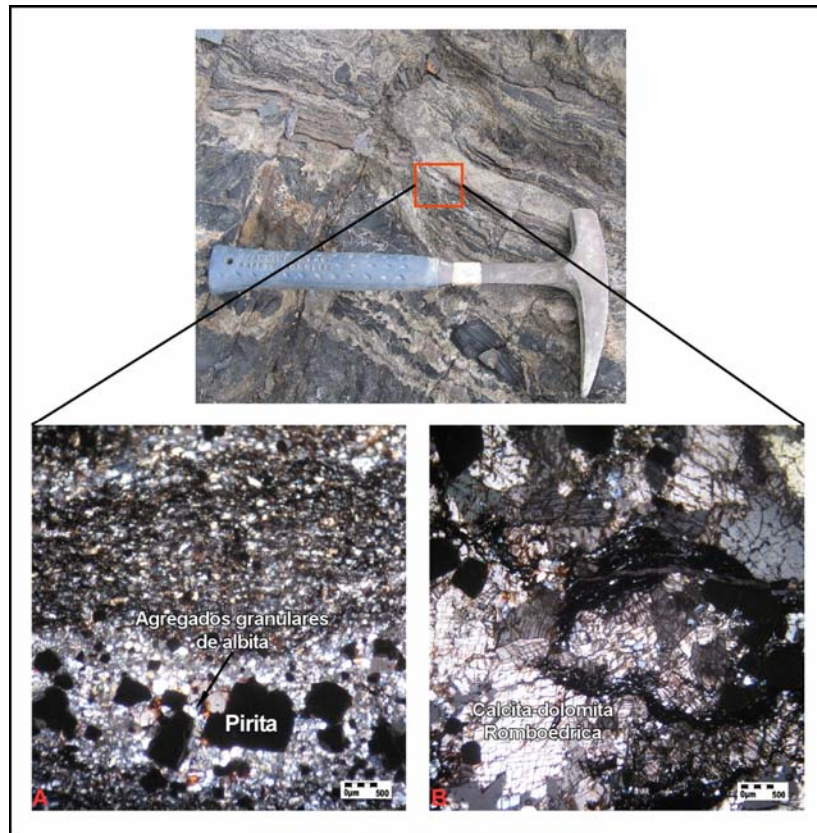
**Figura 49. A.** Lodolitas carbonosas físis presentando desarrollo de lentes de pirita de tamaño cristalino grueso a medio, cristales cúbicos subhedrales a euhedrales, con bordes de agregados cristalinos compuesto predominantemente de albita de tamaño cristalino y en menor proporción cuarzo?. Microfotografía tomada en nicols cruzados, con objetivo de 5X. **B.** Proceso parcial de albitización, manifestado por la presencia de albita diseminada encontrándose preferencialmente paralela a la laminación. Microfotografía tomada en nicols paralelos, con objetivo de 5X. Microfotografías correspondientes a la lamina delgada № COR 016 017.

### **Petrografía de los Cuerpos brechificados.**

A nivel macroscópico los cuerpos brechados se caracterizan por poseer fragmentos de lodolita y lodolita shale orgánica carbonosa, de morfología angular a subredondeada y cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 y 7cm, algunos fragmentos manifiestan rotación. Las brechas presentan matriz cementante compuesta de los mismos minerales de la paragénesis hidrotermal (albita, carbonatos y pirita), que hace que la brecha posea una muy buena cohesión. En el mismo cuerpo brechoso las texturas pueden variar lateral y verticalmente entre dos algunas veces, lentes aislados de brecha clasto-soportadas están rodeadas por una brecha cemento-soportadas, sin embargo, predominan las brechas clasto-soportadas (ver figura 21C y D). Estos cuerpos brechificados presentan también estructuras bandeadas de coloraciones blancas compuestas por carbonatos, albita, y pirita, y otras que presentan coloraciones oscuras en las cuales

predomina la pirita. Estas estructuras tratan de seguir la antigua estratificación de la roca brechificada (ver Figura 21A y B).

Las estructuras bandeadas de color oscuro corresponde a procesos de albitización y carbonatización, lo cuales se encuentran enfocados, principalmente en fracturas, además presenta con gran profusión de pirita. En la muestra aún se conserva la laminación original de la roca, la cual corresponde a láminas delgadas plana paralela continua en algunos sectores y en otros discontinua, sobre la cual se desarrolla cristales de pirita de tamaño cristalino grueso a fino, de forma subhedral a euhedral, acompañado por agregados de albita de tamaño cristalino medio a fino, de forma subhedral a euhedral (ver Figura 50A). Los carbonatos consisten principalmente de: Dolomita-ankerita de tamaño cristalino grueso a medio de forma subhedral a euhedral, los cuales e distinguen de la calcita-dolomita por presentar bordes pardos amarillentos debido a la acción de la alteración y en sus planos de foliación. Los carbonatos se localizan principalmente rellenando espacios dejado por fracturas (cristales de mayor tamaño, cristalino extremado grueso, ver Figura 50B) y también, haciendo las veces de matriz de la roca (cristales más finos, micrita-microsparita). La materia orgánica se encuentra siguiendo la antigua laminación de la roca original.



**Figura 50.** Arriba foto de estructuras bandeadas de color oscuro corresponde a procesos de albitización y carbonatización a escala de afloramiento con detalle al microscopio en lámina delgada: **A.** Desarrollo de cristales de pirita de tamaño acompañado por agregados de albita. Ambos minerales dispuestos de manera paralela a la antigua laminación de la roca original. **B.** Los carbonatos consisten principalmente de: Dolomita-ankerita los cuales se distinguen de la calcita-dolomita por presentar bordes pardos amarillentos debido a la acción de la alteración. En la sección se ubican principalmente relleno de espacios dejados por fracturas. Microfotografías correspondientes a la lamina delgada № COR 016 019. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

Las estructuras bandeadas de coloraciones blancas corresponde a una zona compuesta por fenocristales de calcita-dolomita de tamaño cristalino fino a extremado grueso, de forma anhedral a subhedral, en una matriz de: albita de forma tabular subhedral a euhedral de tamaño cristalino medio a fino, micrita-microsparita, cuarzo? tamaño cristalino medio a fino de forma subhedral-anhedral con inclusiones de pirita (ver Figura 51A), de tamaño cristalino medio a

grueso de forma subhedral a euhedral, la cual es mas abundante con respecto a la zona de brechificación.

La zona de brechificación se presenta en contacto con estas estructuras bandeadas. Esta zona de brechificación se aprecian clastos angulares a subredondeados de lodolita carbonosa parcialmente albitizada, en una matriz cementante compuesta por calcita-dolomita de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de albita de tamaño cristalino fino a medio de forma subhedral a euhedral en contacto neto con la pirita de tamaño cristalino medio a grueso de forma subhedral a euhedral (ver Figura 51B). También en esta misma parte de la sección se observa una vena cuya composición es similar a la matriz mencionada, pero con la diferencia que existe un mejor desarrollo de la calcita-dolomita (mayor tamaño y forma mejor definida) y una reducción del tamaño de la albita, con respecto a la zona donde se tiene matriz.

En estos cuerpos brechados también se aprecia una bolsa hidrotermal compuesta por fenocristales de calcita-dolomita (tamaño cristalino extremado grueso) inmersos en una matriz cuya composición consta de micrita (mezclada con materia orgánica), illita-moscovita (cristalino medio a fino) y agregado granular afanocristalino de albita (ver Figura 52A). Esta matriz, también posee inclusiones de pirita de tamaño cristalino grueso a medio. En contacto con esta vena se observa zona de brechificación (ver Figura 52B) conformada por fragmentos de lodolita carbonosa y calcárea parcialmente albitizada de morfología angular a subangular. La matriz cementante de la brecha esta conformada por calcita-dolomita romboédrica, albita, pirita.

La zona brechificada, como ya se ha mencionado, consta de fragmentos de lodolita carbonosa y calcárea, los cuales pueden haber sufrido o no procesos de albitización, poseen una morfología angular a subredondeada y algunos de estos

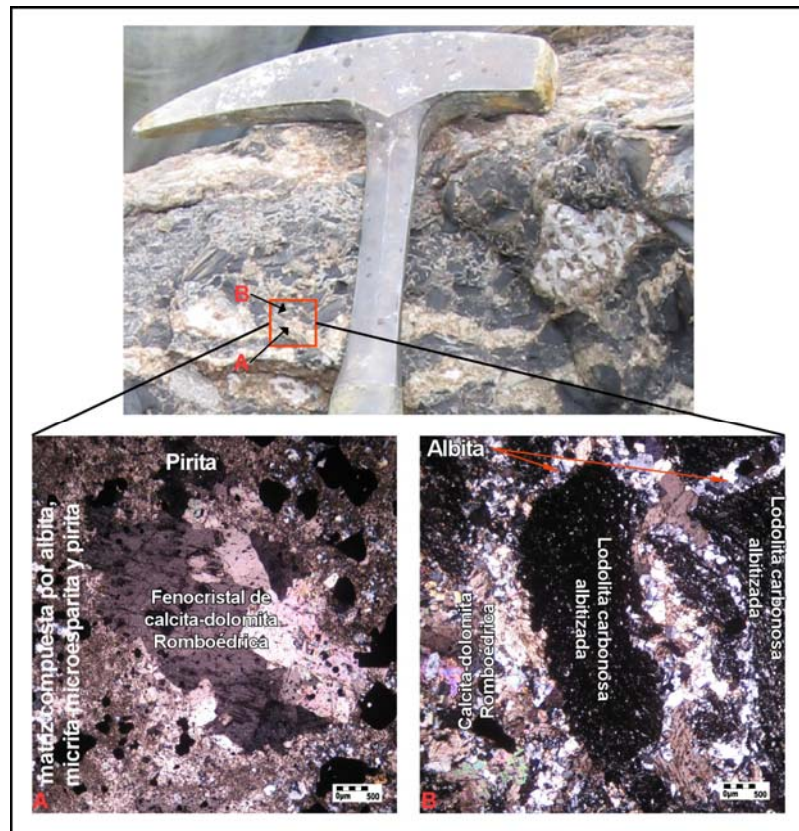
fragmentos manifiestan rotación (ver Figura 53A, B y C). La albitización de los fragmentos se presenta como albita diseminada en fragmentos de lodolita carbonosa de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino (ver Figura 53A, B y C).

La matriz cementante de la brecha se compone principalmente de carbonatos (calcita-dolomita), albita y pirita (ver Figura 53A, B y C):

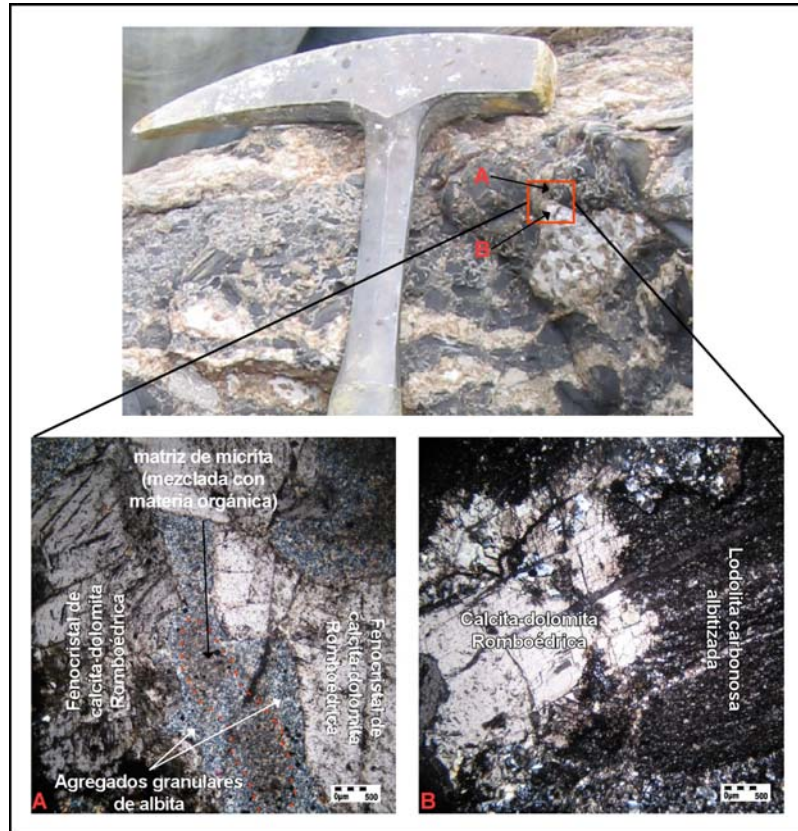
*Calcita-Dolomita* se presenta de 2 maneras: 1. Agregado de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino extremado grueso a medio. Posee inclusiones de albita, cuarzo, pirita y ocasionalmente algunos individuos presentan inclusiones de dolomita romboédrica euhedral. Se presenta englobando los fragmentos de lodolita carbonosa y calcárea, parcial o totalmente albitizados. 2. Individuos romboédricos subhedrales-euhedrales incluidos en agregados granulares de albita, poseen tamaños que oscilan entre cristalino medio a fino (ver Figura 53D).

*Albita*: 1. Como agregados granulares de albita, de forma subhedral a anhedral, de tamaño cristalino fino-afanocristalino. Estos agregados se encuentran rodeados por calcita dolomita. Dentro de estos agregados ocasionalmente se encuentran acompañados con inclusiones de calcita-dolomita subhedral-euhedral y moscovita de tamaño cristalino fino. Estos agregados podrían corresponder a fragmentos de roca totalmente albitizados, sin embargo no se sabe con plena seguridad. 2. Individuos tabulares subhedrales-euhedrales, maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino fino a grueso. La albita se encuentra incluida en los individuos de calcita-dolomita y en contacto neto con la pirita. Se presenta también hacia los bordes de los fragmentos de roca.

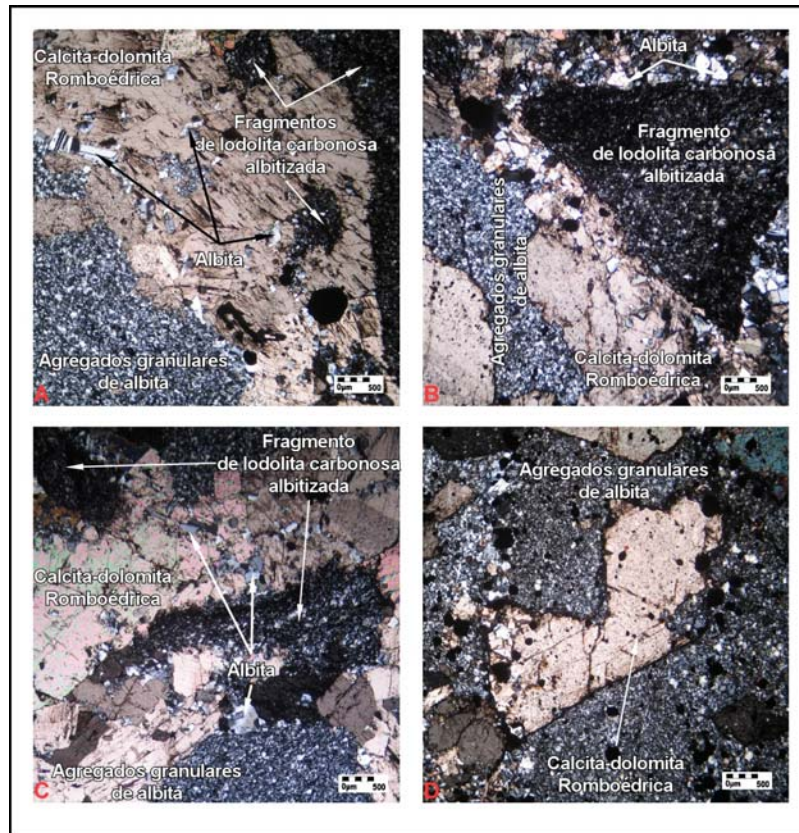
*Pirita*: Agregados e individuos de tamaño cristalino grueso a fino, en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita. Se presenta también diseminado en los fragmentos de lodolita, en cual presenta los menores tamaños.



**Figura 51.** Arriba foto de estructura bandeada en contacto con zona de brechificación a escala de afloramiento con detalle al microscopio en lamina delgada: **A.** Estructuras bandeadas que corresponde de fenocristales de calcita-dolomita en una matriz compuesta por albita, micrita-microesparita con inclusiones de pirita, la cual es mas abundante en esta zona que en la zona de brechificación. **B.** Zona de de brechificación: fragmento de lodolita carbonosa subredondeada parcialmente albitizada, en una matriz compuesta por calcita-dolomita con inclusiones de albita y pirita. Microfotografías correspondientes Lamina delgada № COR 016 020II. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 52.** Arriba foto a escala de afloramiento de vena compuesta por fenocristales de carbonato inmersos en una matriz muy fina de coloración blanca, en contacto con zona de brechificación con detalle al microscopio en lámina delgada: **A.** vena compuesta por fenocristales de calcita-dolomita inmersos en una matriz compuesta por micrita (mezclada con materia orgánica), illita-moscovita (cristalino medio a fino), agregado granular afanocristalino de albita con inclusiones de pirita. **B.** zona de brechificación: fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada de morfología subangular en contacto con calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita, pirita. Microfotografías correspondientes Lamina delgada № COR 016 020I. En las dos microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.



**Figura 53.** **A.** Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados de morfología subangular y subredondeado, y agregados granulares de albita englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita y pirita (Lamina delgada Nº COR 016 021AI). **B.** Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados de morfología angular y subangular, y agregados granulares de albita englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica (Lamina delgada Nº COR 016 021AI). **C.** Fragmentos de lodolita carbonosa, parcialmente albitizados subredondeados, y agregados granulares de albita, englobados por matriz de calcita-dolomita romboédrica con inclusiones de albita y pirita (Lamina delgada Nº COR 016 021AII). **D.** Individuo romboédrico euhedral de calcita dolomita incluido en agregados granulares de albita, (Lamina delgada Nº COR 016 021AII). En las cuatro microfotografías los minerales opacos corresponden a individuos de pirita. Microfotografías tomadas en nicoles cruzados, con objetivo de 5X.

#### 4.2.5 Origen de los cuerpos brechificados.

Las brechas originadas por hidrofracturamiento, o brechas hidráulicas están relacionadas con variaciones temporales en la presión del fluido, generalmente asociado a fenómenos de ebullición o efervescencia, que causan procesos

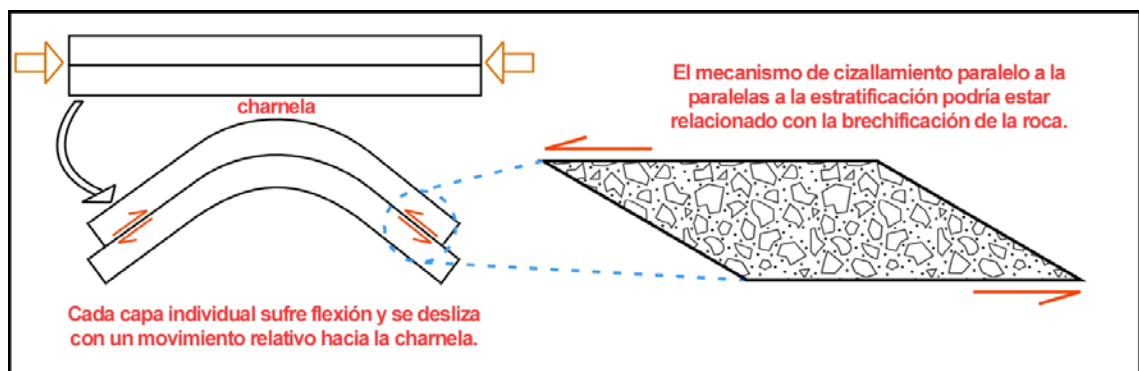
exsolución o desmezcla de una fase gaseosa a partir de un fluido (Phillips, 1972; Jébrak, 1992; Hagemann et al., 1992, en Jébrak, 1997). Estas exhiben texturas de fragmentación (brechas de mosaico) en un patrón de rompecabezas con una rotación insignificante de los fragmentos, de morfología angular y comúnmente del mismo tamaño (Jébrak, 1992, en Jébrak, 1997).

Estas texturas no se manifiestan en las brechas estudiadas, estas exhiben fragmentos de morfología angular a subredondeada, algunos evidencian rotación y los tamaños de los fragmentos varían ampliamente, entre 0.5 y 7cm. Por lo tanto, el proceso de brechificación no fue originado por el fluido, este debió haber sido previo, pero se considera que sería próximo en tiempo a la mineralización. En otras palabras, el fluido no fue el agente responsable del fracturamiento, sino que aprovecho los espacios generados por el fracturamiento de la roca (a causa de agentes tectónicos), para escapar.

La textura mostrada por las brechas estudiadas, se asemeja mas a aquellas asociadas a propagación de fractura que se encuentran en zonas frágiles de cizallamiento, o brechas desarrolladas a partir de trituración tectónica. Al mismo tiempo, la existencia de fragmentos subredondeados indica que estos han sufrido redondeamiento muy seguramente por la acción de desgaste por fricción entre fragmentos, el cual puede desarrollarse dentro de un flujo cataclástico (Jébrak, 1997).

Con la recomendación de realizarse estudios estructurales detallados, con el fin de establecer la relación temporal y espacial entre la mineralización y el plegamiento, en este trabajo se propone que, el mecanismo tectónico responsable de la brechificación puede estar relacionada con los procesos de plegamiento, es decir, por el proceso denominado deslizamiento flexural, el cual es característico de materiales con una anisotropía muy marcada (por ejemplo, en este caso una

secuencia bien estratificada de lodolitas), cada capa individual sufre flexión y además, se desliza con un movimiento relativo hacia la charnela del pliegue. Este mecanismo de deformación es un mecanismo de cizalla simple, siendo las superficies de cizalla paralelas a la estratificación (Julivert, 1986, ver Figura 54). Este proceso de cizallamiento fue observado en campo (ver Figura 22) y se piensa que esta relacionado con los procesos de brechificación de la roca (Figura 54), el cual podría ser previo al proceso hidrotermal, pero se debe tener en cuenta que se debe tener las relaciones temporales exactas entre el plegamiento y el proceso hidrotermal.



**Figura 54.** Pliegue formado por deslizamiento flexural. Tomado y modificado de Julivert (1986).

#### 4.2.6 Interpretación preliminar.

Con base en los resultados obtenidos a partir del análisis en muestras macroscópicas y microscópicas (petrografía), así como en la distribución presente en la mina, la tipología de las manifestaciones hidrotermales se determinó dos dominios principales:

**Dominio 1.** Presenta 2 zonas: 1) *Zona de brechificación*, la cual consta de brechas de fragmentos angulares a subredondeados de lodolita albitizada y

lodolita carbonosa parcialmente albitizada, generalmente yacen paralelas a la estratificación. Están compuestos por una matriz cementante de albita, en menor proporción pirita y ocasionalmente moscovita en estructura fluidal, sin embargo, en otros sectores se preserva tan solo la albita, debido que la acción de aguas supergénicas lixivia los restantes componentes. 2) *Zonas de albitización*, los cuales son cuerpos masivos de color blanco compuestas principalmente por albita y en menor proporción pirita, incluyen algunos pocos fragmentos de roca encajante. Son cuerpos estratiformes (paralelos a la estratificación de la lodolita carbonosa) aunque en algunas ocasiones la cortan. Se presentan en contacto con lodolita carbonosa parcialmente albitizada, con profusión de venas de albita. Estas brechas y los cuerpos albitizados constituyen un material bastante triturado y friable (podría indicar que se trata de un retrabajamiento, zona de cataclasis o zona de deformación frágil posterior a la mineralización) y pérdida de material cementante por acción de disolución de aguas meteóricas.

**Dominio 2.** Presenta 2 zonas: 1) *Zona A* (Zona de venas), la cual corresponde a rocas inmediatamente en contacto con la zona de albitización y presentan una profusión de venas. Son cuerpos fracturados (con estructura brechoide) de lodolitas carbonosas shale parcialmente albitizadas, presentan laminación plana paralela continua en láminas regulares, aunque en algunas zonas se observa plegamiento de la laminación, tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización. Las fracturas se encuentran rellenas por agregados de albita tabular y ocasionalmente asociado con pirita que se presenta hacia el centro de estos agregados y diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa. 2) *Zona B* (zona de roca encajante de la mineralización), corresponde a rocas más alejadas de la zona de albitización. Estas no presentan desarrollo de estructura brechoide, sin embargo se encuentran muy diaclasadas. Estas corresponden a niveles más competentes los cuales se conforman por lodolitas calcáreas y silíceas carbonosas. También han sufrido procesos de

albitización parcial, aunque en menor grado. Igual que en el caso de las lodolitas carbonosas con profusión de venas, la laminación en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltración o percolación del fluido hidrotermal mineralizante que produjo el proceso de albitización. Esto hace pensar que los paleofluidos mineralizantes percolan la roca preferencialmente por entre los planos de estratificación y laminación. Algunas de estas rocas desarrollan venas de albita que cortan la laminación de la roca. También están las venas que corta la laminación que se componen de albita hacia la pared de la vena y en el centro con desarrollo de calcita fibrosa con inclusiones de pirita. La textura de estas venas de calcita fibrosa parece corresponder a una textura sintaxial.

Las manifestaciones vetiformes se componen principalmente de la paragénesis Carbonato (Calcita-Dolomita), Albita, pirita y minerales accesorios tales como berilo, moscovita y sericita. De acuerdo con la zonación propuesta arriba estas se forman en la denominada zona de venas, inmediatamente después de la zona de albitización. Texturalmente, las venas son en general de crecimiento compuesto, hacia los bordes es de tipo sintaxial (albita) y hacia el centro de tipo antitaxial (dolomita-calcita). Sin embargo, también se presentan venas de relleno masivo las cuales son venas con textura de crecimiento antitaxial.

Los minerales de albita identificados en el área de estudio (estudios mineralógicos petrográficos al Interior de la Mina "Buenavista" y la columna de la Formación Batá, Sección 1) son básicamente de 3 tipos texturales: 1) albitas de tamaño inferior cristalino muy fino a fino (inferior a 60  $\mu\text{m}$ ) de morfologías irregulares, las cuales por lo general se encuentran diseminadas en las rocas; 2) albitas de tamaño cristalino muy fino a afanocristalino (inferior 20  $\mu\text{m}$ ) con morfologías irregulares, formando agregados que forman lentes menores 1 cm. y; 3) albitas con tamaños entre cristalino grueso a fino (250 y 50  $\mu\text{m}$ ), generalmente de forma

tabular euhedral presentes en los materiales de relleno de venas y formando agregados lenticulares y venas al interior de las rocas.

Las albitas inferiores a 60 y 20  $\mu\text{m}$  de forma irregular, parecen estar relacionadas con un proceso de albitización que afecto a las rocas de la formación Batá, y al parecer relacionadas con un evento anterior al evento hidrotermal mineralizante (responsable de la mineralización de esmeralda). Este ultimo, relacionado con las albitas de tamaños entre las 250 y 50  $\mu\text{m}$ , anteriormente descritas.

Los cuerpos brechados se caracterizan por poseer fragmentos de lodolita y lodolita shale orgánica que han experimentado o no procesos de albitización y poseen una morfología angular a subredondeada y cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 y 7cm. Algunos de los fragmentos manifiestan rotación. Las brechas presentan matriz cementante compuesta de los mismos minerales de la paragénesis hidrotermal: albita, carbonatos, pirita y minerales accesorios tales como moscovita y sericita, lo que causa que la brecha posea una muy buena cohesión. En el mismo cuerpo brechoso las texturas pueden variar lateral y verticalmente entre dos algunas veces, lentes aislados de brecha clasto-soportadas están rodeadas por una brecha cemento-soportadas, aunque predomina la brecha clasto-soportadas. Estos cuerpos brechificados presentan también estructuras bandeadas de coloraciones blancas corresponde a una zona compuesta por fenocristales de calcita-dolomita de tamaño en una matriz compuesta por albita, micrita-microsparita, cuarzo? y pirita, y otras que presentan coloraciones oscuras corresponde a procesos de albitización y carbonatización (Dolomita-ankerita), lo cuales se encuentran enfocados, principalmente en fracturas, además presenta con gran profusión de pirita. Estas estructuras bandeadas son concordantes con estratificación de la roca.

El origen de los cuerpos brechificados no se encuentra relacionado con procesos de hidrofracturamiento o brechamiento hidráulico, asociado a fenómenos de ebullición o efervescencia del paleó fluido, puesto que:

- Las texturas desarrolladas en las brechas estudiadas no exhiben las texturas típicas de brechas originadas por estos procesos (brechas de mosaico, en un patrón de rompecabezas con una rotación insignificante de los fragmentos, de morfología angular y comúnmente del mismo tamaño Jébrak, 1997).
- El tipo de textura mostrado por las brechas estudiadas se asemeja mas a aquellas asociadas a propagación de fractura que se encuentran en zonas frágiles de cizallamiento, o brechas desarrolladas a partir de trituración tectónica. Al mismo tiempo, la existencia de fragmentos subredondeados indica que estos han sufrido redondeamiento, muy seguramente por la acción de desgaste por fricción entre fragmentos, el cual puede desarrollarse dentro de un flujo cataclástico (Jébrak, 1997). Por la geometría y disposición de las brechas con respecto a la estratificación, en este trabajo se propone que el proceso de brechificación puede estar relacionado con los procesos de plegamiento, por procesos de deslizamiento flexural.

Por lo anterior, se supone que el proceso de brechificación no fue originado por el fluido, si no que esta fue previa a la mineralización.

Según la terminología señalada en el apartado de consideraciones previas y estudios previos, la que mejor describe los cuerpos brechados, es la propuesta por Cheilletz *et al.* (1997, en Maya, 2005) durante los estudios realizados del Cinturón Esmeraldífero Oriental, y esta corresponde a Brechas tectónicas Hidrotermales, de esta forma se confirma las ideas propuestas por este autor.

El termino “cascoche” utilizado por los mineros del sector, se refiere a brechas y cuerpos albitizados que han sufrido retrabajamiento (zona de cataclasis) posterior a la mineralización y pérdida de material cementante por acción de aguas supergénicas (lixiviación), adquieren tonalidades naranja amarillento debido a la oxidación de la pirita. Este material es muy característico de la zona de estudio y también se sigue para la explotación de esmeraldas.

### **4.3 ESTUDIO MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).**

Con el propósito de identificar la composición mineralógica de las muestras de roca, venas, brechas y bolsas presentes en los diferentes lugares muestreados, se realizaron análisis cualitativos de abundancia a partir de DRX sobre muestra en polvo desorientado. En total se cuentan 46 muestras a las que se les han realizado estos análisis. Los difractogramas con análisis cualitativos se encuentran en el Anexo 3.

#### **4.3.1 Consideraciones Previas.**

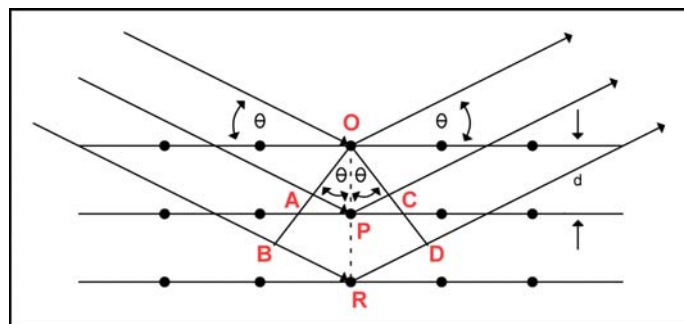
Los rayos x fueron descubiertos en 1895 por el físico Wilhelm Conrad Röntgen, profesor de la Universidad de Würzburg, Alemania, por ello le concedieron el Premio Nóbel en 1901.

Los Rayos X son una radiación electromagnética de longitud de onda corta producida por el frenado de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas de estos cuando se encuentran en los orbitales más internos. El

Intervalo de longitudes de onda de los rayos X comprende desde aproximadamente  $10^{-9}$  Å hasta 100 Å, sin embargo, la espectroscopia de Rayos X convencional se limita a la región comprendida entre 0,1 Å a 25 Å.

La Difracción de Rayos X o Cristalografía de Rayos X es una técnica consistente en hacer pasar un haz de rayos X sobre un cristal de la sustancia de materia de estudio, pues esta radiación posee una alta energía y una longitud de onda muy pequeña, lo suficientemente pequeña como para entrar a espacios interatómicos y que con lo cual se produzca la difracción.

Cuando un haz de rayos X choca contra la superficie de un cristal formando un ángulo  $\theta$ , una porción de l haz es dispersada por la capa de átomos de la superficie (Figura 55). La porción no dispersada del haz penetra en la segunda capa de átomos donde, de nuevo una fracción es dispersada. El efecto acumulativo de esta dispersión producida por los centros regularmente espaciados del cristal es la difracción del haz, de la misma forma que la radiación visible se difracta en una red de reflexión. Los requisitos para la difracción de rayos X son: 1. El espaciado entre las capas de átomos sea aproximadamente el mismo de la longitud de onda de la radiación. 2. Los centros de dispersión estén distribuidos en el espacio de una manera muy regular (Skoog *et al.*, 2001).



**Figura 55.** Difracción de rayos X producida por un cristal. Tomado y modificado de Skoog *et al.* (2001).

La emisión de rayos X incide sobre una muestra, parte del haz es dispersado en todas direcciones y otra parte es difractada, lo cual sólo ocurre cuando se cumple la ley de Bragg. Si dicha ley no se cumple, se dice que la interferencia es de naturaleza no constructiva y el haz difractado es de muy baja intensidad.

Ley de Bragg:  $n\lambda = 2d \text{ sen } \theta$ ,

$d$  = distancia entre los planos interatómicos que producen la difracción.

Con lo anterior, teniendo en cuenta que las direcciones de difracción están determinadas por la ley de Bragg, sólo dependen de la estructura cristalina y del tamaño de la celda unidad; de esta manera, los datos arrojados estarán relacionados con la estructura cristalina y las distancias dentro de la celda unidad. Los datos de intensidad serán determinantes a la hora de definir la posición de los átomos dentro de la celda unidad. Una vez se tiene el difractograma, luego de realizar un bombardeo cada  $0.02^\circ$ , la identificación de una fase cristalina por este método se basa en el hecho de que cada sustancia en estado cristalino tiene un diagrama de rayos X que le es característico. Estos diagramas están coleccionados en fichas, libros y bases de datos del Joint Committee on Powder Diffraction Standards y agrupados en índices de compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales. Se trata, por lo tanto, de encontrar el mejor ajuste del diagrama problema con uno de los coleccionados.

#### **4.3.2 Estudio mineralógico al interior de la Mina “Buenavista”.**

En la tabla 2 indica la composición de las 22 muestras analizadas, tanto de roca caja y brechas, determinando sus respectivas concentraciones minerales (expresadas en términos cualitativos y valores semicuantitativos). En la Figura 56 se muestra

los rangos y distribución de las fases minerales encontradas en la mina con su respectiva abundancia.

Con base en estos resultados y en las observaciones de petrografía se pueden identificar 2 paragénesis principales:

Albita + Pirita ± Moscovita para el *Dominio 1*.

Albita + Pirita para el *Dominio 2*.

Es de notar que la presencia de la pirita no es tan constante como la presencia de albita (ver Figura 56). Como se ha observado durante los estudios petrográficos de muestras recolectadas de la mina de Buenavista, se observa una fuerte oxidación de la pirita (alteración supergena, ver Figuras 15, 16 y 19), pues la pirita como muchas de las asociaciones de minerales sulfurados son inestables en condiciones oxidantes y se descomponen (meteorizan) para originar una nueva mineralogía estable en condiciones de meteorización (“Procesos supergenos”, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/...](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/)). Esto explicaría la ausencia de este mineral en algunos segmentos de la mina y el origen de nuevas fases minerales como se vera mas adelante.

La pirita se meteoriza (oxida) a sulfato férrico ( $\text{FeSO}_4$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) compuestos que se disuelven en las aguas percolantes en forma de iones  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  (“Procesos supergenos”, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/...](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/)).

Una de las repercusiones de los productos de meteorización de la pirita es la acidificación de las aguas percolantes, las cuales disuelven los carbonatos (calcita-dolomita, etc. Estos minerales tienden a disolverse con relativa facilidad y completamente desde condiciones normales a acidas), el cual constituye un

importante mineral de la matriz cementante de brechas y cuerpos albitizados, dejando en ocasiones oquedades en forma de romboedro o formas aproximadas que delatan la existencia de alguna vez de estos minerales (ver Figuras 33 y 38C). Entonces la disolución de carbonatos junto con un ligero retrabajamiento (zona de cataclasis) posterior a la mineralización, hacen que estos cuerpos mineralizados sean de características friables.

Ahora los iones liberados de la meteorización de la pirita ( $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ ), reaccionan con algunos cationes para generar óxidos de hierro (goethita) y sulfatos:

Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ): resultado de la reacción entre lo sulfatos producto de la oxidación de pirita y el calcio producto de la disolución de carbonatos.

Jarosita ( $\text{KFe}_3\text{SO}_4(\text{OH})_6$ ): resultado de la hidrólisis sobre pirita que libera sulfatos y hierro.

Natroalunita ( $(\text{Na},\text{K})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_3$ ): resultado de la reacción entre lo sulfatos producto de la oxidación de pirita y el Na como resultado de la descomposición de la albita.

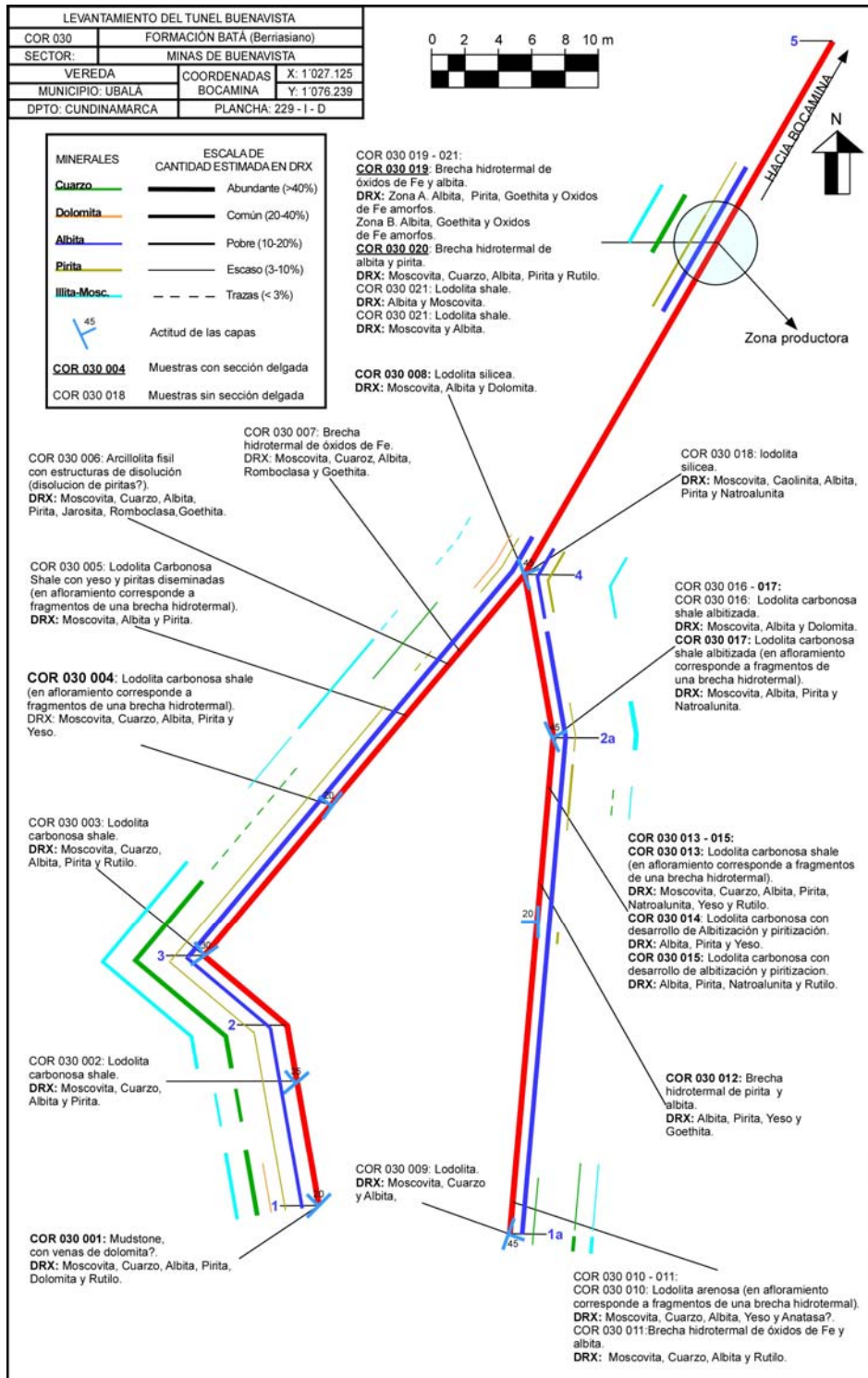
Romboclasa ( $(\text{H}_5\text{O}_2)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_2$ ): resultado de la hidrólisis sobre pirita que libera sulfatos y hierro.

Todos estos minerales anteriormente mencionados, fueron identificados mediante análisis de DRX, en varias muestras estudiadas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas de la Mina “Buenavista”. El valor amarillo resalta el Dominio 1 y el valor azul el Dominio 2.

MUESTRA	FILOSILICATOS					SILICATOS		SUFUROS	CARBONATO			SULFATOS			HIDROXIDOS			OXIDOS			MATERIAL AMORFO (OX. DE Fe)	
	ILLITA-MOSCOVITA	CAOLINITA	HALLOYSITA	ESMECTITA	CLORITA	CUARZO	ALBITA	PIRITA	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	JAROSITA	NATROALUNITA	YESO	ROMBOCLASA	GIBBSITA	GOETHITA	LEPIDOCROSITA	HEMATITA	ANATASA		RUTILO
COR-030-01	+++	0	0	0	0	++++	+++	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-02	++	0	0	0	0	+++	+++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-03	+++	0	0	0	0	++++	+++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-04	+	0	0	0	0	*	++++	+	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-05	++	0	0	0	0	0	++++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-06	++	0	0	0	0	+	++++	*	0	0	0	*	0	0	+	0	*	0	0	0	0	0
COR-030-07	*	0	0	0	0	+	++++	0	0	0	0	0	0	0	*	0	*	0	0	0	*	0
COR-030-08	*	0	0	0	0	0	++++	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-09	+++	0	0	0	0	+++	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-10	+	0	0	+	0	+	++++	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	*?	*	0
COR-030-11	+	0	0	0	0	+	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-12	0	0	0	0	0	0	++++	++	0	0	0	0	0	*	0	0	*	0	0	0	0	0
COR-030-13	+	0	0	0	0	*	++++	+	0	0	0	0	+	*	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-14	0	0	0	0	0	0	++++	++	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-15	0	0	0	0	0	0	++++	++	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-16	++++	0	0	0	0	0	++++	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-17	0	0	0	0	0	0	++++	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-18	++	++	0	0	0	0	+++	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-030-19A	++	++	++++	0	0	0	++++	++	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	++?
COR-030-19B	0	0	0	0	0	0	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	++	0	0	0	0	+
COR-030-20	+++	0	0	0	0	++++	++++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-030-21	+++	0	0	0	0	0	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

++++ Abundante (>40%)	+++ Común (20-40%)	++ Pobre(10-20%)	
+ Escaso (3-10%)	* Trazas (< 3%)	? :Dudoso	0 nada



**Figura 56.** Diagrama en vista de planta de la Mina “Buenavista”, con descripción macroscópica de las muestras recolectadas y fases minerales encontradas en las muestras por medio de DRX.

#### **4.3.3 Estudio mineralógico de la Sección 1 (Columna de la Formación Batá, sección Buenavista).**

En la tabla 3 se analizó la composición de 18 muestras tanto de roca caja y brechas, determinando sus respectivas concentraciones minerales (expresadas en términos cualitativos y valores semicuantitativos). En el anexo 1 se muestra la columna con los rangos y distribución de las fases minerales encontradas en cada segmento, con su respectiva abundancia.

**Segmento A:** En este segmento la albita es más abundante y constante, con respecto al segmento B, lo que podría reflejar que el proceso de albitización es más fuerte en la parte basal de la columna. También es evidente la ausencia de pirita en este segmento de la columna.

La paragénesis hidrotermal en esta zona consta exclusivamente de albita.

**Segmento B:** De acuerdo a los análisis de petrografía y DRX la paragénesis hidrotermal de este segmento es la siguiente:

Albita + Pirita ± Calcita-dolomita ± Moscovita.

La aparición de la pirita en este segmento de la columna, puede estar relacionada con el contenido de materia orgánica, pues está se relaciona con la reducción termoquímica de los sulfatos para formar la pirita (Giuliani *et al.*, 2000), ya que las lodolitas y limolitas orgánicas carbonosas son muy escasas en el segmento A, lo que explicaría la ausencia de esta en este segmento.

**Tabla 3.** Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas de la Sección 1 (Columna de la Formación Batá, sección Buenavista). El valor azul resalta el Segmento A y el valor amarillo el Segmento B.

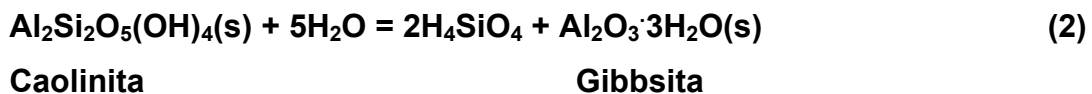
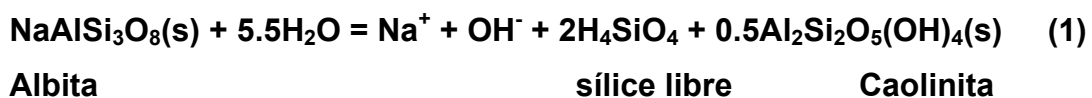
MUESTRA	FILOSILICATOS					SILICATOS	SUFUROS	CARBONATO	SULFATOS			HIDROXIDOS			OXIDOS			MATERIAL AMORFO (OX. DE Fe)				
	ILLITA-MOSCOVITA	CAOLINITA	HALLOYSITA	ESMECTITA	CLORITA	CUARZO	ALBITA	PIRITA	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	JAROSITA	NATROALUNITA	YESO	ROMBOCLASA	GIBBSITA	GOETHITA		LEPIDOCROSITA	HEMATITA	ANATASA	RUTILO
COR-016-01	++	0	0	0	+	+	++++	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-016-02	++++	0	0	0	0	*	++++	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-03	+++	+++	+	+	0	++	++++	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-05	+++	++	0	0	*	++	++++	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-06	++	+	*	*		++	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-07	+	++++	++	0	0	0	++++	0	0	0	0	0	0	+	0	0	++	0	0	0	0	0
COR-016-08	+++	0	0	0	0	+++	++++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-09	++	++++	0	0	0	++	++++	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-10	+++	++	0	0	0	+++	++++	0	0	+	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	*	0
COR-016-11	++	+	0	0	0	0	++++	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-14	++	0	0	0	0	++	++++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-16	+++	0	0	0	*	++++	++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-17	++	0	0	0	0	+	++++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-19	0	0	0	0	0	0	++	++	0	+++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-21	++	0	0	0	0	*	++++	*	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-21A	0	0	0	0	0	0	+	+	0	+++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-22	+++	0	0	0	0	+++	++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COR-016-23	+	0	0	0	*	+	++++	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

++++ Abundante (>40%)	+++ Común (20-40%)	++ Pobre(10-20%)	
+ Escaso (3-10%)	* Trazas (< 3%)	? :Dudoso	0 nada

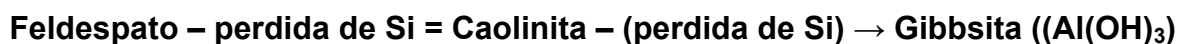
#### 4.3.4 Estudio mineralógico de la Sección 2 (Perfil a detalle en el sector de Buenavista).

En la tabla 4 se analizó la composición de las muestras tanto de roca caja y brechas, determinando sus respectivas concentraciones minerales (expresadas en términos cualitativos y valores semicuantitativos). En la Figura 57 se muestra el esquema del corte a detalle levantado en el sector de Buenavista, con su respectiva descripción de la muestra y las fases minerales encontradas en los análisis de DRX.

La formación de gibbsita en esta zona se debe a la descomposición de aluminosilicatos tales como albita e illita, aunque mas probablemente que se deba a la descomposición de albita por hidrólisis acida, la cual descompone primero a caolinita (reacción 1) dejando libre sílice en forma de acido salicílico, que reacciona para formar halloysita con pHs ácidos, y posteriormente la descomposición de la caolinita libera aluminio para formar hidróxidos de aluminio como gibbsita en pHs menos ácidos (reacción 2).



O de manera general y sintetizada (Robb, 2005):

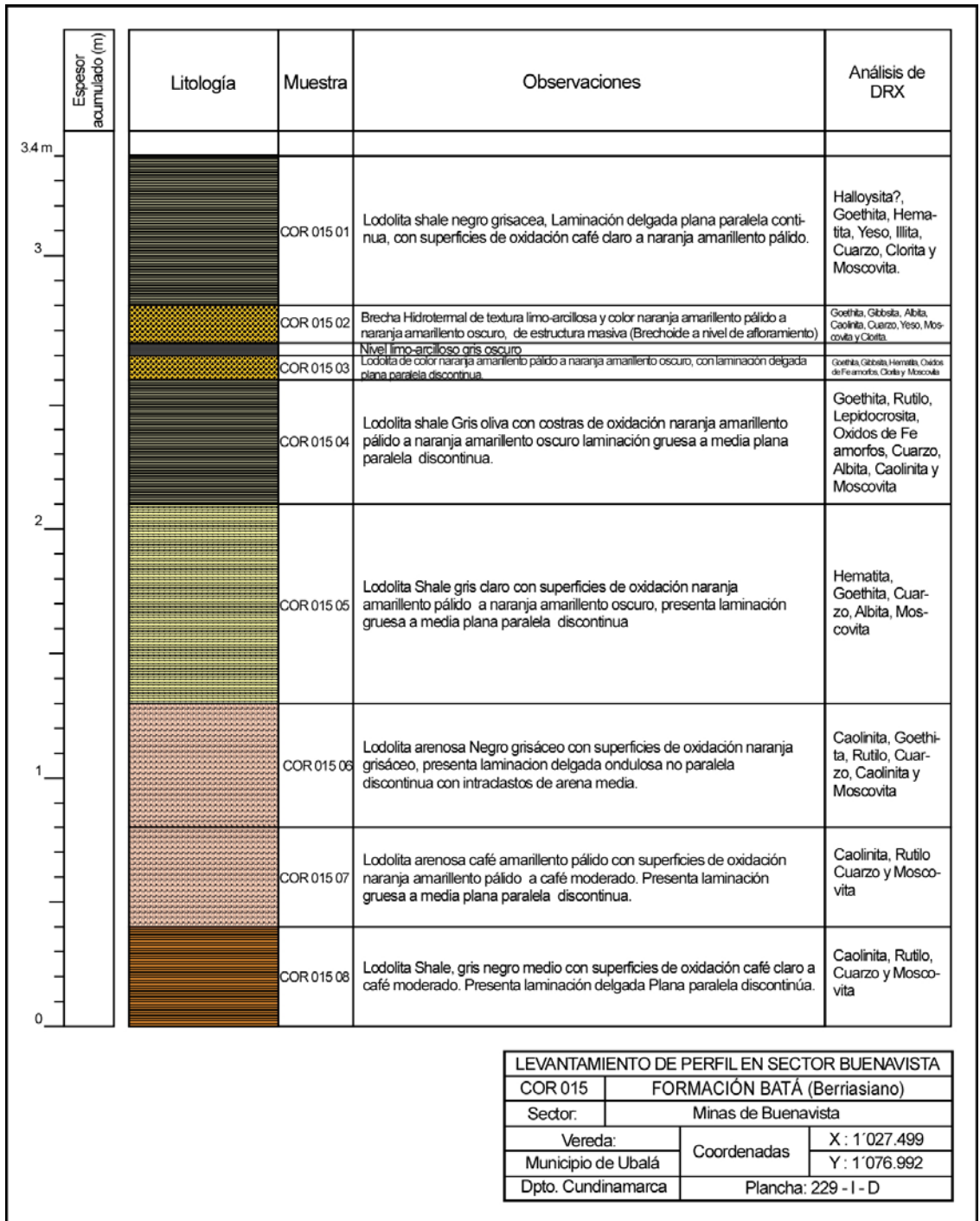


Se observa también que la roca tiene alta proporción de mica y en estos sectores brechificados una baja la cantidad de mica. Quizás esta reacciono para formar albita durante el proceso de metasomatismo sodico y posteriormente la albita se descompuso para formar halloysita y gibbsita.

**Tabla 4.** Análisis cualitativo de minerales por DRX en muestras desorientadas para el corte a detalle, Sección 2. El valor amarillo resalta el valor amarillo indica los niveles brechados (“cascoche”).

MUESTRA	FILOSILICATOS					SILICATOS		SUFUROS	CARBONATO			SULFATOS			HIDROXIDOS			OXIDOS			MATERIAL AMORFO (OX. DE Fe)	
	ILLITA-MOSCOVITA	CAOLINITA	HALLOYSITA	ESMECTITA	CLORITA	CUARZO	ALBITA	PIRITA	CALCITA	DOLOMITA	ANKERITA	JAROSITA	NATROALUNITA	YESO	ROMBOCLASA	GIBBSITA	GOETHITA	LEPIDOCROSITA	HEMATITA	ANATASA		RUTILO
COR-015-01	+++	+++	+	+	*	++++	○	○	○	○	○	○	○	*	○	○	+	○	*?	○	*	○
COR-015-02	++	??	○	○	+	++	+	○	○	○	○	○	○	*	○	++++	++++	○	○	○	○	○
COR-015-03	+	○	○	○	+	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+	++++	○	*	○	○	++
COR-015-04	+++	++	+	*	○	++++	??	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	○	○	*	+
COR-015-05	+++	○	○	○	○	++++	+	○	○	○	○	○	○	○	○	○	++	○	+	○	○	+
COR-015-06	+++	+	○	○	○	++++	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+	○	○	○	*	○
COR-015-07	+++	+	○	○	○	++++	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*	○
COR-015-08	+++	++	+	○	○	++++	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*	○

++++ Abundante (>40%)	+++ Común (20-40%)	++ Pobre(10-20%)	
+ Escaso (3-10%)	* Trazas (< 3%)	? :Dudoso	○ nada



**Figura 57.** Esquema corte a detalle, Sección 2, con su respectiva descripción de la muestra y el resultado del análisis de DRX.

#### 4.3.5 Interpretación preliminar.

Con base en estos resultados de DRX, junto con los estudios Petrográficos se pueden identificar una 2 paragénesis principales en la Mina “Buenavista”

Albita + Pirita ± Moscovita para el Dominio 1.

Albita + Pirita para el Dominio 2.

Respecto a la sección 1 (columna de Formación Batá, sección Buenavista), con base los resultados de DRX se logro establecer diferencias mineralógicas entre los diferentes, las cuales son:

**Segmento A:** En este segmento la albita es más abundante y constante a lo largo de la columna, lo que podría reflejar que el proceso de albitización es más fuerte en la parte basal de la columna. También es evidente la ausencia de pirita en este segmento de la columna.

La paragénesis hidrotermal en esta zona consta exclusivamente de albita.

**Segmento B:** De acuerdo a los análisis de petrografía y DRX la paragénesis hidrotermal de este segmento es la siguiente:

Albita + Pirita ± Calcita-dolomita ± Moscovita.

La aparición de la pirita en este segmento de la columna, puede estar relacionada con el contenido de materia orgánica, pues está se relaciona con la reducción termoquímica de los sulfatos para formar la pirita (Giuliani *et al.*, 2000), ya que las

Iodolitas y limolitas orgánicas carbonosas son muy escasas en el segmento A, lo que explicaría la ausencia de esta en este segmento.

Los minerales producto de esta alteración supergénica se determinaron por medio de estos estudios: minerales tales como yeso, jarosita, natroalunita y romboclasa, son generados a expensas de la oxidación de la pirita con la consecuente acidificación de las aguas supergénicas percolantes, las cuales disuelven los carbonatos el cual constituye un importante mineral de la matriz cementante de brechas y cuerpos albitizados, dejando en ocasiones oquedades en forma de romboedro o formas aproximadas, que delatan la existencia estos minerales. También se presenta la formación de gibbsita en esta zona por acción de fluidos supergénicos. Se debe a la descomposición de aluminosilicatos tales como albita e illita, aunque mas probablemente que se deba a la descomposición de albita por hidrólisis acida.

#### **4.4 ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF).**

En el presente trabajo se analizaron 5 secciones doblemente pulidas de materiales de relleno de venas y brechas hidrotermales (Dolomita, calcita y esmeralda), sobre las cuales se realizaron estudios de petrografía de inclusiones y de microtermometría.

Con el propósito de facilitar una mejor comprensión de los datos de petrográfica y microtermometría obtenidos y el significado de los mismos, se presenta a continuación un resumen de los aspectos tenidos en cuenta durante la obtención

de los datos microtermométricos y de los conceptos básicos en los que se soportó la interpretación de estos datos.

#### **4.4.1 Consideraciones previas.**

Con la excepción de los minerales presentes en las rocas metamórficas los cual generalmente se desarrollan en estado solidó, todos los minerales de los materiales terrestres y extraterrestres tuvieron su origen a partir de algún tipo fluido. Los minerales neoformados de rocas sedimentarias y metamórficas, y además, la formación de casi todos los depósitos minerales, se formaron a partir de un fluido acuoso conteniendo varios solutos (Roedder, 1984), por lo que las partes mínimas de estos líquidos quedan atrapadas en su interior durante su cristalización. De esta manera podemos usar las IF, que no son mas que diminutas vacuolas rellenas por las soluciones en las que se formaron o evolucionaron estos minerales, para investigar las condiciones de génesis y la posterior historia de los minerales. Las inclusiones, por tanto, pueden proporcionar una información muy valiosa sobre las condiciones físico-químicas del sistema hidrotermal en el que se formó el mineral:

- Temperatura (geotermometría)
- Presión (geobarometría)
- Composición general del fluido
- Densidad del fluido.

Las IF pueden contener distintas fases, a saber: líquidos, sólidos y/o gases. Su composición puede constar de agua pura, salmueras de salinidad variable (sales como NaCl, KCl, etc.), gases (por ejemplo, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.) silicatos entre otros.

El tamaño de las IF usualmente varía entre 3 y 20  $\mu\text{m}$  (aunque puede variar entre 1 a 100  $\mu\text{m}$ ).

Las suposiciones básicas para el uso de las IF son Roedder (1984):

1. La inclusión atrapa un fluido hidrotermal homogéneo antes de enfriarse (dentro de una inclusión fluida actual hay un conjunto de fases, pero fue un solo un fluido en el momento del atrapamiento a temperaturas elevadas). Dentro de las inclusiones pueden haber cristalizado fases sólidas o minerales hijos al disminuir la temperatura y presentarse una burbuja de gas, pero originalmente los componentes estaban disueltos en un fluido homogéneo.

2.  $m = K$ ; el sistema es cerrado, no hay pérdidas de fluido y la masa ha permanecido constante.

3.  $v = K$ ; el volumen ha permanecido constante.

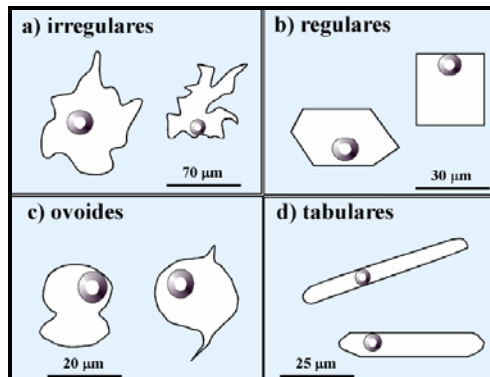
#### **4.4.1.1 Petrografía de IF.**

Las IF pueden ser clasificadas según criterios genéticos, morfológicos y de tipos de fases presentes, criterios que al integrarse, sirven para documentar de manera más puntual, las diferentes familias de IF, identificadas durante los estudios petrográficos.

#### **Clasificación Morfológica:**

Existe una gran variedad de formas, que gradan desde completamente irregulares hasta totalmente automorfas, controladas por la estructura cristalina del mineral. Se puede ensayar una clasificación morfológica, atendiendo exclusivamente a la

regularidad de los bordes de las paredes de las inclusiones (Velasco, 2004, ver Figura 58).



**Figura 58.** Esquema mostrando los diferentes tipos de inclusiones desde un punto de vista morfológico. Tomado de Velasco (2004).

**Irregulares:** Inclusiones de formas aplastadas con bordes lobulados, esqueléticas, etc., cuyos planos externos no parecen reflejar los rasgos estructurales del mineral encajante.

**Regulares:** Cuando los bordes de las inclusión muestran superficies planas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal o bien son paralelas a las caras cristalinas o direcciones de exfoliación.

**Ovoides:** Presentan tendencia a formas esferoides u ovoides (bordes siempre redondeados).

**Tabulares/prismáticos:** En ellas domina el carácter alargado con los extremos más o menos redondeados. Suelen encontrarse en minerales de desarrollo prismático.

### **Clasificaron según tipos de relleno:**

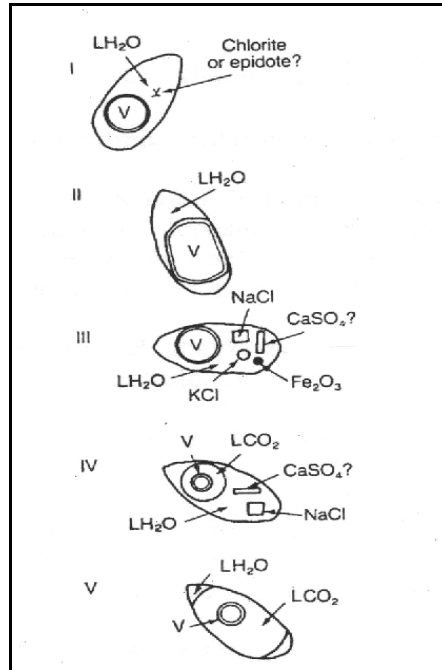
Si prestamos atención a los tipos de relleno de las inclusiones, se pueden encontrar gases, líquidos y sólidos en diferentes proporciones, entonces se pueden clasificar en:

- **Monofásicas:** formadas por una sola fase, ya sea de líquido (L), gas (V) o sólidos (S o inclusiones minerales).
- **Bifásicas:** presentan solo dos fases, siendo más frecuentes las que tienen vapor y líquido, pudiéndoseles encontrar en volúmenes variables de cada fase.
- **Trifásicas:** cuando aparecen más de dos fases. Pudiendo encontrar una gran variedad, dependiendo de la fase predominante, pueden ser líquidas, otras gaseosas con líquidos inmiscibles o baja proporción de sólidos ( $L_1 + L_2 + V$ ) o ( $L + V + S$ ), mientras que en otras pueden ser abundantes en sólidos ( $S + L \pm V$ ).
- **Polifásicas:** Inclusiones más complejas, pues se tienen varios tipos de sólidos (minerales hijos o “daughter minerals”), acompañados por el líquido o líquidos inmiscibles y la burbuja de gas. Los sólidos más frecuentes están entre otros, la halita, silvita, anhidrita, hematites, cuarzo, sulfuros de hierro (Velasco, 2004). Los líquidos inmiscibles se puede tener: fase acuosa, junto con  $CO_2$  líquido, con presencia de  $CH_4$ ,  $\pm N_2$ , y/o  $H_2S$ .

Según estos criterios que atienden a la composición se han propuesto varios tipos de clasificación, entre las cuales la más conocida es la propuesta por Nash y

Theodore (1971) presentó una clasificación de IF basada en las fases observables a temperatura ambiente (Figura 59):

- **Tipo I:** Líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos: originadas por un fluido subsaturado, rico en H<sub>2</sub>O (líquido), <26% en peso de NaCl eq; se homogenizan a líquido al calentarlas.
- **Tipo II:** Líquidas con una gran burbuja de vapor, sin minerales hijos: fluido original rico en vapor; al calentarlas la burbuja se expande y se homogenizan a vapor.
- **Tipo III:** Polifases (L + V + S), contienen uno o más minerales hijos: fluido original saturado, con >26% NaCl eq., contienen fases sólidas halita o silvita a temperatura ambiente. Existen dos subtipos (a) fluido subsaturado al atrapamiento; al calentarlas desaparece primero la sal y luego la burbuja y (b) fluido saturado al atrapamiento: al calentarlas desaparece primero la burbuja y luego la sal.
- **Tipo IV:** Dos líquidos y minerales hijos. Son inclusiones con CO<sub>2</sub>; típicamente presentan doble burbuja, porque incluyen líquido rico en H<sub>2</sub>O y líquido rico en CO<sub>2</sub> y vapor + CO<sub>2</sub> gaseoso, además de fases sólidas.



**Figura 59.** Esquema de los tipos de IF según el número de fases presentes a temperatura ambiente: A la derecha: L = Líquido. V = Vapor. Tomado de Nash y Theodore (1971).

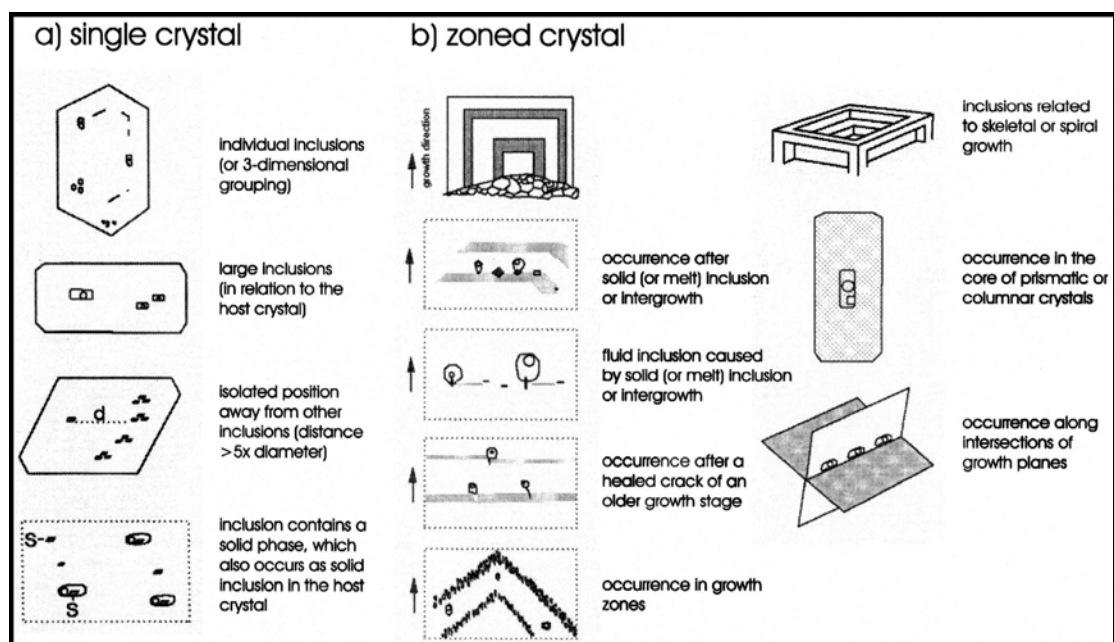
- **Tipo V:** CO<sub>2</sub> líquido con vapor, sin minerales hijos. Contienen agua líquida, CO<sub>2</sub> líquido y una burbuja pequeña de vapor. Corresponden a un fluido subsaturado en sales y rico en CO<sub>2</sub>.

### **Clasificación genética:**

Roedder (1984) y Van Den Kerkhof (2001) clasifican las IF genéticamente, según el tiempo de formación de la inclusión en el mineral hospedador. Según esta clasificación se pueden distinguir inclusiones primarias, secundarias y pseudo secundarias (Figura 60).

**Primarias:** Son el tipo de inclusiones atrapadas durante el crecimiento del cristal a partir de un fluido hidrotermal (Figura 60 y 61). Generalmente se localizan en el avance de las caras, aristas y vértices del cristal. Existen ciertos criterios que

ayudan a identificarlas, entre ellos están la forma y orientación de la IF, inclusiones alargadas en dirección del crecimiento del cristal con bases planas y puntas, inclusiones alineadas o agrupadas en zonas de crecimiento de los cristales, inclusiones grandes con relación al tamaño del cristal y a veces aisladas dentro de un cristal sin relación obvia con cualquier estructura que permita el escape o entrada de gas o líquido.



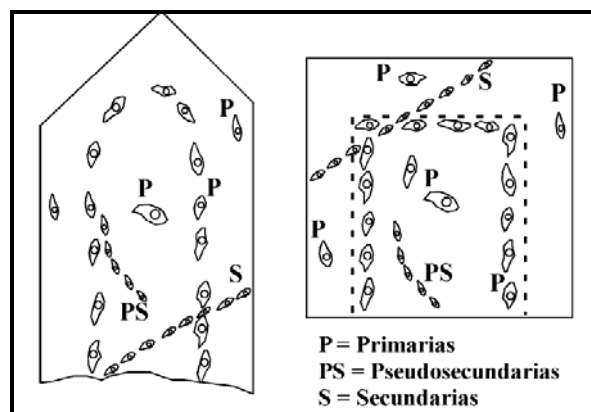
**Figura 60.** a) Criterios para clasificar inclusiones fluidas primarias. b) Diferentes ocurrencias de IF primarias en relación con la zonación mineral. Tomado de Van Den Kerkhof (2001).

**Secundarias:** se define como el tipo de inclusiones atrapadas después del crecimiento del cristal (en planos de fracturas y otros, puede ser posterior al evento hidrotermal). Estas inclusiones, a diferencia de las anteriores, se distinguen por su gran abundancia y por que se encuentran atravesando o rompiendo los bordes de crecimiento cristalino y están generalmente en planos (abiertos o cerrados) donde la fuga pudo ser posible y representan fluidos atrapados con posterioridad a la formación del cristal. El estudio de este tipo de IF es igualmente

importante, debido a que permite establecer las propiedades fisicoquímicas de los eventos hidrotermales más tardíos (Figura 60).

La distinción entre inclusiones primarias y secundarias es un problema mayor en la investigación de IF. El origen de la inclusión debe determinarse claramente, sino los resultados analíticos no tienen significado geológico (no son reales).

Existen también las inclusiones **pseudosecundarias**, las que se forman durante el crecimiento del cristal en microfracturas o planos de crecimiento del cristal (Figura 60). Si las inclusiones se relacionan a zonas de crecimiento del cristal (Ej. cristales zonados de cuarzo) entonces se trata de inclusiones primarias aunque tengan una distribución planar. Si se asocian a fracturas del cristal se consideran secundarias.



**Figura 61.** Distribución de las inclusiones primarias (P), siguiendo zonas de concéntricas, paralelas a las caras de crecimiento; Pseudosecundarias (PS) que se ordenan oblicuamente a las caras, siguiendo microfracturas que empiezan en el núcleo del cristal y terminan antes de que este se acabe; y secundarias (S) que sin ninguna regla el cristal pasando por sus bordes. Tomado de Velasco (2004).

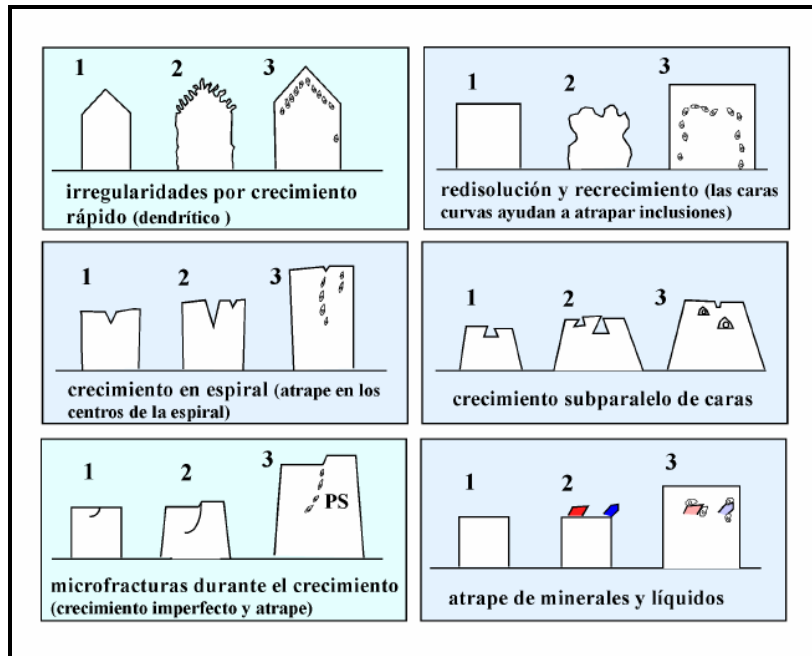
Los mecanismos de atrape de las inclusiones primarias pueden ser muy variados. Roedder (1984) distingue varios mecanismos que son representados en los esquemas de la Figura 62: a) crecimiento dendrítico rápido que permite la aparición de zonas del cristal en donde puede quedar atrapada la solución; b)

etapas de redisolución parcial de los cristales con desarrollo de micro huecos, caras curvas y recrecimiento rápido posterior que los recubre y permite el atrapamiento; c) atrape de líquidos en las zonas del centro de un espiral de crecimiento; d) caras cristalinas con crecimiento subparalelo pueden llegar a encerrar la solución; e) microfracturas desarrolladas en el cristal durante las etapas de crecimiento originan un crecimiento imperfecto y favorecen que queden alojadas en su interior pequeñas cantidades de la solución; f) atrapamiento de sustancias ajenas al cristal (inclusiones sólidas) pueden también favorecer el atrapamiento de fluidos.

### **Evidencias de ebullición**

La ebullición del fluido hidrotermal producirá el atrapamiento de fluidos en la línea de fase entre líquido y vapor, consecuentemente las evidencias de ebullición en IF serán:

1. Coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor en las cuales el atrapamiento fue contemporáneo (Cuidado: un mineral con microfracturas puede contener 2 tipos de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor, pero formadas en distintos períodos; en este caso no son evidencia de ebullición).
2. La temperatura de homogenización es igual en ambos tipos de inclusiones, son embargo, la temperatura de homogenización de una inclusión rica en vapor es casi imposible de obtener, y en términos reales es bastante improbable obtener la misma temperatura de homogenización. Las inclusiones ricas en vapor se ven negras al microscopio, de modo que nunca se ve líquido y no es posible determinar una temperatura de homogenización.



**Figura 62.** Mecanismos de atrape de inclusiones primarias Según Roedder (1984).

3. La salinidad debe corresponder entre ambos tipos de inclusiones, aunque obtener la salinidad de inclusiones ricas en vapor normalmente es imposible en el laboratorio.

#### 4.4.1.2 Microtermometría de IF.

La microtermometría es el método de medir temperaturas correspondientes a transiciones de fases en IF. Suponiendo que la composición y la densidad del fluido atrapado en una inclusión no fuesen modificadas desde su formación se puede determinar su temperatura de homogeneización ( $T_h$ ) y su temperatura de fusión ( $T_m$ ).

Es una técnica común no destructiva, para el estudio de las IF. Es relativamente económica y lleva a la posibilidad de realmente determinar las propiedades físico-químicas de las fases atrapadas. La determinación de las temperaturas de los

cambios de fases de las IF durante el enfriamiento y el calentamiento es a lo que se le llama microtermometría. Mediante los estudios microtermométricos, las IF nos revelan datos claves de temperatura, presión, densidad y composición de los fluidos que dieron origen a estas rocas o las atravesaron.

Las densidades son importantes para entender la circulación de los fluidos en la corteza terrestre y las IF proveen el único dato directo que tenemos de estos fluidos.

Para hallar la composición hay métodos no destructivos usados para calcular cualitativa y cuantitativamente los componentes de una inclusión fluida a partir de la caracterización de su comportamiento a bajas y altas temperaturas.

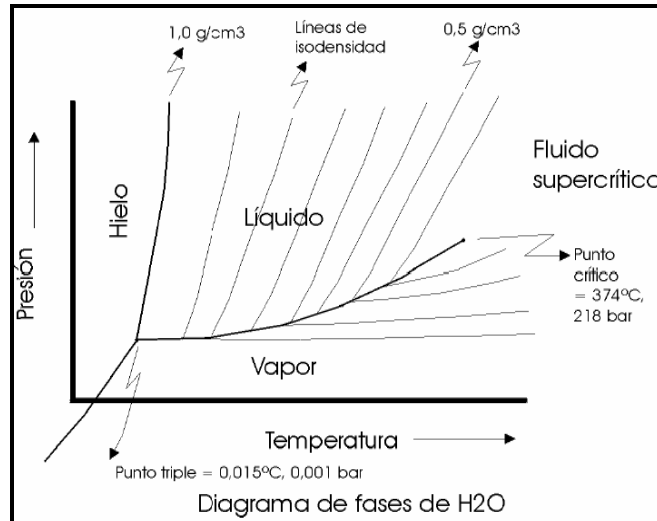
La composición mas abundante corresponde a un líquido de baja viscosidad que contiene una burbuja de vapor de volumen usualmente menor al líquido cuando se ve a temperatura ambiente, el líquido normalmente es agua con menos del 10 Wt% - porcentaje en peso en solutos, aunque varían entre 50 y 0 Wt% - porcentaje en peso. Los solutos consisten en cantidades mayores de Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, y otros componentes en menor cantidad. Varios iones individuales pueden ser predominantes aunque los mas abundantes son el Na y Cl. El CO<sub>2</sub> como líquido o gas no es raro y puede ser abundante y el CH<sub>4</sub> esta presente en muchas inclusiones.

Para poder usar un grupo de IF para el estudio de la evolución termal o química de un sistema geológico, se debe tener la certeza que las inclusiones hayan atrapado un fluido representativo del momento en que se formo la inclusión y que no haya sido reequilibrado con posterioridad. Para lo cual, las IF deben cumplir con tres condiciones básicas establecidas por Roedder (1984). La primera condición es que las inclusiones atrapen una sola fase homogénea; la segunda es que las

inclusiones representen un sistema isocórico (volumen constante); y la tercera y última requiere que después del atrapamiento nada haya sido añadido o removido de la inclusión. Estas condiciones deben ser confirmadas constantemente durante la petrografía y las mediciones microtermométricas.

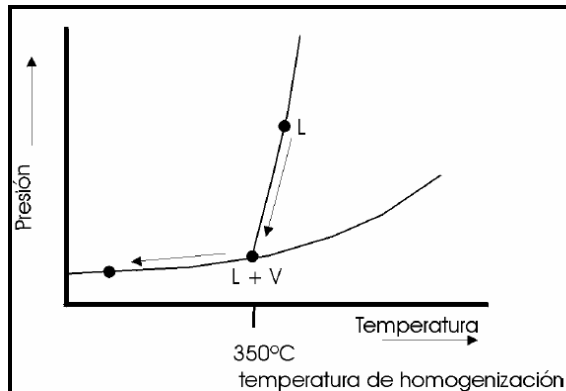
### Determinación de las propiedades físico-químicas del paleofluido.

#### Temperatura:



**Figura 63.** Diagrama P-T para el sistema H<sub>2</sub>O. Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/).

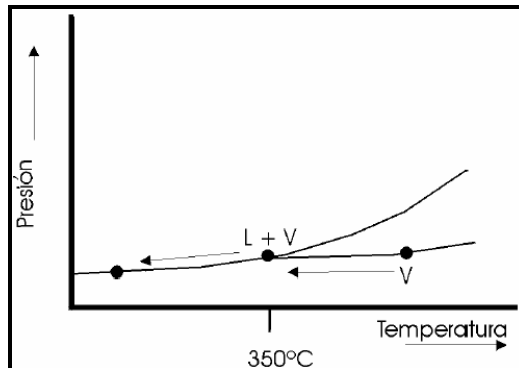
Si originalmente se atrapa un líquido homogéneo (L) a cierta presión y temperatura; este líquido al enfriarse se mantiene a lo largo de una línea de isodensidad en el diagrama de fases del H<sub>2</sub>O hasta interceptar la línea líquido - vapor, donde se origina una burbuja (L+V) y continua su enfriamiento por la línea de fase L + V (ver Figura 63 y 64).



**Figura 64.** Diagrama P-T mostrando la trayectoria al descender la temperatura en un diagrama de fases de H<sub>2</sub>O de un líquido (L) atrapado en una inclusión fluida (V= vapor). Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/).

Si tenemos una inclusión fluida con líquido + vapor, en el laboratorio podemos revertir el proceso calentando la inclusión fluida hasta el punto en que desaparece la burbuja y registrar esta temperatura que es la **temperatura de homogenización (Th)**. La temperatura de homogenización es una temperatura mínima del atrapamiento del fluido hidrotermal (menor que la temperatura verdadera) ya que no conocemos la presión a la que fue atrapada.

Si se atrapa una fase vapor (V) la inclusión se enfriará a lo largo de una línea casi paralela con el eje de la temperatura y aparecerá líquido al interceptar la línea de fase líquido-vapor (L+V) (ver Figura 65). Una inclusión rica en vapor no dará una buena estimación de la temperatura, porque las líneas de isodensidad son planas y porque en el microscopio es muy difícil apreciar la homogenización de una inclusión fluida rica en vapor; pero puede dar una estimación de la presión de atrapamiento.



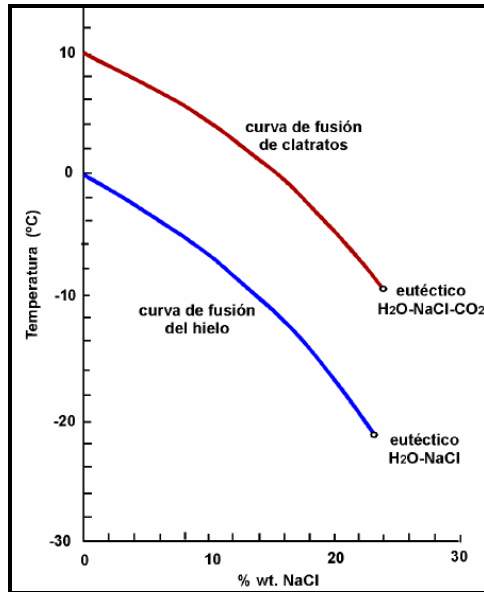
**Figura 65.** Diagrama P-T indicando la trayectoria al descender la temperatura de un vapor (V) atrapado en una inclusión (L= líquido). Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/).

## Salinidad

Los fluidos hidrotermales son en general soluciones salinas y otro antecedente de interés a obtener de las IF es la salinidad del fluido atrapado y esto se obtiene en términos relativos a partir de la temperatura de fusión de una inclusión, la que es dependiente de la salinidad del fluido. Para determinar la temperatura de fusión se congela la inclusión. Luego se deja que su temperatura vuelva a subir gradualmente y se llega al punto en que comienza a derretirse, el que corresponde a la composición del eutéctico (En una mezcla de dos o mas sustancias, punto mínimo de solidificación de las dos o mas componentes) de 23,3% NaCl, luego comienza a disolverse la sal y cuando desaparece el último cristal de hielo se mide la temperatura. Esta última es la que interesa. La temperatura de fusión permite determinar la salinidad del fluido en % peso NaCl equivalente de acuerdo a curvas determinadas experimentalmente (Shepperd *et al.*, 1985, y Collins, 1979, en Velasco, 2004).

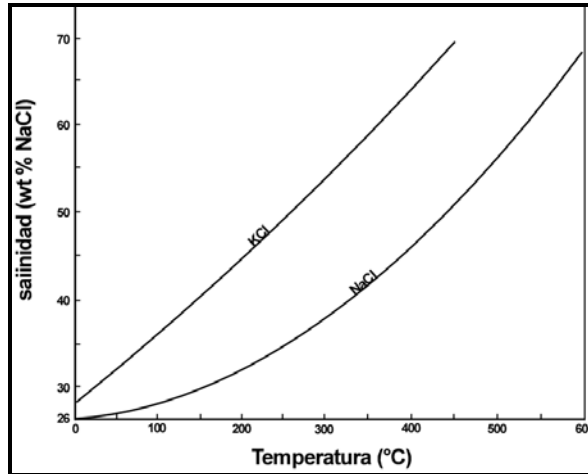
Si el mineral se depositó en condiciones de ebullición del fluido hidrotermal en el diagrama de fases del H<sub>2</sub>O esto corresponde a una posición en la línea de fase

líquido vapor y las inclusiones formadas tendrán distintas proporciones de líquido y vapor.

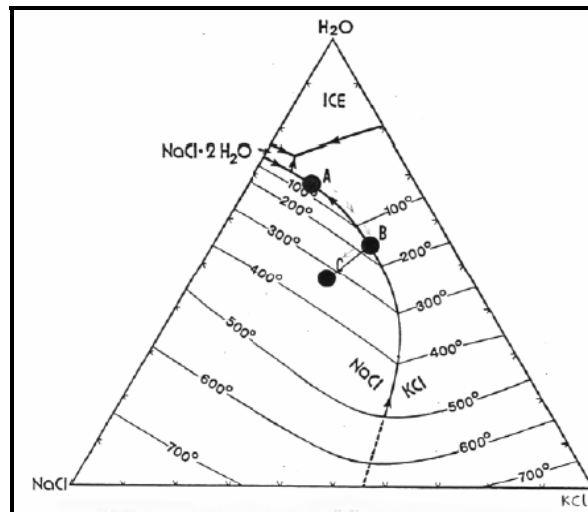


**Figura 66.** Diagrama para relacionar la temperatura de fusión del hielo y la de los maltratos con el contenido de NaCl. La grafica permite determinar la salinidad del fluido acuoso en los sistemas H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl a partir de la fusión del caltrato ( $T_{f_{cl\ atr}}$ ). Modificado de Collins (1979), en Velasco (2004).

Ahora bien, si en la inclusión existe halita (NaCl) y silvita (KCl) es posible calcular una salinidad en % peso de NaCl + KCl equivalente, pero la estimación debe realizarse en un diagrama ternario de H<sub>2</sub>O - NaCl - KCl (ver Figura 68).



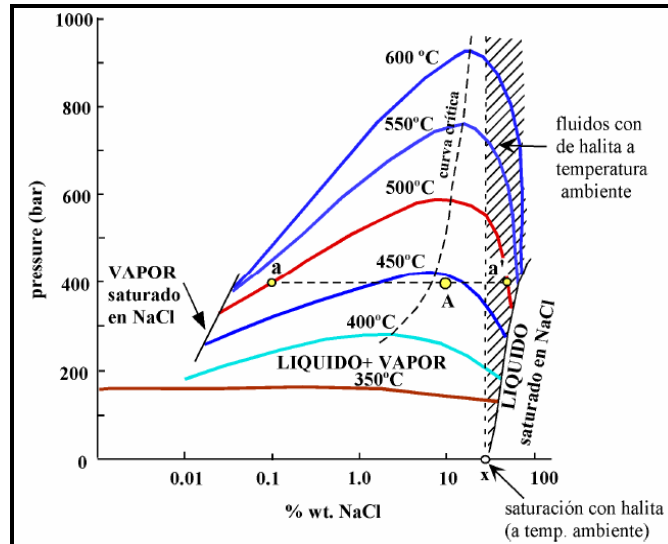
**Figura 67.** Gráfico de Shepperd et al. (1985) indicando las curvas de solubilidad para NaCl y KCl; en el eje X temperatura de disolución de halita o silvita y en el eje Y salinidad del fluido en la inclusión. Tomado de Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile, [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/).



**Figura 68.** Porción del sistema NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O mostrando el cambio en la composición de la solución de inclusiones fluidas que contienen tanto halita como silvita al calentarse. A temperatura ambiente la inclusión líquida está en el límite en A. Al calentarla el KCl se disuelve y la composición de la solución sigue el límite. A los 160°C (punto B) todo el KCl se ha disuelto, restando la solución de composición B y sal de NaCl en la inclusión. Al continuar el calentamiento la solución sigue la línea B-C, hacia el NaCl. En el punto C (330°C), todos los sólidos se habrán disuelto, resultando en una solución de composición C (28% en peso de NaCl, 24% en peso de KCl y 48% en peso de H<sub>2</sub>O). Tomado de Roedder (1984).

## Presión: Profundidad de Atrapamiento

Si existió ebullición coexistirán IF ricas en líquido con inclusiones ricas en vapor y ambas deberían homogenizarse dentro de un mismo rango de temperatura tanto a líquido como a vapor respectivamente. Dadas estas condiciones la presión de vapor puede usarse para estimar la profundidad de atrapamiento (presión) asumiendo condiciones de presión hidrostática (sistema hidrológico abierto hacia la superficie) (Figura 69).



**Figura 69.** Isotermas del sistema H<sub>2</sub>O-NaCl, mostrando la relación existente entre la temperatura de ebullición, la presión en bares y el contenido salino de la solución (X = indica la saturación de la halita a temperatura ambiente). Tomado de Velasco (2004).

En este caso particular la fórmula que relaciona la presión con la profundidad es:

$P = h \rho g$ . Donde:  $h$  = profundidad,  $P$  = presión,  $\rho$  = densidad,  $g$  = aceleración de gravedad.

En la mayoría de los estudios de IF (en casi todos en realidad) la presión no se determina a partir de las inclusiones. Muchas inclusiones son atrapadas a

presiones mayores que su presión de vapor y generalmente la presión a que esto ocurrió se determina a partir de evidencias geológicas independientes de la profundidad de la cubierta al tiempo del atrapamiento. Entonces esta presión se usa junto con datos termodinámicos para soluciones apropiadas para calcular la corrección por presión. Sin embargo, normalmente habrá incertidumbre en la composición del fluido y a priori no se puede asegurar si la inclusión fluida fue atrapada en condiciones hidrostáticas o litostáticas, de modo que habitualmente esta condición debe ser supuesta. Consecuentemente, generalmente la geobarometría de IF es poco precisa y no es exacta ya que algunos de los métodos comunes usados para determinar presión de inclusiones fluidas dan valores de presión erróneos (Roedder, 1984).

#### **4.4.2 Petrografía de inclusiones fluidas.**

Se analizaron en total 6 láminas (ver Tabla 5) doblemente pulidas de materiales de relleno (calcita, dolomita, Esmeralda, Fluorita) de venas hidrotermales y brechas. 5 de estas láminas delgadas doblemente pulidas son muestras asociadas con mineralización de esmeralda las cuales corresponden a muestras adquiridas en el campamento minero del sector de Buenavista (muestras COR 029 001, COR 029 002<sup>a</sup>, COR 029 002G, COR 029 002H, COR 029 00H). La lamina doblemente pulida restante (Muestra COR 016 021A) pertenece a una muestra correspondiente al muestreo de la columna levantada previamente por el INGEOMINAS (**Sección 1**),

En la Tabla 6 se presenta, de manera resumida, los análisis petrográficos de IF, mostrando las características más relevantes de su estudio.

**Tabla 5.** Localización y descripción de las muestras doblemente pulidas para estudios de petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas.

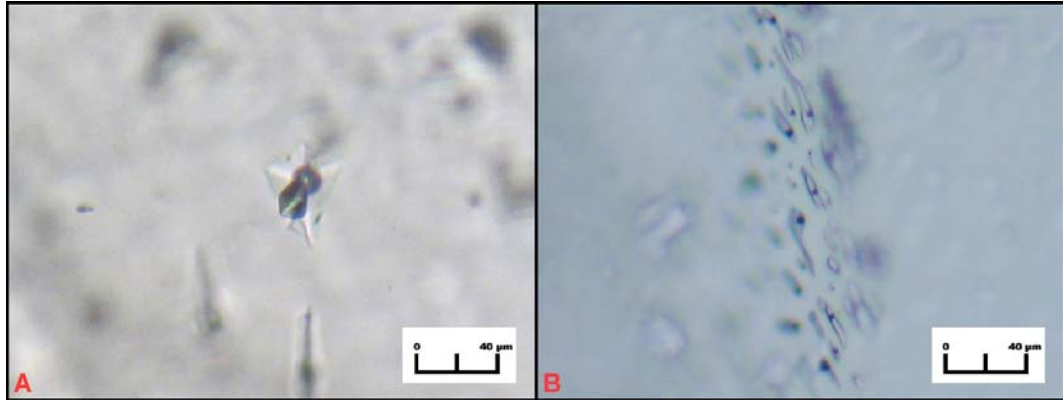
Unidad	Lamina	Plancha	Coordenadas	Localización	Descripción
Formación Bata	COR 029 001	229 I D	Norte (X): 1015466; Este (Y): 1067483	Campamento minero del sector de Buenavista, Municipio de Ubalá, Dpto. de Cundinamarca	Fluorita *
	COR 029 002G				Calcita + 2 cristales de Esmeralda.
	COR 029 002H				Calcita + Esmeralda + Pirita.
	COR 029 002A				Ronca caja y vena de Dolomita.
	COR 029 002I				Calcita + Esmeralda.
	COR 016 021A			Columna de la Formación Batá, sección Buenavista	Brecha tectónica hidrotermal con vena de Dolomita.

\*La fluorita ha sido reportada en el área por los mineros, pero no fue identificada durante los trabajos de campo. Sin embargo, para poder establecer relaciones entre sus fluidos atrapados y aquellos presentes en los materiales hidrotermales asociados a la mineralización de esmeraldas, se decidió analizarla.

### **Muestra COR 029 001**

Los análisis petrográficos de las inclusiones de las muestras de esta lámina arrojaron los siguientes resultados.

Se identificó una familia de inclusiones secundarias polifásicas (Figura 70A) de formas variadas con tamaños variados entre 5 y 90  $\mu\text{m}$  están compuestas por, cristales hijos de halita (25%) (Tipo III) y algunos otros sólidos, las burbujas son oscuras y ocupan un 25 % del volumen de la inclusión, y el líquido ocupa un 50%. La segunda familia esta compuesta por inclusiones secundarias bifásicas alargadas dispuestas a manera de caminos (ver Figura 70B), con tamaños que varían entre los 5 y 50  $\mu\text{m}$  algunas con burbujas móviles que ocupan el 10 % del volumen de la inclusión, mientras que el líquido ocupa el 90% restante.

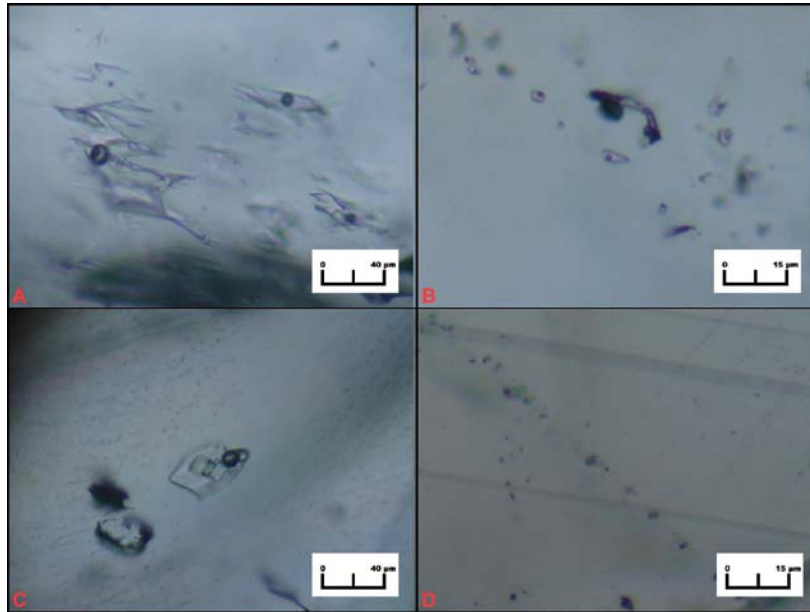


**Figura 70. A.** Fotografía de Inclusiones polifásicas primarias con cristales hijos de halita en la fluorita. **B.** Fotografía de Inclusiones bifásicas secundarias en la fluorita. Lamina № COR 029 001.

### **Muestra COR 029 002H**

En la esmeralda se encuentran dos familias de inclusiones principalmente, unas primarias polifásicas tipo III, con tamaños entre los 10 y las 90 µm con su fase de vapor ocupando el 20 %, el cristal de halita un 10% y la salmuera el 70% (ver Figura 71A). Las secundarias son también polifásicas con tamaños menores a las 30 µm, dispuestas a manera de caminos, la distribución de las fases es la siguiente burbuja 10%, halita 20% y la salmuera 70% (ver Figura 71B)

En la calcita también se identifican dos familias: una primaria con tamaños entre las 20 y 30 µm polifásicas tipo III, donde su fase de vapor ocupa el 20%, la halita 20% y la salmuera 60 %. La segunda familia corresponde genéticamente a inclusiones secundarias sanando fracturas con tamaños menores a 7 µm, polifásicas tipo III, con movimiento de la fase de vapor que ocupa el 20% de la inclusión, cubos de halita 20% y la salmuera 60%.

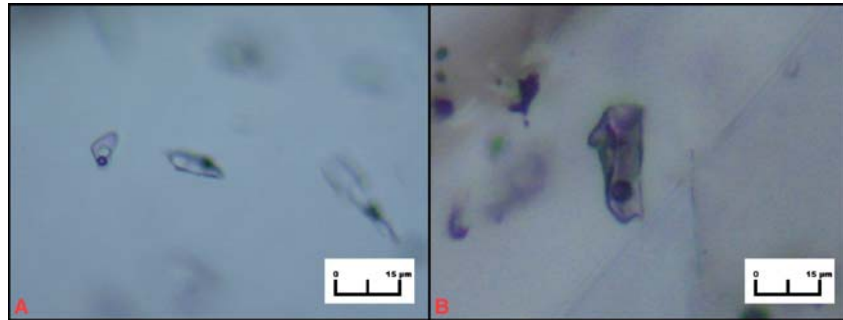


**Figura 71.** **A.** Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la esmeralda. **B.** Inclusiones fluidas secundarias polifásicas en la esmeralda. **C.** Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la calcita. **D.** Inclusiones fluidas secundarias polifásicas en la calcita. Lamina № COR 029 002H.

### **Muestra COR 029 002G:**

En la esmeralda se encuentran inclusiones con tamaños entre los 20-30  $\mu\text{m}$  de carácter primario, polifásicas tipo III, sus fases se distribuyen de la siguiente manera la fase de gas 10%, la halita 15% y la salmuera 75% (ver Figura 72A).

En la calcita se identifican 2 familias: unas primarias polifásicas tipo III, de tamaños entre 10 y 24  $\mu\text{m}$  con una distribución de fases de vapor 15%, halita 20% y la salmuera 65% (ver Figura 72B). Las inclusiones de carácter secundario presentan tamaños menores de 15  $\mu\text{m}$ . La fase de vapor que ocupa un 20% presenta leve movimiento, el sólido es un cubo de halita que ocupa un 20% y la salmuera el 60%.

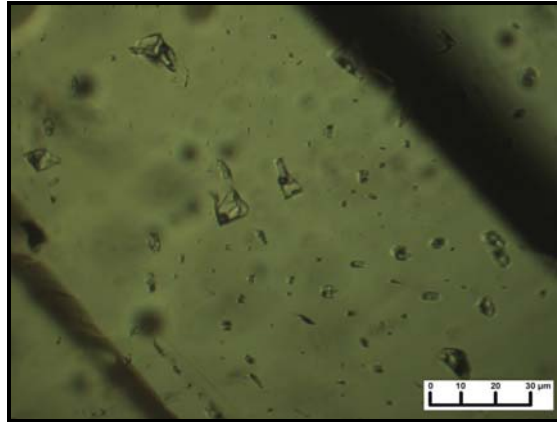


**Figura 72. A.** Asociación de inclusiones fluidas primarias polifásicas en la esmeralda. **B.** Inclusiones fluidas primarias polifásicas en la calcita. Lamina № COR 029 002G.

### **Muestra COR 016 021A**

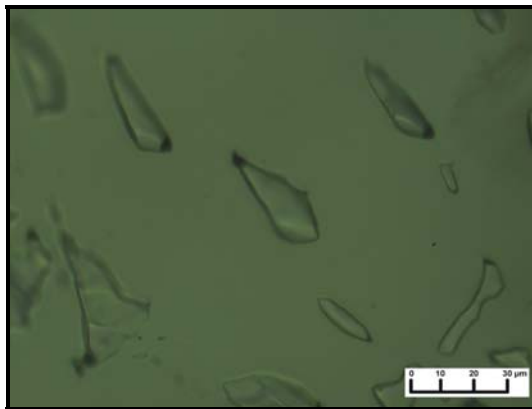
Lámina que corresponde a una brecha compuesta por cristales de calcita – dolomita y fragmentos angulares de lodolita carbonosa, agrupados en dos sectores bien diferenciados:

Un sector está formado por cristales euhedrales y subhedrales de calcita – dolomita asociados en agregados granulares; en estos cristales se observan familias de inclusiones primarias polifásicas tipo III, (Figura 73) de formas regulares e irregulares con bordes rectos. Algunas inclusiones pertenecientes a estas familias se encuentran afectadas por procesos de estrangulamiento (“*necking down*”). El tamaño de las inclusiones oscila entre 30 y 48 µm y tienen las siguientes distribuciones de fases: vapor 13%, halita 14%, salmuera 73%.



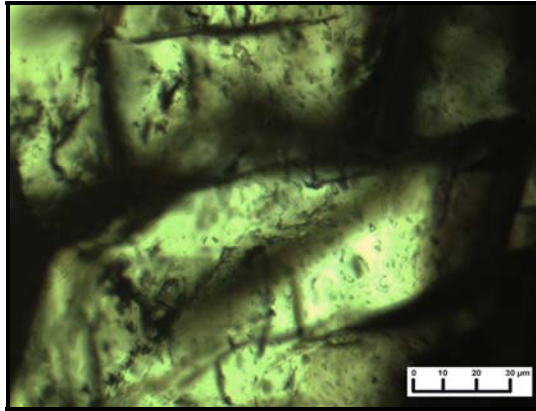
**Figura 73.** Familia de inclusiones fluidas polifásicas en Calcita. Lamina № COR 016 021A.

En los cristales de calcita- dolomita también se observa la presencia de familias de IF secundarias bifásicas tipo I (Figura 74) y monofásicas de forma irregular, cuyo tamaño oscila entre 27 y 62  $\mu\text{m}$ . La fase de vapor ocupa un 5% mientras que la salmuera ocupa un 95%.



**Figura 74.** Familia de inclusiones bifásicas secundarias en Calcita. Lamina № COR 016 021A.

El otro sector está formado por cristales de calcita- dolomita asociados con pirita y rodeando a fragmentos angulares de la roca encajante, se observa la presencia de familias de inclusiones fluidas bifásicas tipo I, de carácter genético secundario (Figura 75) con las mismas características de las IF del otro sector.

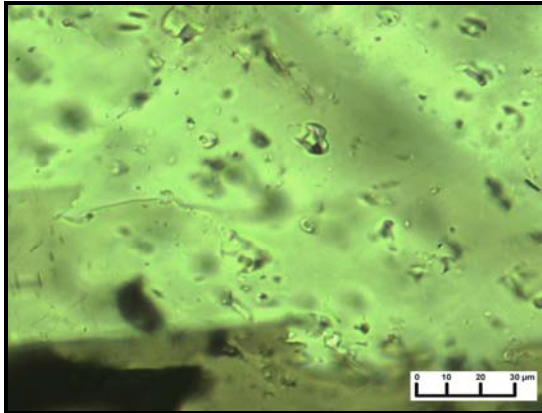


**Figura 75.** Familia de inclusiones fluidas bifásicas secundarias en calcita. Lamina № COR 016 021A.

Cabe mencionar y recalcar que durante la petrografía de inclusiones fluidas de este cuerpo brechado no se observaron evidencias de coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor en las cuales el atrapamiento fue contemporáneo, las cuales se relacionan a fenómenos de ebullición del paleofluido mineralizador.

### **Muestra COR 029 002I**

Lámina que corresponde a una vena de calcita formada por cristales euhedrales y subhedrales que se encuentran asociados en agregados granulares; se observan en los cristales familias de inclusiones primarias polifásicas, tipo III (Figura 76) de formas regulares e irregulares formadas por: líquido, vapor, halita y sólidos heredados; algunas de estas inclusiones pertenecientes a estas familias se encuentran afectadas por procesos de estrangulamiento (“necking down”). El tamaño de estas inclusiones varía entre 6 y 19  $\mu\text{m}$ , la distribución de las fases es: vapor 14%; halita 17%; salmuera (líquido) 69%.



**Figura 76.** Familia de inclusiones fluidas primarias polifásicas en cristal de calcita. Lamina № COR 029 0021.

#### **4.4.3 Estudio microtermométrico de inclusiones fluidas.**

El análisis microtermométrico se realizó a las 5 láminas antes mencionadas. El estudio realizado es de carácter preliminar y consistió en la toma los datos de temperatura de los cambios de fases de las IF, durante su enfriamiento y posterior calentamiento. Las siguientes son las abreviaturas utilizadas para relacionar las diferentes temperaturas a las cuales sucedieron los cambios de fases en las IF:

**Tpf<sub>v</sub>** = primera fusión detectable del vapor.

**Tpf<sub>L</sub>** = primera fusión detectable del líquido.

**Tffhh** = temperatura de la fusión final de la hidrohalita.

**Tffi** = temperatura de fusión final del hielo.

**Tfc** = temperatura de fusión del clatrato.

**Tfh** = temperatura de fusión de la halita.

**Th** = temperatura de homogenización total del fluido.

**Td** = temperatura de decrepitación.

Estas temperaturas permitieron identificar en algunos casos un sistema composicional preliminar pero dominante para cada una de las muestras, además de su densidad y temperatura de atrapamiento (Th).

El análisis microtermométrico presentó diversas dificultades las cuales limitaron la cantidad de datos obtenidos, la mayor de ellas la alta densidad de la mayoría de las inclusiones (inclusiones polifásicas con cristales de halita) que provocan la decrepitación de las inclusiones antes de su homogenización o de la fusión de la halita y la dificultad para congelarse. Teniendo presente esta dificultad a continuación se presentan los resultados de las mediciones obtenidos en las IF (ver Tabla 7).

### **Muestra COR 029-001**

Los primeros ensayos de microtermometría muestran que las inclusiones polifásicas secundarias grandes presentan primera fusión detectable del líquido alrededor de los  $-52^{\circ}\text{C}$  aproximadamente lo cual indica la presencia de iones  $\text{Ca}^{++}$ , después de esto la inclusión presentó una fusión a los  $6.8^{\circ}\text{C}$  posiblemente fusión de clatratos aunque no se detectó fusión de la fase de vapor a los  $-56.6^{\circ}\text{C}$ , durante el calentamiento las inclusiones se comportaron normalmente hasta los  $178^{\circ}\text{C}$  cuando decrepitaron a pesar de una tasa de calentamiento de 1 grado centígrado por minuto, las inclusiones que presentan mayores tasas de decrepitación a menores temperaturas son aquellas que son de tamaños mayores a  $20\ \mu\text{m}$ . Finalmente las inclusiones han continuado decrepitando antes de la homogenización de la fase de vapor y la fusión de la halita pero las temperaturas de decrepitación indican que estas fusiones se encuentran por encima de los  $350^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 6.** Resultados de análisis petrográficos de IF.

UNIDAD	MUESTRA	MINERAL	FASES %				TIPO GENETICO	TAMAÑO $\mu\text{m}$	MOVIMIENTO BURBUJA
			L	V	S1	S2			
Formación Bata	COR 029-002G	ESMERALDA	75	10	15	-	PRIMARIAS	20-30	NO
		CALCITA	60	20	20	-	SECUNDARIAS	<15	SI
	COR 029-002H	ESMERALDA	70	20	10	-	PRIMARIAS	10-90	NO
			70	10	20	-	SECUNDARIAS	5-30	NO
		CALCITA	60	20	20	-	PRIMARIAS	20-30	NO
			60	20	20	-	SECUNDARIAS	< 7	SI
	COR 029-001	FLUORITA	60	20	20	-	SECUNDARIAS	12-36	NO
			90	10	-	-	SECUNDARIAS	5-50	SI
	COR 029 002I	CALCITA	69	14	17	-	PRIMARIAS	6-19	NO
	COR 016 021A	DOLOMITA	73	13	14	-	PRIMARIAS	30-48	NO
			95	5	-	-	SECUNDARIAS	27-66	NO

Por otra parte las inclusiones bifásicas de la fluorita presentaron primera fusión detectable de la fase líquida alrededor de los  $-50^{\circ}\text{C}$ , que indica la presencia de iones  $\text{Ca}^{++}$ , la fusión final de la hidrohilita ocurrió a los  $-30^{\circ}\text{C}$  seguida por la fusión del hielo a los  $-1^{\circ}\text{C}$  la homogenización de estas inclusiones a líquido se presentó a temperaturas entre los  $121.5$  y los  $126.5^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestra COR 029-002H**

Las inclusiones primarias polifásicas de la calcita en el enfriamiento muestran temperaturas eutécticas alrededor de los  $-50^{\circ}\text{C}$  con fusiones finales de la hidrohilita alrededor de los  $-33^{\circ}\text{C}$ , en el calentamiento las inclusiones alcanzan primero la homogenización de la halita a los  $215^{\circ}\text{C}$  pero posteriormente decrepitó antes de la homogenización de la burbuja a los  $221^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestra COR 029-002G**

Durante el enfriamiento la esmeralda no presentó signos de congelamiento por esta razón no se tomaron temperaturas de los cambios de fase a bajas temperaturas; durante el calentamiento las inclusiones primarias polifásicas presentaron homogenización primero de la burbuja entre los  $168$  y los  $201^{\circ}\text{C}$ , la halita entre los  $300$  y los  $328^{\circ}\text{C}$  que corresponde a salinidades entre los  $35.4$  y  $37.9\%$  en peso de  $\text{NaCl}$ , respectivamente.

En la calcita se lograron medir hasta el momento las inclusiones secundarias que alcanzan temperaturas de homogenización del vapor a una temperatura de  $132^{\circ}\text{C}$  y posteriormente homogenización de la halita a los  $196^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestra COR 016 021A**

Lámina que corresponde a una brecha compuesta por cristales de calcita – dolomita y fragmentos angulares de lodolita carbonosa.

Al efectuar la microtermometría a IF primarias y secundarias de cristales de calcita – dolomita se observaron dos comportamientos distintos:

Las IF primarias polifásicas registraron temperaturas eutécticas alrededor de  $-51^{\circ}\text{C}$  sugiriendo la presencia de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{K}^{+}$  en la salmuera; las inclusiones medidas decrepitaron entre  $243^{\circ}\text{C}$  y  $267^{\circ}\text{C}$  no obteniéndose datos de homogenización ni de disolución de halita.

Las inclusiones fluidas secundarias al ser sometidas a enfriamiento no congelaron por ende no pudiéndose obtener datos de temperaturas eutécticas ni de fusión final del hielo; al ser calentadas posteriormente estas IF homogenizaron a líquido en dos intervalos de temperaturas uno entre  $271^{\circ}\text{C}$  y  $278^{\circ}\text{C}$  y el otro entre  $376^{\circ}\text{C}$  y  $385^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestra COR 029 002I**

Lámina que corresponde a un fragmento de vena de calcita; al realizar los ensayos de microtermometría a inclusiones primarias polifásicas contenidas en cristales de calcita, se observa que aparentemente estas no congelaron o el índice de refracción del hielo era demasiado bajo para poder distinguirlos de la salmuera; debido a estos no se pudieron obtener datos de temperatura eutéctica ni de fusión de la hidrohalita, en el posterior calentamiento estas decrepitaron a  $263^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.4.4 Interpretación preliminar.

Los datos fisicoquímicos obtenidos para estas muestras revelan que los sistemas acuosos que rellenaron las venas, comprenden eventos que alcanzaron temperaturas de atrapamiento, entorno los 330°C hasta alcanzar temperaturas de 215°C.

Existe la sospecha de que las inclusiones fluidas hospedadas en carbonatos hallan podido sufrir una pequeña fuga, aumento de volumen o decrepitación imperceptible, debido a que las inclusiones se localizan preferencialmente en planos de exfoliación y de macla (fronteras cristalinas). Por lo tanto los datos no correlacionan con los datos de microtermometría en inclusiones fluidas hospedadas en esmeralda parecen ajustarse a las T reales del paleofluido y las mediciones han sido exitosas debido a las mejores condiciones de los cristales.

Las temperaturas de homogenización de halita (Thh), en IF hospedadas en esmeralda indican salinidades entre los 35.4 y 37.9% en peso de NaCl. Mientras que las temperaturas de homogenización de halita (Thh) en IF hospedadas en carbonatos, indican salinidades de 29.5% en peso de NaCl.

Las temperaturas eutécticas determinadas, sugieren que el sistema acuoso esta compuesto fundamentalmente por: **H<sub>2</sub>O + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> ± KCl**. Sin embargo, en estudios elaborados en Universidad de Virginia Tech, Estados Unidos por el grupo **MINPETGEO** (Grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica de la Escuela de Geología, Universidad Industria del Santander) con la técnica *láser ablation ICP-MS* en inclusiones fluidas hospedados tanto en carbonatos como en berilos, indican que la composición del fluido mineralizante es aun mas compleja, siendo posible relacionarlo con el siguiente sistema químico: **H<sub>2</sub>O + NaCl + CaCl<sub>2</sub> + KCl + FeCl<sub>2</sub> + LiCl + (±CsCl,**

**GaCl<sub>3</sub>) + CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>** (Datos inéditos-Grupo de trabajo dirigido por el profesor Luís Carlos Mantilla F.).

Las IF en las fluoritas definitivamente corresponden a un fluido hidrotermal diferente, mas frío y posiblemente posterior a la mineralización esmeraldífera.

La petrografía de inclusiones fluidas de la lamina COR 016 021A, que corresponde a una brecha compuesta por cristales de calcita – dolomita y fragmentos angulares de lodolita carbonosa, no se observo coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor, las cuales son evidencia de fenómenos de ebullición del paleofluido mineralizador. Esto apoya la hipótesis planteada en el apartado de petrografía, respecto a que la brechificación de la roca no esta ligada a procesos de ebullición del paleofluido.

**Tabla 7.** Resultados del análisis microtermométrico en inclusiones fluidas. **Tpfl** = Temperatura de la primera fusión detectable del líquido, **Tfc** = Temperatura de fusión del clatrato, **Tfhh** = Temperatura de fusión final de la hidrohalita, **Tffi** = Temperatura de fusión final del hielo, **Thh** = Temperatura de homogenización de la halita, **Th<sub>-L</sub>** = temperatura de homogenización a líquido, **Td** = Temperatura de decrepitación.

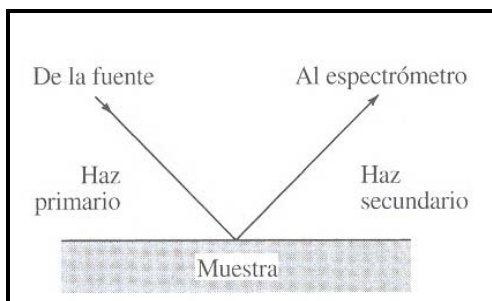
UNIDAD	MINERAL	MUESTRA	TIPO GENÉTICO	Tpfl (°C)	Tfhh (°C)	Tffi (°C)	Tfh (°C)	Th <sub>-L</sub> (°C)	Td(°C)	
Fm. Bata	CALCITA	COR 029-002H	PRIMARIAS (POLIFÁSICAS)	-50	-33	-	215	-	221	
	ESMERALDA	COR 029-002G	PRIMARIAS (POLIFÁSICAS)	-	-	-	300-328 (313)	168-201	-	
	CALCITA		SECUNDARIAS (POLIFÁSICAS)	-	-	-	196	132	-	
	FLUORITA	COR 029-001	SECUNDARIAS (POLIFÁSICAS)	-52	-	Tfc=6.8	-	-	178-350	
			SECUNDARIAS (BIFÁSICAS)	-50	-30	-1	-	121.1-126.5	-	
	CALCITA	COR 029-002I	PRIMARIAS (POLIFÁSICAS)	-	-	-	-	-	263	
	DOLOMITA	COR 016 021A	PRIMARIAS (POLIFÁSICAS)	-51.1 -51.5	-	-	-	-	-	242.9 251.6 266.9
			SECUNDARIAS (BIFÁSICAS)	-	-	-	376 a 385.2 270.9 a 278,1	-		

## 4.5 ESTUDIO DE LA QUÍMICA MINERAL.

### 4.5.1 Consideraciones previas.

Los métodos espectroscópicos de superficies informan tanto cualitativa como cuantitativamente sobre la composición química de la capa superficial de un sólido que tiene unos pocos angstroms de espesor.

La Figura 77 muestra la manera general de llevar a cabo el examen espectroscópico de una superficie. Una muestra se irradia con un haz primario ya sea de fotones, electrones, iones o moléculas neutras. El impacto de este haz primario genera un haz secundario ya sea también de fotones, electrones, iones o moléculas neutras de la superficie del sólido. Hay que señalar que el tipo de partícula que forma el haz primario no tiene necesariamente que ser del mismo tipo del haz secundario. El haz secundario es una respuesta de un proceso de dispersión de evaporación por bombardeo (sputtering), o de emisión, que estudia por diversos métodos de espectroscopia (Skoog *et al.*, 2001).



**Figura 77.** Esquema general de la espectrometría de superficies. El haz puede ser de fotones, electrones o iones. Tomado de Skoog *et al.* (2001).

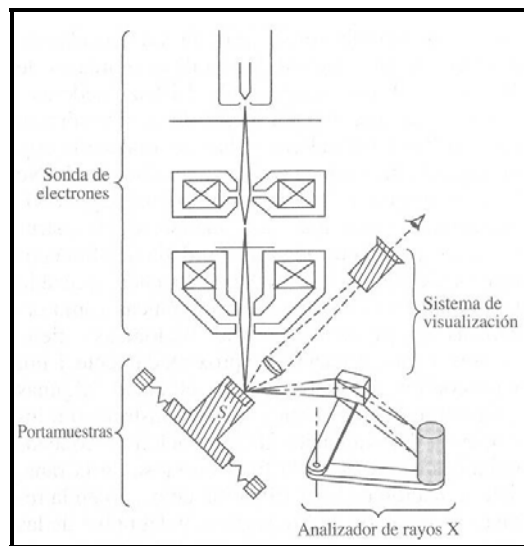
La microsonda electrónica constituye uno de los diversos métodos de espectroscopia de superficies. El análisis de microsonda electrónica es una técnica no destructiva de análisis elemental muy valiosa en mineralogía y petrología, la cual permite el análisis químico cualitativo y cuantitativo de sustancias sólidas a escala micrométrica (Castellanos y Ríos, 2005).

Con la microsonda de electrones se estimula la emisión de rayos X mediante el enfoque de un haz estrecho de electrones acelerados entre 15 y 35 keV y focalizados en un diámetro que oscila entre 1 y 2  $\mu\text{m}$  sobre la superficie de la muestra (Castellanos y Ríos, 2005). La emisión de los rayos así originados se detecta y analiza bien con un espectrómetro dispersivo de longitudes de onda o de energías. Permite la determinación de todos los elementos arriba del número atómico 10 con una gran precisión y sensibilidad, aunque con una menor sensibilidad para aquellos entre con número atómico entre 5 y 10 (H, He y Li no son detectados); límites de detección (típicamente en la región de 50 ppm) lo suficientemente bajos para facilitar la determinación de elementos menores y trazas en muchos casos.

### **Instrumentos:**

La Figura 78 muestra el esquema de un sistema de microsonda de electrones. El instrumento emplea 3 haces de radiación integrados, que son electrones, luz y rayos x. Además, es necesario crear un sistema de vacío que proporcione una presión inferior de  $10^{-5}$  torr y un espectrómetro de rayos x dispersivo de longitudes de onda o de energías, o en sus siglas en inglés WDS y EDS respectivamente, de los cuales hablaremos un poco más adelante (en la Figura 2 se muestra un sistema dispersivo de longitudes de onda). El haz de electrones se origina por calentamiento de un cátodo de wolframio u aceleración hacia el ánodo (no mostrado). Dos lentes, electromagnéticas enfocan el haz sobre la muestra, el

diámetro del haz esta comprendido entre 0.1 - 1 $\mu$ m. Se utiliza un microscopio óptico adicional para localizar el área que se bombardea. La fluorescencia de rayos X originada por el haz colimado de electrones se dispersa por un monocristal y finalmente se detecta por un detector de gases. Es necesario un esfuerzo considerable para diseñar la disposición espacial de los 3 haces de tal manera que no se interfieran unos con otros (Skoog *et al.*, 2001).

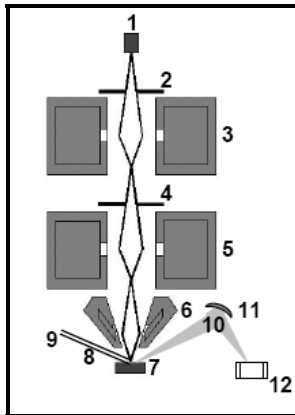


**Figura 78.** Vista esquemática de un instrumento de microsonda de electrones. Tomado de Skoog *et al.* (2001).

Además de los componentes anteriores, el portamuestras está provisto de un mecanismo por el cual la muestra puede desplazarse en dos direcciones perpendicularmente entre sí y rotarse también, permitiendo así el barrido de la superficie.

### Sistema óptico EOS:

El sistema óptico EOS consiste de un cañón de electrones y una serie de lentes condensadoras y aperturas (Figura 79). Normalmente, se utiliza un filamento de tungsteno en el cañón de electrones para generar un haz de electrones por emisión termoiónica, el cual es dirigido a través de una cámara de vacío con ayuda de las lentes condensadoras y aperturas, y luego enfocado sobre la superficie de la muestra.



**Figura 79.** Diagrama esquemático del sistema óptico EOS de una microsonda electrónica. **1.** Filamento, **2.** Apertura del disparo, **3.** Primera lente condensadora, **4.** Apertura final, **5.** Segunda lente condensadora, **6.** Lente objetivo, **7.** Muestra, **8.** Electrones retrodispersados, **9.** Electrones secundarios, **10.** Rayos X característicos, **11.** Espejo, **12.** Detector de Rayos X. Tomado de Castellanos y Ríos (2005).

### Espectrómetro dispersor de longitud de onda (WDS).

Es usado para análisis cuantitativos, y consta de un monocrómetro y un detector. El monocrómetro es un cristal que dispersa los rayos-X según la ley de reflexión de Bragg. La mayoría de microsondas electrónicas están equipadas con varios cristales de diferente espaciamiento  $d$  para permitir el análisis de un amplio rango de longitudes de onda de rayos-X.

Los cristales más comunes son fluoruro de litio (LIF), pentaerythritol (PET) y ftalato ácido de talio (TAP). Estos cristales cubren todas las longitudes de onda de rayos-X generadas por los elementos del  $Z = 5$  (Be) al  $Z = 92$  (U). Para elementos más ligeros, se requiere de un espaciado  $d$  más amplio, para lo cual, en lugar de cristales, es necesario el uso de películas de estearato de plomo o materiales estratificados.

### **Espectrómetro dispersor de energía (EDS).**

Utiliza un detector en estado sólido para analizar simultáneamente todas las energías de los fotones de rayos-X, lo cual es una ventaja para muchas aplicaciones tales como el mapeo composicional, el cual requeriría un largo tiempo usando el WDS. Los detectores del EDS consisten de un detector semiconductor (usualmente de silicio, aunque también de germanio), conectado a un transistor de efecto de campo (FET) que sirve como preamplificador. La absorción de los fotones de rayos-X a través de los cristales detectores conduce a la eyección de un fotoelectrón que precipita la formación de múltiples pares electrón-hueco, los cuales son luego convertidos a un pulso de carga que a su vez es convertido a pulso de voltaje que es amplificado, formado y finalmente analizado por la electrónica asociada.

### **Imágenes.**

La microsonda electrónica permite obtener una gran variedad de imágenes (electrones secundarios, electrones retrodispersados, rayos X) las cuales son utilizadas con el fin de documentar visualmente las características de una muestra.

- **Imágenes de electrones secundarios (SEI):**

Son obtenidas por el detector de electrones secundarios y reflejan el relieve de la muestra. De esta manera la microsonda electrónica trabaja como un microscopio electrónico de barrido (SEM). Las imágenes SEM pueden ser obtenidas para aumentos hasta de 100,000x para especímenes cubiertos con oro, con una resolución de casi 10-20 nm. Sin embargo, en los presentes estudios las láminas delgadas fueron cubiertas con grafito.

- **Imágenes de electrones retrodispersados (BSE):**

Se obtienen por medio del detector de electrones retrodispersados y reflejan la composición química del espécimen. El efecto de los electrones retrodispersados es más fuerte en elementos con masa atómica mayor, así los minerales “pesados” (menas, granate, espinela, etc.) serán más brillantes que los minerales “livianos” (silicatos, etc.). Esta herramienta ayuda a distinguir las diferentes fases minerales y la no homogeneidad en el mineral (Castellanos y Ríos, 2005).

- **Imágenes de rayos-X:**

Son producidas por las señales de salida de los espectrómetros 1-5. Cuando los espectrómetros son calibrados para elementos particulares, la imagen reflejará la concentración de cada elemento en el área escaneada, facilitando así el mapeo de rayos-X del elemento de las fases minerales.

#### **4.5.2 Resultados obtenidos.**

En este apartado se presentan las características geoquímicas de los minerales de relleno de origen hidrotermal del sector de buenavista; para tal fin se analizaron 4 laminas delgadas; COR 029 02B, COR 029 02.1B, COR 016 021A y COR 016 025, en las que se encontraban plagioclasas, carbonatos y berilos que permitirán determinar los tipos composicionales de estos minerales, además de observar su variación química.

Esta técnica también se empleó para determinar la naturaleza cristaloquímica de las especies sólidas de interés y de aquellas que a nivel de microscopía óptica convencional no podían ser identificadas de manera rápida y contundente.

Para el tratamiento de los datos químicos obtenidos por la microsonda electrónica, contó con un software para tratamiento de datos mineralógicos y petrológicos denominado MINPET 2.02.

##### **4.5.2.1 Clasificación mineral de carbonatos.**

En el tratamiento de los datos químicos de carbonatos se utilizaron los diagramas ternarios y binarios en óxidos de CaO, FeO y MgO para determinar qué tipos de carbonatos presenta la roca. También para estos análisis se hizo uso de algunos patrones para determinar aproximadamente los tipos de carbonato en cada análisis. Los patrones consisten de datos químicos de Calcita, Dolomita y Ankerita obtenidos del recurso electrónico *Mineral Data Publishing, version 1* (2001-2005, <http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom>), y los datos corresponden a:

- Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ): **CO<sub>2</sub>** = 44.22; **FeO** = 0.43; **MgO** = 1.74; **CaO** = 53.60. Estos datos corresponde a una calcita de la Formación Monterrey, del estado de California, USA (CO<sub>2</sub> calculado a partir de estequiometria).
- Dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ): **CO<sub>2</sub>** = 47.22; **SiO<sub>2</sub>** = 0.12; **FeO** = 0.22; **MgO** = 21.12; **CaO** = 31.27; **H<sub>2</sub>O** = 0.02. Estos datos corresponden a una Dolomita de Haley, Ontario, Canadá.
- Ankerita ( $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})(\text{CO}_3)_2$ ): **CO<sub>2</sub>** = 42.30; **FeO** = 17.56; **MgO** = 7.73; **CaO** = 27.49; **MnO** = 4.92. Estos datos corresponden a una ankerita de la Formación Sokoman en Canadá, obtenidos por microsonda electrónica, donde el Fe total se da como FeO; el Mn total se da como MnO; El CO<sub>2</sub> por diferencia. La formula química corresponde a  $\text{Ca}_{0.98}(\text{Fe}_{0.49}\text{Mg}_{0.38}\text{Mn}_{0.14})_{\Sigma} = 1.01(\text{CO}_3)_{2.00}$ .

A continuación se presentan las imágenes de retrodispersados de las láminas delgadas estudiadas, mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral, seguido por sus respectivos diagramas ternarios y binarios en óxidos de CaO, FeO y MgO para determinar qué tipos de carbonatos presenta la roca y las variaciones composicionales. En la Tabla 8 se presentan los datos de química mineral obtenidos por la microsonda electrónica con Standard de carbonatos

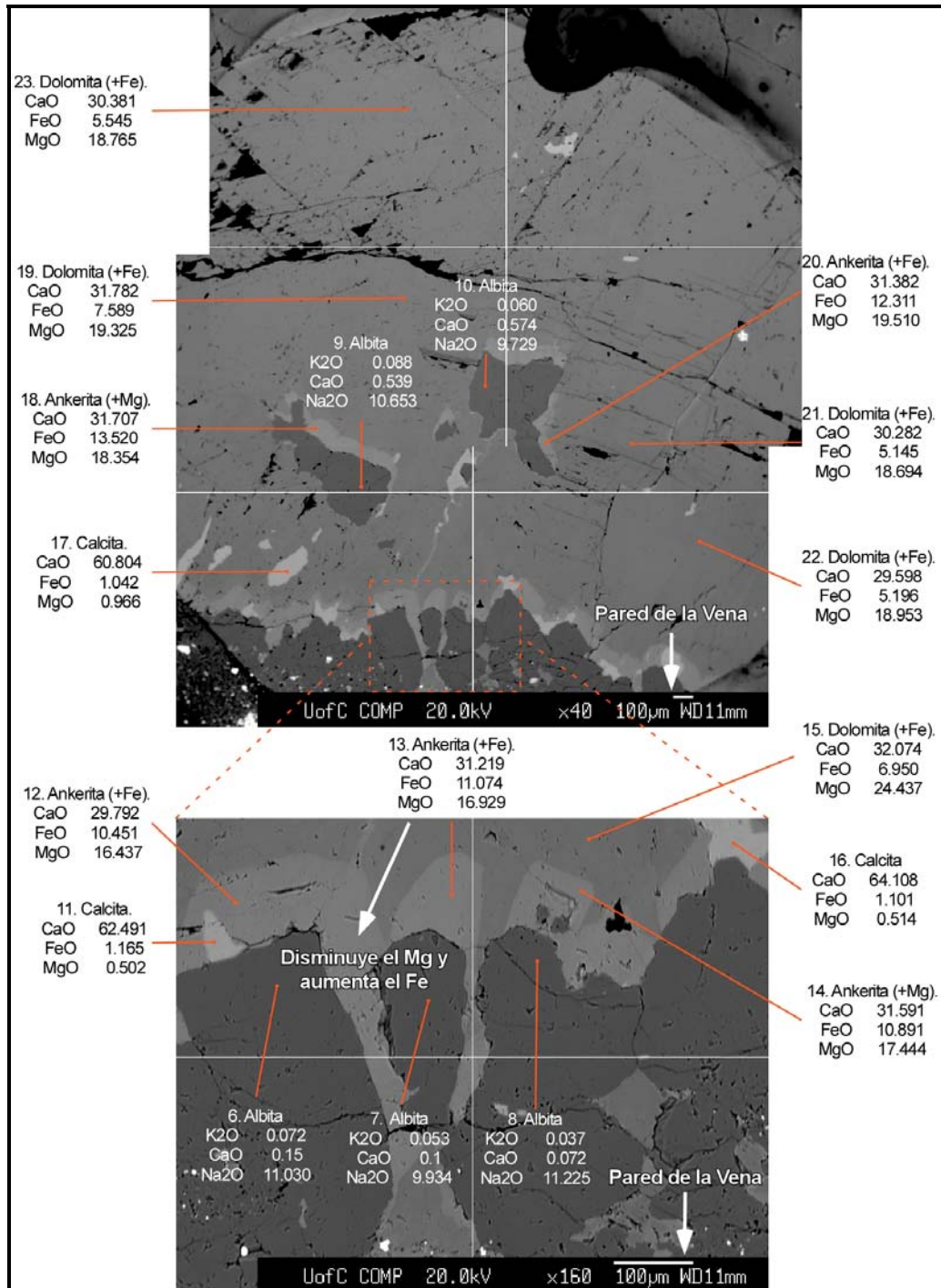
En general en los diagramas ternarios y binarios se ilustra como se presentan variaciones composicionales entre la dolomita y la ankerita, dentro de los carbonatos de las venas muestreadas. La variación comprende desde exclusivamente dolomita (ver Figura 80 y 86, son los mejores ejemplos para exponer el fenómeno) pasando por dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe) en las

Figuras de retrodispersados) y siguiendo por ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg) en las Figuras de retrodispersados) hasta llegar casi al extremo de la serie con ankerita. La calcita parece ser que es posterior, cuando el fluido se enriquece en Ca, y es de los últimos minerales en cristalizar, prueba de ello es una calcita (medida con patrón de plagioclasa) cortando a un cristal de berilo (ver Figura 88 en imagen de retrodispersados y ver Figura 43, la cual es la misma imagen, pero obtenida por microscopía óptica).

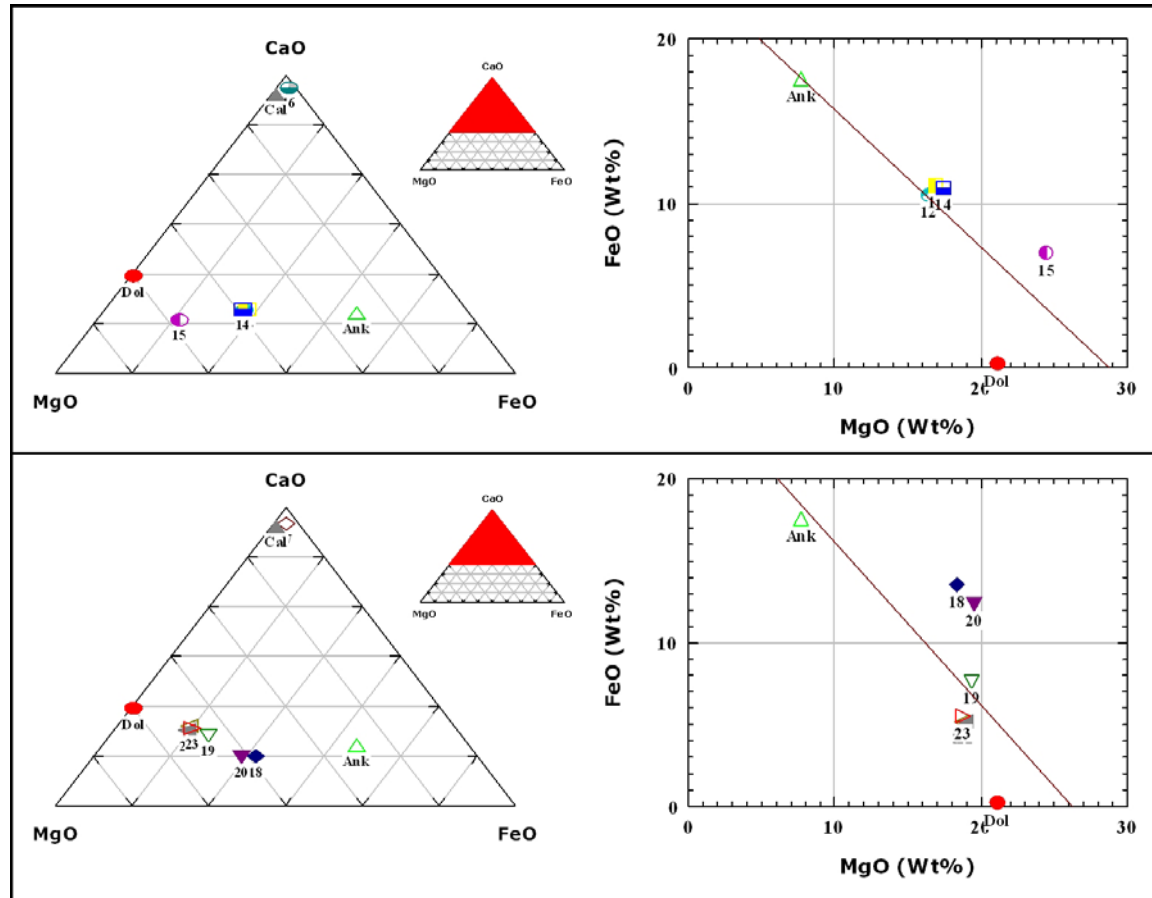
Esta variación química de los carbonatos muestra el comportamiento químico del fluido pues este se empobrece en Mg a medida que la serie de Dolomita-ankerita se ejecuta, para posteriormente enriquecerse en Fe, cristalizando ankerita y pirita. Posteriormente el fluido se enriquece en Ca, el cual hará parte de una calcita, que es posterior a la dolomita-ankerita.

**Tabla 8.** Resultados de química mineral de carbonatos en laminas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Los valores en amarillo corresponden seguramente a plagioclasas, las cuales erróneamente fueron medidas con un carbonato como patrón de referencia (de ahí los valores reportados).

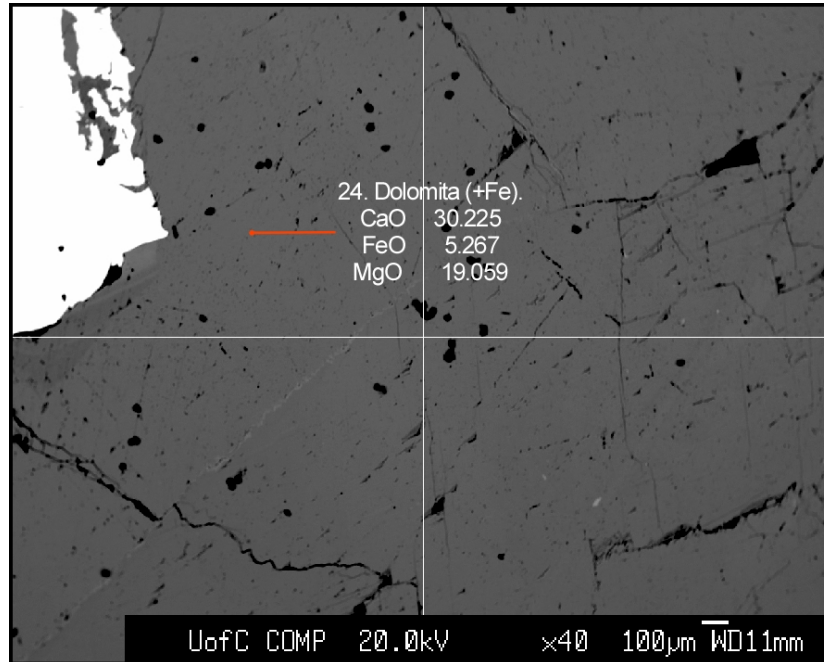
MUESTRA	ANALISIS	OXIDOS (Wt%)											TOTAL
		CaO	FeO	MnO	MgO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	PbO	CO <sub>2</sub>	
COR 016 021AI	1	30.495	3.779	0.207	20.346	0.0000	0.029	0.027	0.012	0.004	0.0000	45.100	99.999
	2	28.462	9.292	0.232	16.201	0.007	0.0000	0.047	0.013	0.0000	0.0000	45.746	100.000
	3	0.197	0.056	0.0000	0.0000	0.04	0.006	0.052	0.0000	0.419	0.0000	99.231	100.001
	4	30.878	1.809	0.18	21.265	0.011	0.033	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	45.825	100.001
	5	28.299	8.476	0.238	16.493	0.019	0.013	0.022	0.029	0.046	0.0000	46.367	100.002
	6	0.161	0.035	0.008	0.0000	0.0000	0.006	0.002	0.014	0.425	0.055	99.294	100.000
	7	28.827	8.315	0.249	16.659	0.026	0.008	0.031	0.0000	0.0000	0.0000	45.885	100.000
	8	29.307	8.092	0.264	16.588	0.041	0.0000	0.042	0.0000	0.0000	0.039	45.627	100.000
	9	0.108	0.013	0.019	0.0000	0.005	0.021	0.01	0.014	0.402	0.0000	99.408	100.000
	10	29.856	5.791	0.221	18.708	0.0000	0.002	0.025	0.035	0.011	0.067	45.284	100.000
	11	30.389	4.685	0.136	19.731	0.0000	0.033	0.0000	0.018	0.013	0.0000	44.995	100.000
	12	29.146	8.284	0.235	16.867	0.001	0.019	0.016	0.032	0.012	0.084	45.302	99.998
	13	29.327	7.718	0.269	17.266	0.005	0.008	0.007	0.044	0.03	0.067	45.257	99.998
	14	0.05	0.335	0.013	0.0000	0.0000	0.06	0.026	0.017	0.401	0.0000	99.098	100.000
	15	29.783	5.739	0.202	18.648	0.018	0.008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	45.603	100.001
COR 029 02B	11	62.491	1.165	0.25	0.502	0.0000	0.018	0.035	0.018	0.043	0.027	35.45	99.999
	12	29.792	10.451	0.46	16.437	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.017	42.843	100.000
	13	31.219	11.074	0.467	16.929	0.013	0.0000	0.0000	0.034	0.0000	0.0000	40.265	100.001
	14	31.591	10.891	0.43	17.444	0.069	0.002	0.009	0.044	0.0000	0.006	39.513	99.999
	15	32.074	6.95	0.216	24.437	0.033	0.015	0.0000	0.029	0.021	0.0000	36.224	99.999
	16	64.108	1.101	0.211	0.514	0.048	0.0000	0.029	0.0000	0.0000	0.0000	33.988	99.999
	17	60.804	1.042	0.154	0.966	0.041	0.0000	0.001	0.01	0.06	0.076	36.846	100.000
	18	31.707	13.52	0.603	18.354	0.001	0.002	0.027	0.031	0.013	0.062	35.679	99.999
	19	31.782	7.589	0.273	19.325	0.004	0.004	0.005	0.006	0.003	0.0000	41.014	100.005
	20	31.382	12.311	0.502	19.51	0.045	0.0000	0.029	0.0000	0.0000	0.0000	36.222	100.001
	21	30.282	5.145	0.193	18.694	0.0000	0.0000	0.030	0.010	0.020	0.084	45.540	99.998
	22	29.598	5.196	0.207	18.953	0.0000	0.006	0.0000	0.0000	0.011	0.034	45.994	99.999
	23	30.381	5.545	0.24	18.765	0.014	0.023	0.028	0.018	0.017	0.011	44.957	99.999
24	30.225	5.267	0.201	19.059	0.0000	0.004	0.0000	0.0000	0.002	0.0000	45.24	99.998	
25	28.932	6.131	0.207	18.441	0.0000	0.015	0.011	0.0000	0.008	0.0000	46.256	100.001	
26	30.254	2.061	0.069	21.773	0.049	0.013	0.008	0.012	0.0000	0.0000	45.762	100.001	
27	30.116	5.294	0.191	19.171	0.054	0.015	0.05	0.0000	0.005	0.0000	45.104	100.000	
28	55.781	0.55	0.113	0.647	0.0000	0.0000	0.004	0.0000	0.0000	0.0000	42.905	100.000	
COR 029 02.1B	1	30.381	1.698	0.336	20.237	0.063	0.0000	0.0000	0.025	0.0000	0.008	47.251	99.999
	2	30.451	0.0000	0.22	21.93	0.0000	0.038	0.017	0.008	0.003	0.054	47.279	100.000
	3	30.518	0.035	0.21	21.711	0.047	0.003	0.037	0.0000	0.0000	0.0000	47.439	100.000
	4	28.679	13.043	0.523	12.331	0.06	0.012	0.0000	0.0000	0.0000	0.046	45.307	100.001
	5	28.254	9.813	0.359	14.868	0.083	0.0000	0.04	0.023	0.006	0.0000	46.553	99.999
	6	0.173	0.069	0.0000	0.008	0.029	0.04	0.038	0.0000	0.38	0.03	99.231	99.998
	7	0.213	0.048	0.023	0.0000	0.041	0.031	0.026	0.038	0.416	0.008	99.231	100.075
	8	27.878	9.293	0.392	15.085	0.013	0.009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	47.333	100.003



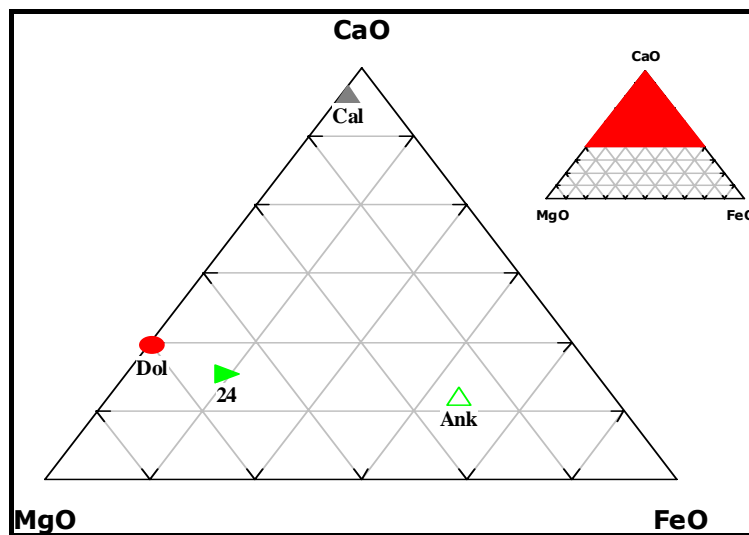
**Figura 80.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



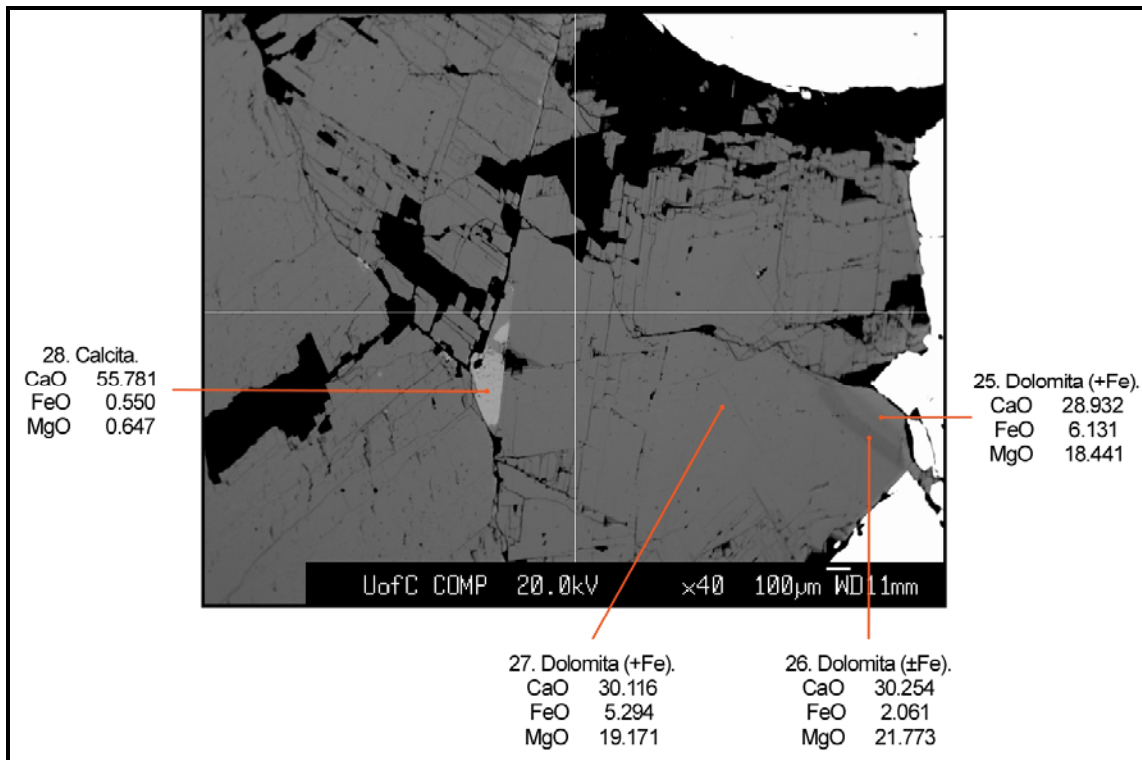
**Figura 81.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 80**.



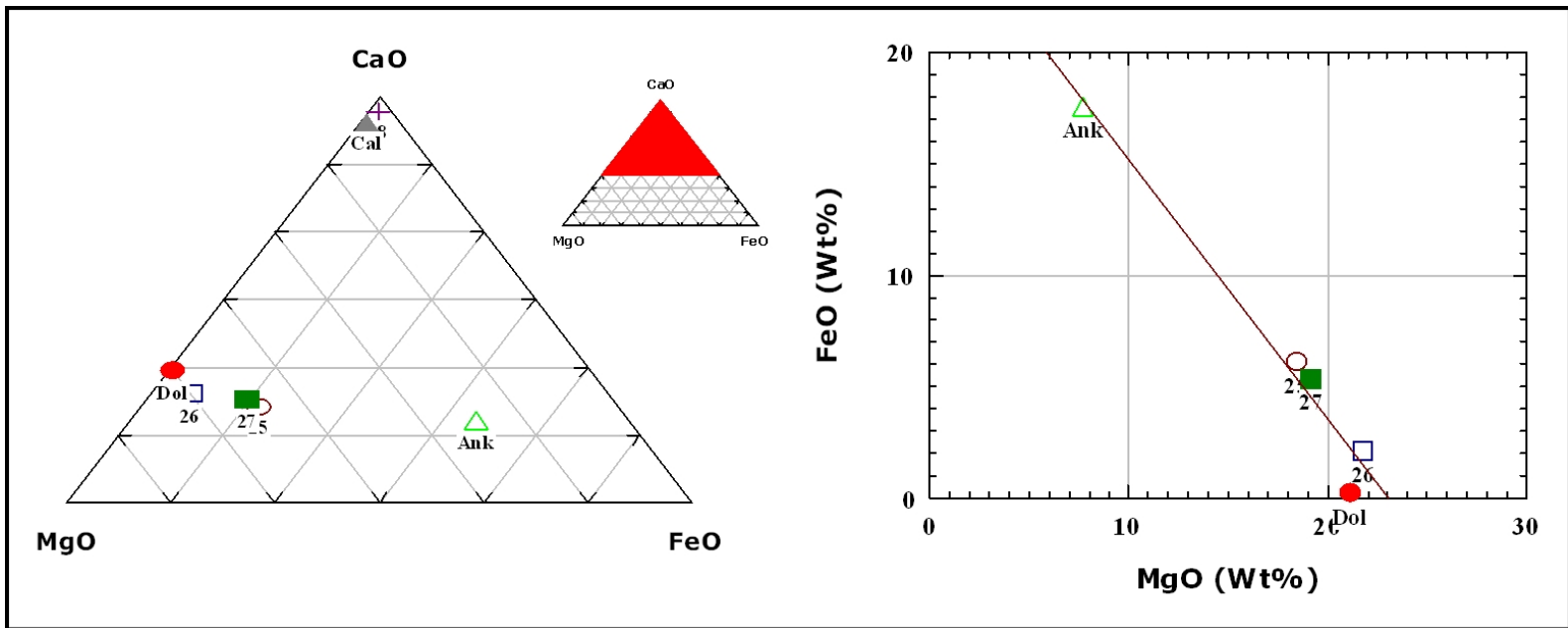
**Figura 82.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizó análisis de química mineral en carbonato con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



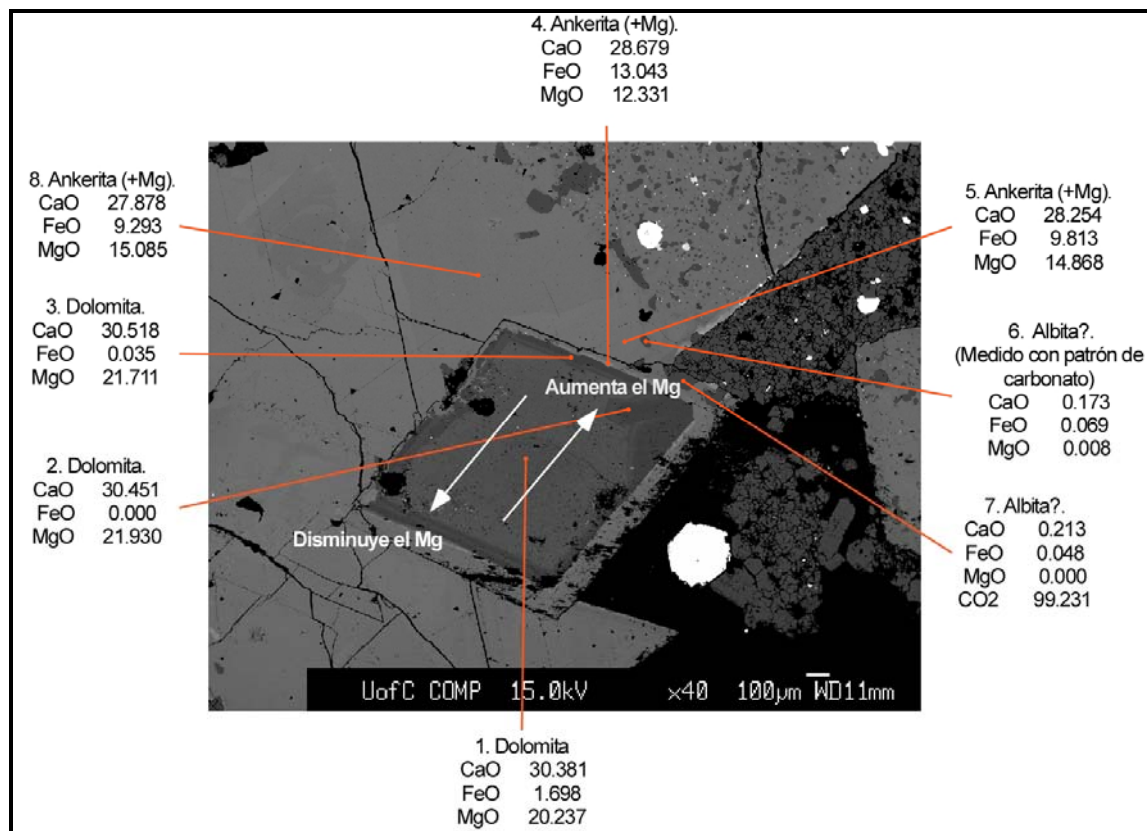
**Figura 83.** Diagrama ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas corresponden a la **Figura 82.**



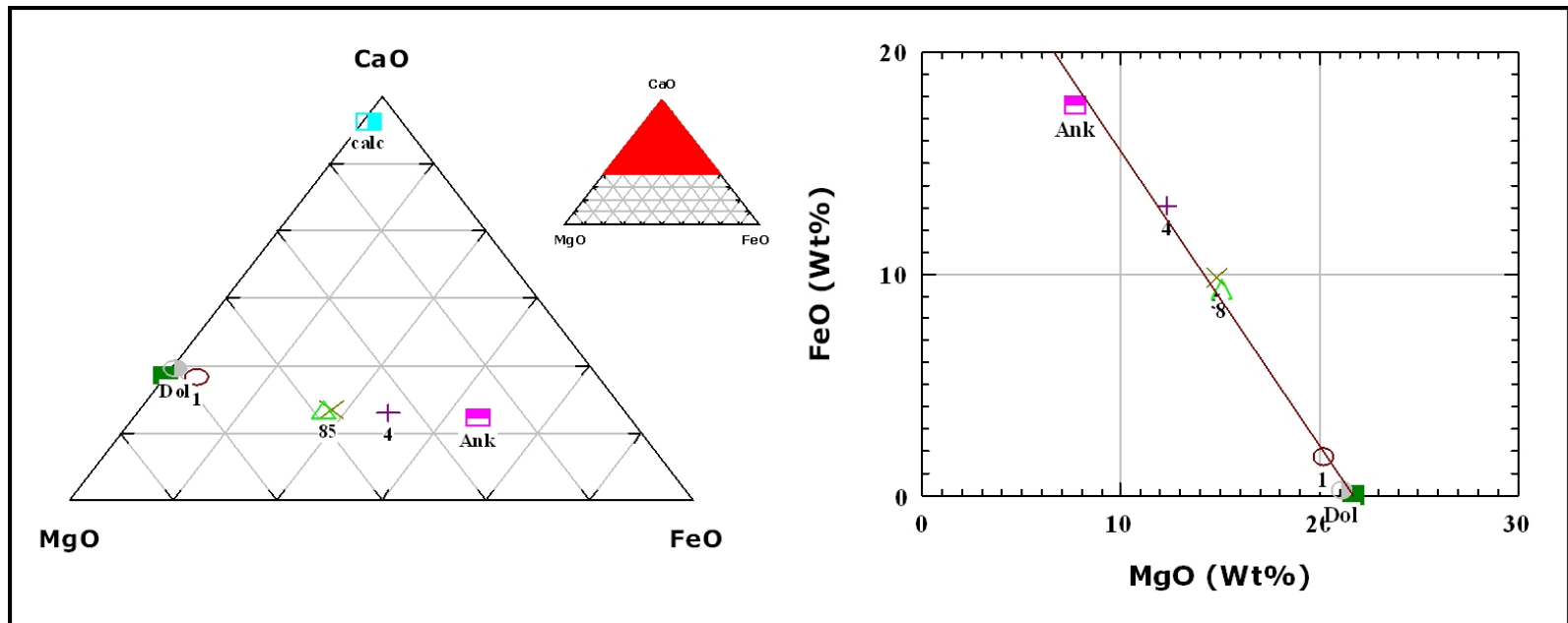
**Figura 84.** Imagen de retrodispersado de la sección COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



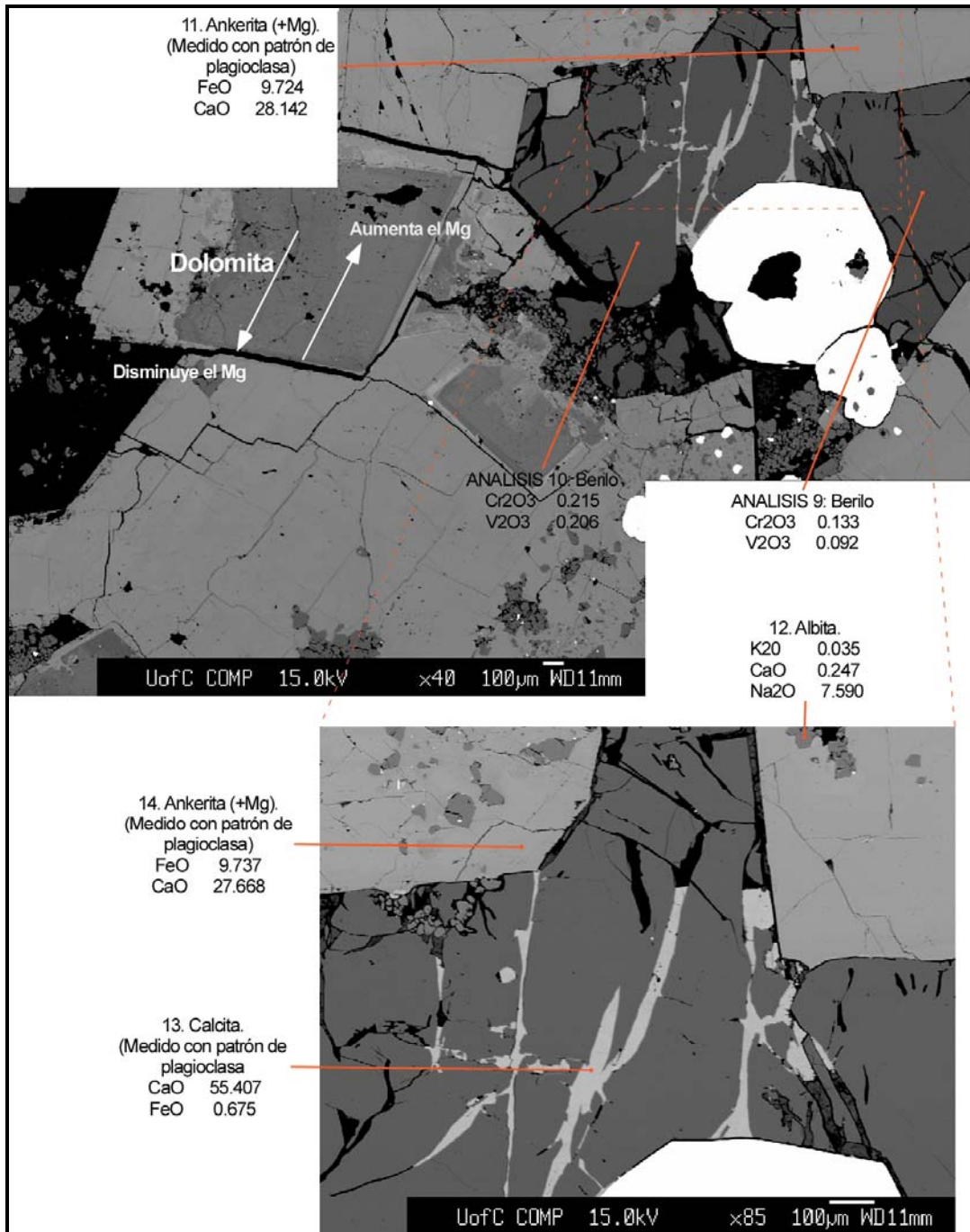
**Figura 85.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 84**.



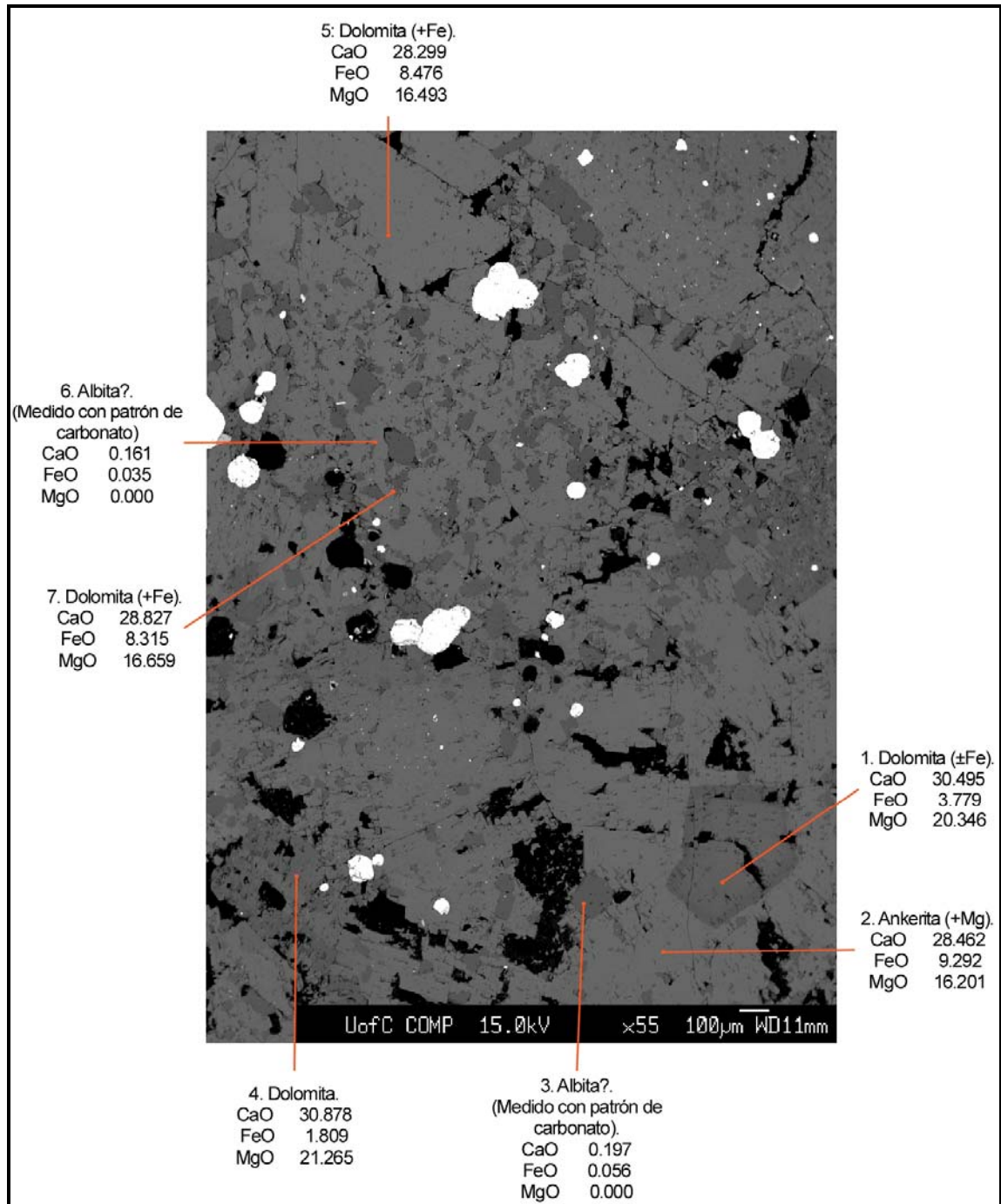
**Figura 86.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02,1B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



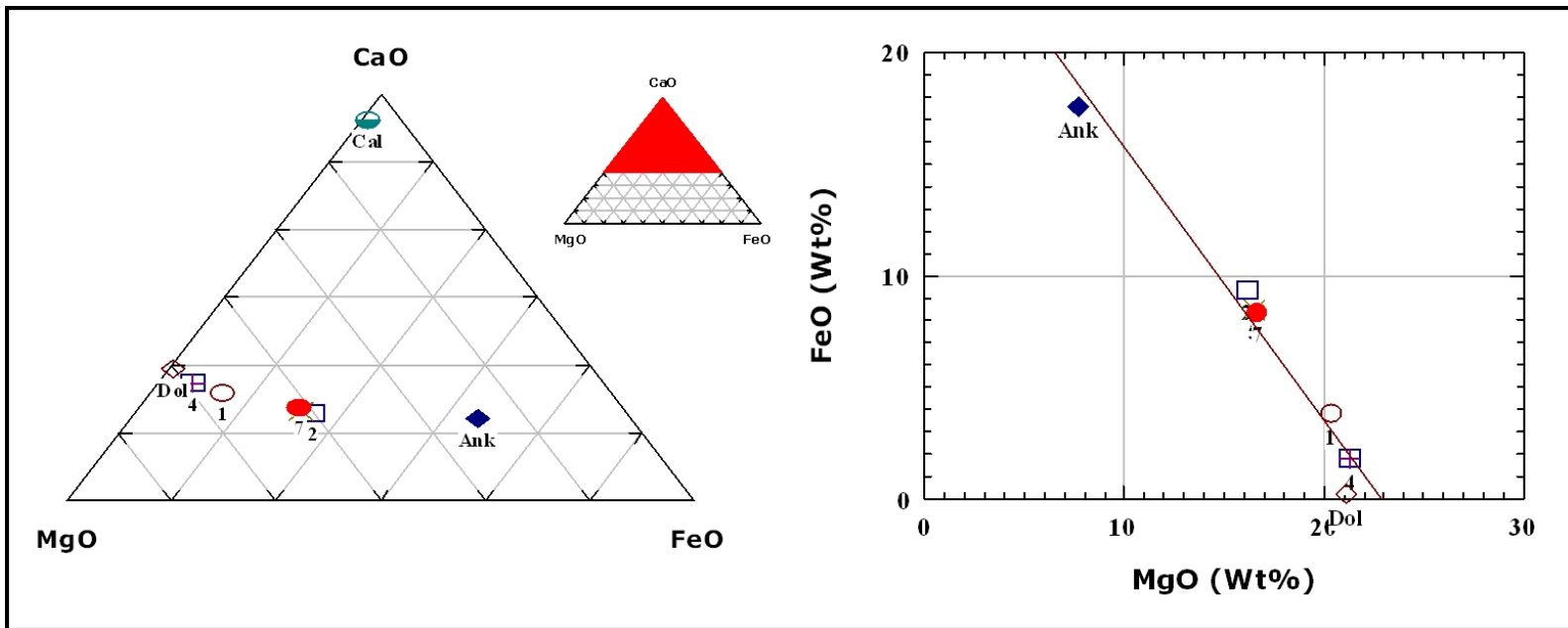
**Figura 87.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 86**.



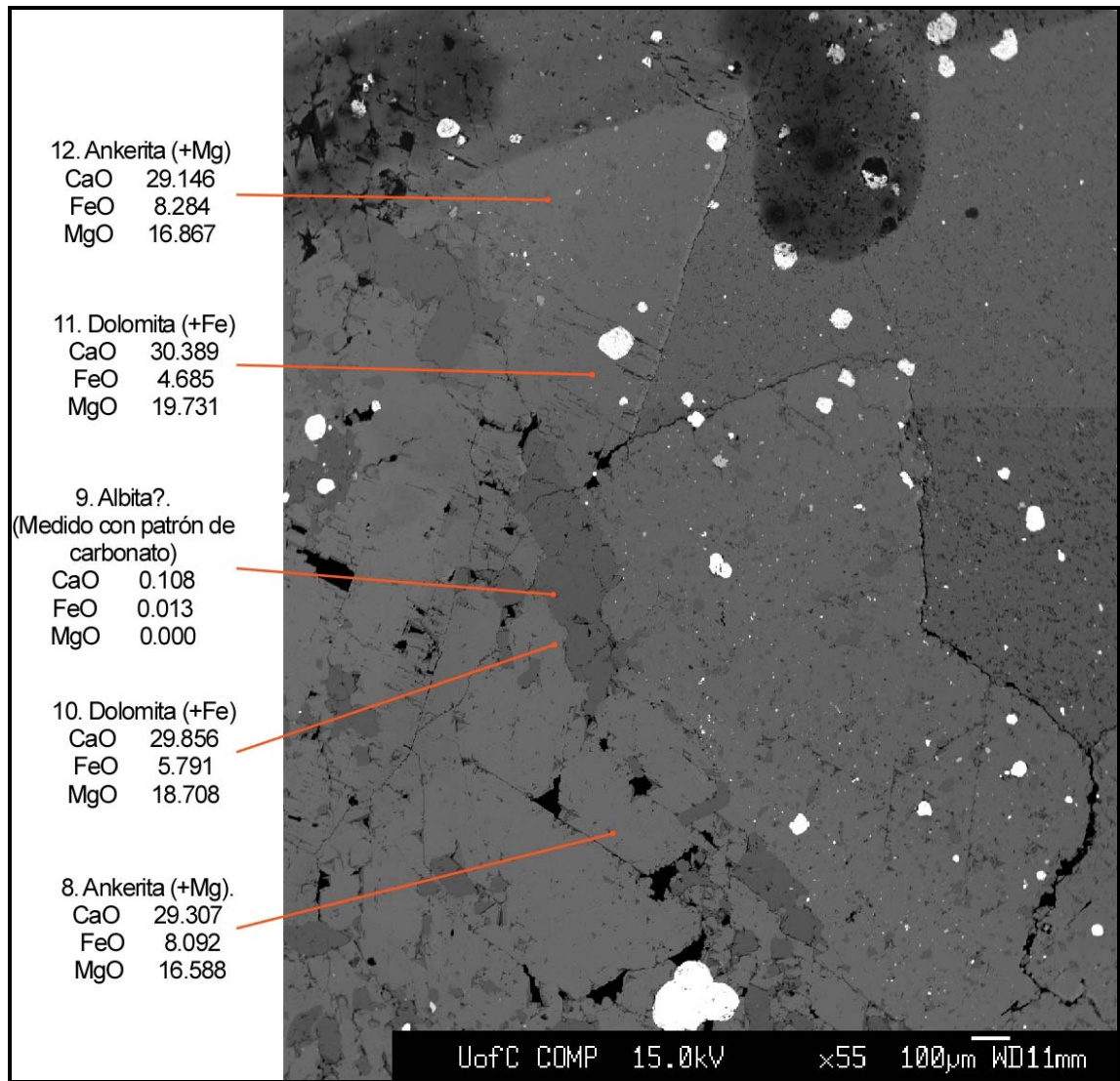
**Figura 88.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02.1B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos, berilos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



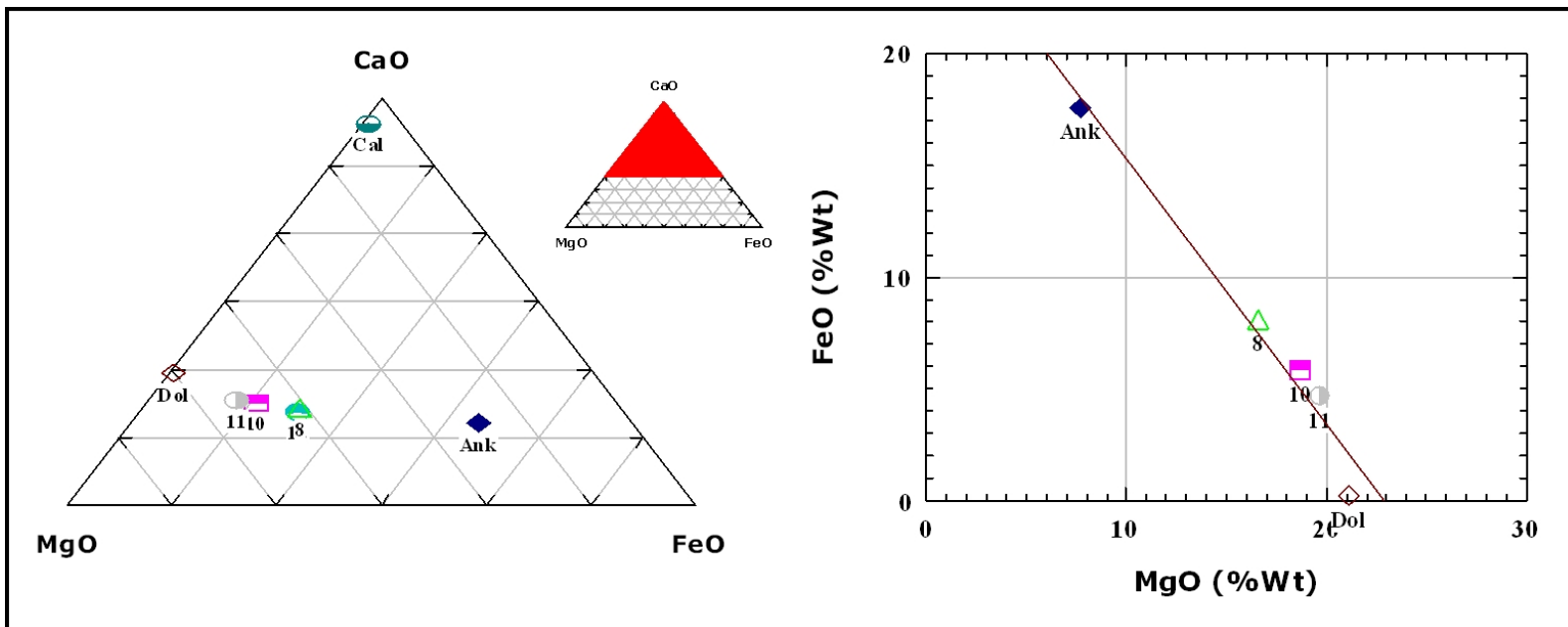
**Figura 89.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos y albitas, con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



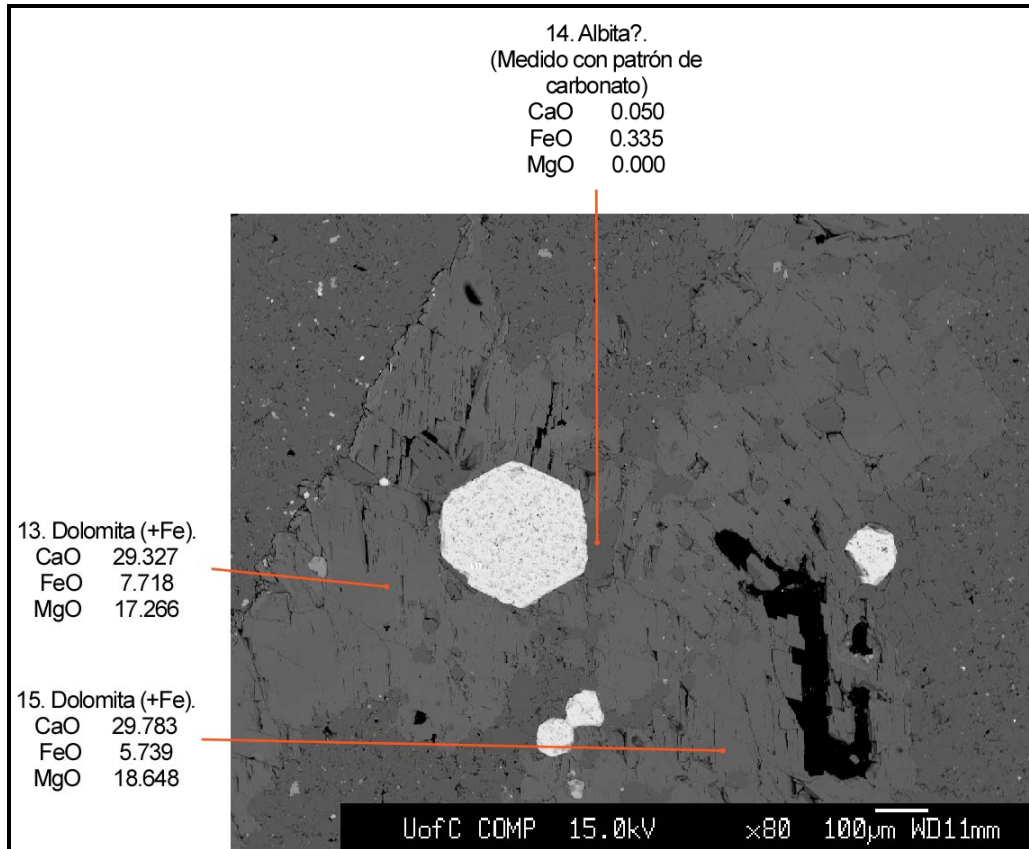
**Figura 90.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 89**.



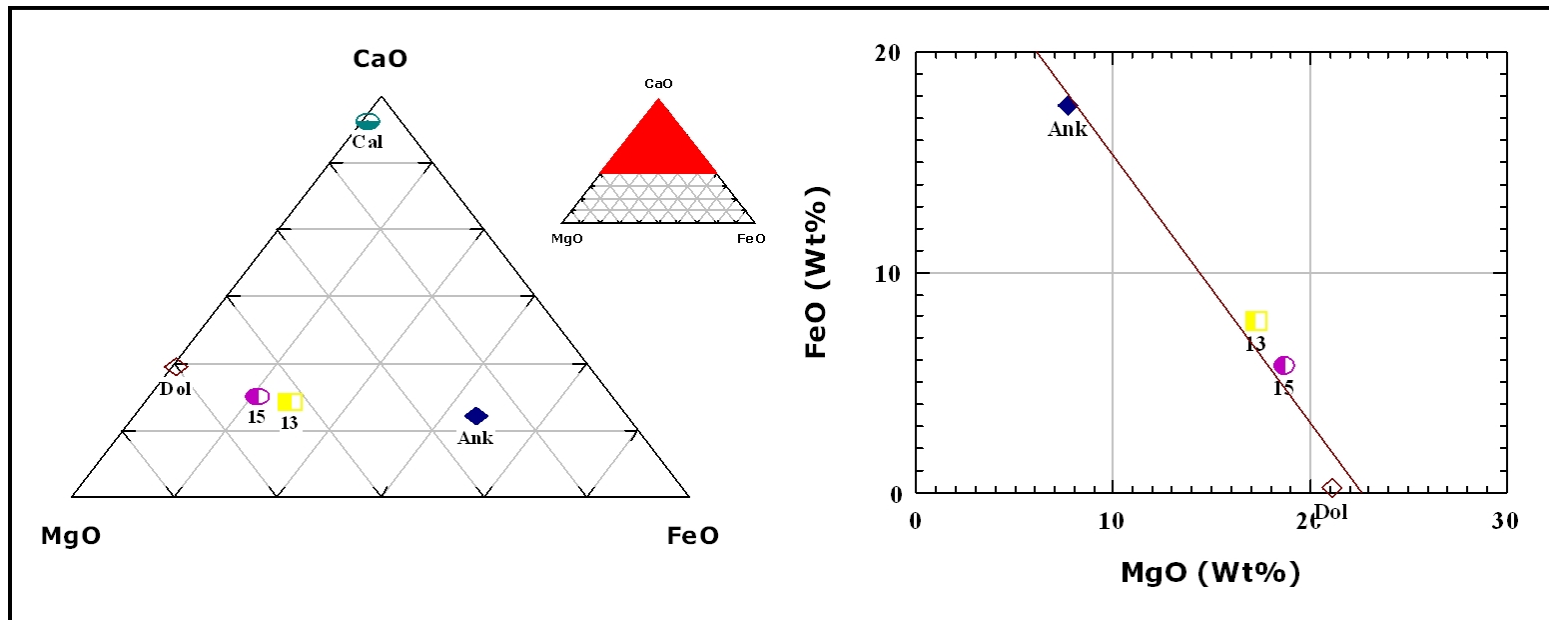
**Figura 91.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



**Figura 92.** Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita-ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 91**.



**Figura 93.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 016 021AI mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en carbonatos con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



**Figura 94.** Tipos Diagramas ternarios ilustrando tipos de carbonatos. Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales entre la serie dolomita ankerita. Diagramas corresponden a la **Figura 93**.

#### **4.5.2.2 Clasificación mineral de plagioclasas.**

De las 4 láminas delgadas estudiadas se tomaron 18 datos de química mineral de plagioclasas asociadas a berilos. Dentro de estos valores de encontramos algunos que corresponden a carbonatos, berilos y por supuesto a plagioclasas, pero fueron tomados en la microsonda electrónica teniendo como referencia el estándar de la plagioclasa.

Los resultados de la química mineral de plagioclasas se presentan en la Tabla 9.

La ubicación de los análisis de química mineral para plagioclasas de la lamina delgada COR 0165 025 se ilustra en la Figura 98, para la lamina delgada COR 029 02B se muestra en las Figura 97 y para la lamina delgada COR 029 02.1B se muestra en la Figura 95.

Para la clasificación química de los feldespatos se utilizó el diagrama ternario para los óxidos de  $K_2O$ ,  $CaO$  y  $Na_2O$  y el diagrama de clasificación de feldespatos disponible en el software para tratamiento de datos mineralógicos y petrológicos MINPET 2.02, en los cuales se puede observar que todos los datos químicos graficados caen en el vértice sódico clasificando los químicamente a los feldespatos como albita (Figuras 95 y 96).

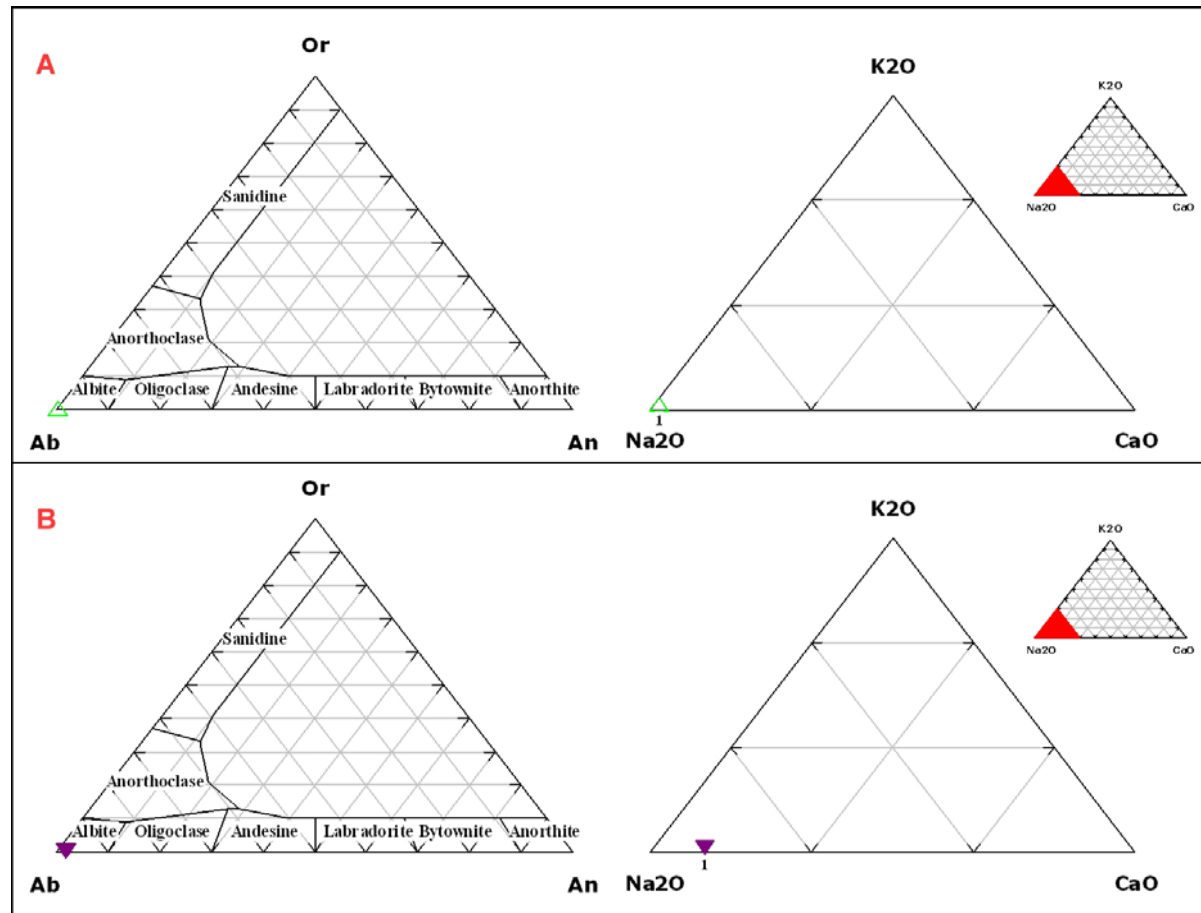
Otro método que puede indicar de la existencia o no de algún otro tipo de feldespato es mediante la realización de los cálculos de la fórmula química de la Albita a partir de los datos en óxidos obtenidos por la microsonda electrónica, para tal fin se siguió la metodología propuesta por Spear (1995).

Dicha metodología se resume en la siguiente tabla (ver Tabla 10): en la columna 1 se muestran los óxidos, la columna 2 muestra los porcentajes en peso obtenidos

en la microsonda, la columna 3 presenta el peso molecular de los óxidos, obtenida por la suma de la masa o peso atómico obtenido a partir de una tabla periódica de cada elemento que compone el óxido. La columna 4 presenta la proporción molecular, que es la razón entre la columna 2 y 3; la columna 5 es el resultado de multiplicar el número de cationes por la columna 4; la columna 6 es el resultado de multiplicar la cantidad de oxígenos en la fórmula química por la columna 4, y la columna 7 es el resultado de multiplicar la columna 5 por el factor O. El factor O consiste en dividir el número de oxígenos de la fórmula química teórica (**NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>**) entre la suma total de los datos de la columna 6. Únicamente fueron trabajados los análisis de microsonda que no presentan problemas en la medición, es decir, solo aquellos análisis cuya adición de los porcentajes en peso de óxidos, sume 100% o se aproximen a este valor. De la última columna se extrae la proporción en que cada catión se presenta en la fórmula química de la albita. Todas las fórmulas químicas determinadas se presentan en la Tabla 11, las tablas de determinación de la fórmula química se encuentran en el Anexo 4.

**Tabla 9.** Resultados de química mineral de plagioclasas en laminas delgadas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Los valores en amarillo corresponde seguramente a Berilos, los cuales fueron medidos erróneamente con una plagioclasa como patrón de referencia (de ahí los valores reportados). Los valores en azul corresponden seguramente a carbonatos los cuales fueron medidos erróneamente con una plagioclasa como patrón de referencia (de ahí los valores reportados).

MUESTRA	ANALISIS	OXIDOS (Wt%)								
		K <sub>2</sub> O	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	Na <sub>2</sub> O	SrO	TOTAL
COR 016 025	1	0.008	0.019	0.077	57.979	19.696	0.0000	0.464	0.43	78.673
	2	0.018	0.0000	0.052	66.368	17.006	0.0000	0.278	0.42	84.142
	3	0.049	0.039	0.059	66.123	20.799	0.0000	10.217	0.433	97.719
COR 029 02B	1	0.038	0.525	0.031	70.255	21.408	0.0000	3.402	0.447	96.106
	2	0.059	0.569	0.023	67.962	20.43	0.02	10.297	0.456	99.816
	3	0.068	0.45	0.039	68.133	20.184	0.031	11.16	0.436	100.501
	4	0.076	0.351	0.038	68.599	20.378	0.0000	11.326	0.417	101.185
	5	0.249	0.174	0.109	67.043	19.593	0.034	8.383	0.485	96.07
	6	0.072	0.15	0.024	68.892	20.165	0.0000	11.03	0.432	100.765
	7	0.053	0.1	0.048	68.543	19.949	0.0000	9.934	0.447	99.074
	8	0.037	0.072	0.064	68.84	19.973	0.025	11.225	0.429	100.665
	9	0.088	0.539	0.012	67.879	20.618	0.016	10.653	0.424	100.229
	10	0.06	0.574	0.0000	67.456	20.841	0.0000	9.729	0.406	99.066
	11	0.047	0.574	0.029	70.764	21.785	0.008	5.613	0.447	99.267
COR 029 02.1B	11	0.015	28.142	9.724	0.0000	0.014	0.0000	0.0000	0.0000	37.895
	12	0.035	0.247	0.16	66.958	18.957	0.0000	7.59	0.421	94.368
	13	0.02	55.407	0.675	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	56.102
	14	0.001	27.668	9.737	0.0000	0.0000	0.0000	0.005	0.0000	37.411



**Figura 95. A.** Clasificación de feldspatos analizados de la lamina delgada No COR 016 025. **B.** Clasificación de feldspatos analizados de la lamina delgada No COR 029 02.1B.

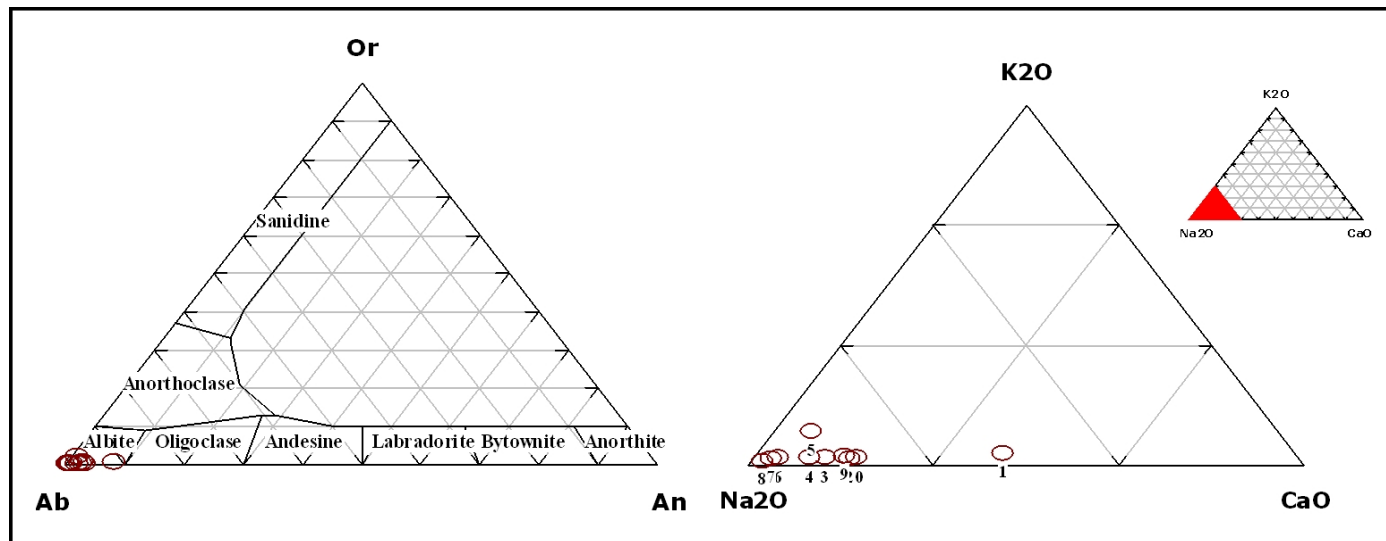


Figura 96. Clasificación de feldspatos analizados de la lamina delgada № COR 029 02B.

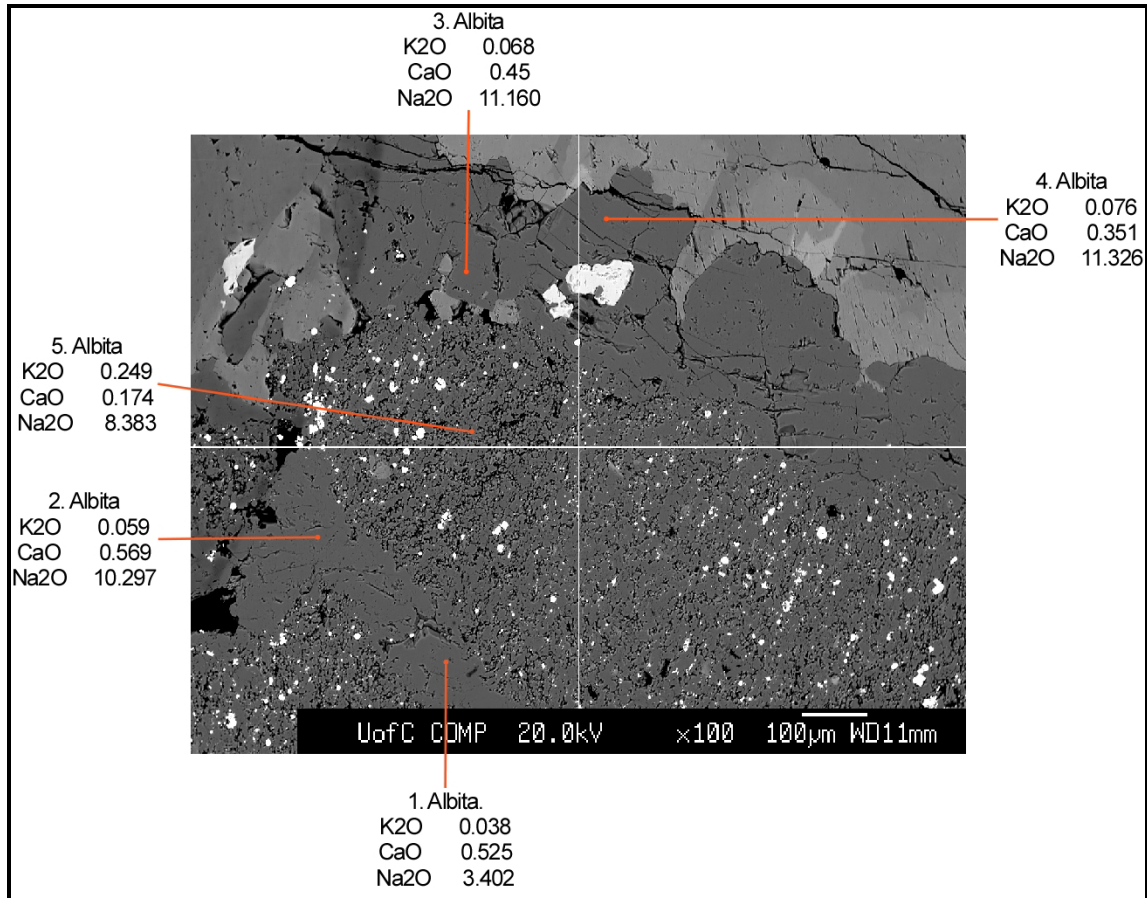
**Tabla 10.** Determinación de la fórmula química de la albita. Muestra COR 016 025, análisis 3.

Oxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8
SiO <sub>2</sub>	66.123	60.080	1.101	1.101	2.201	2.9566371
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.799	101.960	0.204	0.408	0.612	1.0960188
Na <sub>2</sub> O	10.217	62.000	0.165	0.330	0.165	0.8853951
<b>TOTAL</b>					2.978	
Factor O	2.686					

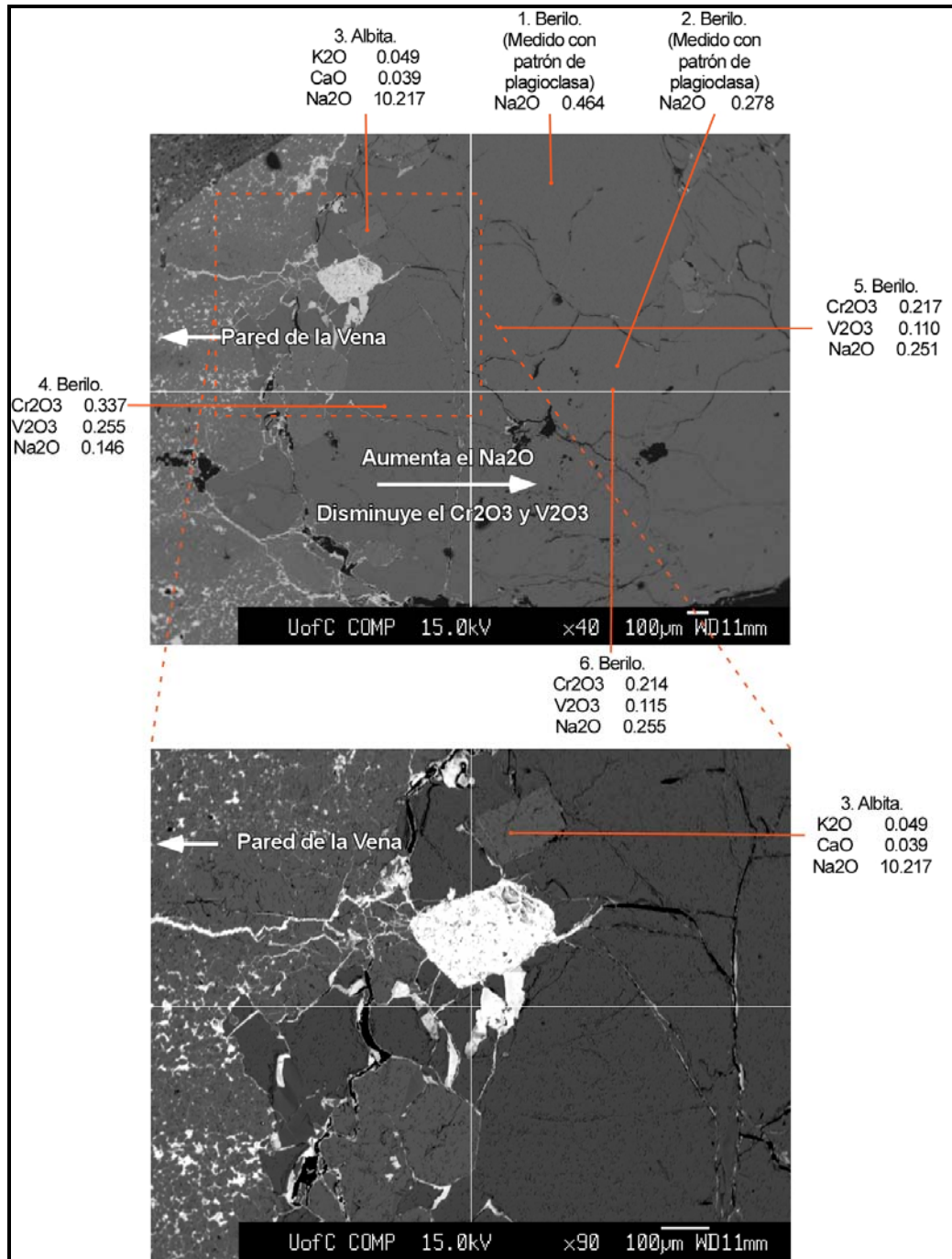
**Formula química determinada:** Na<sub>0.9</sub>Al<sub>1.1</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

**Tabla 11.** Fórmulas químicas de albita determinadas para todas las láminas delgadas analizadas.

MUESTRA	ANÁLISIS	FORMULA QUÍMICA DETERMINADA
<b>COR 016 025</b>	3	Na <sub>0.9</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
<b>COR 029 02B</b>	1	Na <sub>0.3</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3.1</sub> O <sub>8</sub>
	2	Na <sub>0.9</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	3	Na <sub>0.9</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	4	Na <sub>0.9</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	5	Na <sub>0.7</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	6	Na <sub>0.9</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	7	Na <sub>0.8</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	8	Na <sub>0.9</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	9	Na <sub>0.9</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	10	Na <sub>0.8</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	11	Na <sub>0.5</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
<b>COR 029 02.1B</b>	12	Na <sub>0.7</sub> Al <sub>1.1</sub> Si <sub>3.1</sub> O <sub>8</sub>



**Figura 97.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 029 02B mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en albitas con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).



**Figura 98.** Imagen de retrodispersado de la lámina delgada № COR 016 025 mostrando la ubicación de los sitios en los cuales se realizaron análisis de química mineral en albita y berilo con su respectiva clasificación mineral (óxidos en Wt% - porcentaje en peso). Para una mejor comprensión véase la Figura 42A, obtenida por microscopía óptica.

#### 4.5.2.3 Clasificación química del Berilo.

En total se tomaron 5 datos de química mineral de berilos de las láminas delgadas Nº COR 0165 025 y COR 029 02.1B. Estos resultados de la química mineral de berilos se presentan en la Tabla 12.

La ubicación de estos análisis de química mineral para berilos de la lamina delgada COR 0165 025 se ilustra en la Figura 98 y para la lamina delgada COR 029 02.1B se muestra en la Figura 88.

Como patrón de referencia, para fines de clasificación se consulto en el recurso electrónico *Mineral Data Publishing, versión 1* (2001-2005, ver bibliografía para dirección Web), datos de análisis químico de berilo, los cuales son:

- Berilo ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ): **SiO<sub>2</sub>** = 65.59; **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** = 18.25; **BeO** = 13.46; **Na<sub>2</sub>O** = 0.26; **LOI** = 0.70. Estos datos corresponden a un berilo medido con microsonda electrónica, proveniente de la región de Mursinka, Rusia.

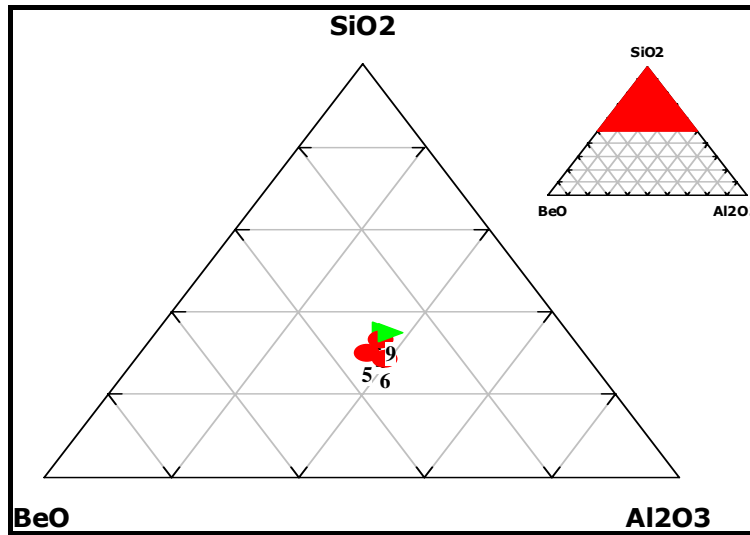
Recuérdese que la microsonda electrónica permite la determinación de todos los elementos arriba del número atómico 10 con una gran precisión y sensibilidad, aunque con una menor sensibilidad para aquellos entre con numero atómico entre 5 y10, por ende el Berilio, cuyo numero atómico es 4 ( $Z=4$ ), no es posible detectarlo por medio de la microsonda electrónica, sin embargo, nótese que el último valor de la Tabla 12 corresponde a un óxido llamado XO, pero debido a la ausencia del óxido de berilio en la tabla, y a que el porcentaje de XO es muy similar al valor propio del óxido de Berilio en esmeraldas, que corresponde a aproximadamente al valor de patrón consultado, para la clasificación de berilo el valor XO será tomado como BeO.

La Figura 99 muestra una clasificación gráfica de la esmeralda según los porcentajes en peso de los óxidos principales.

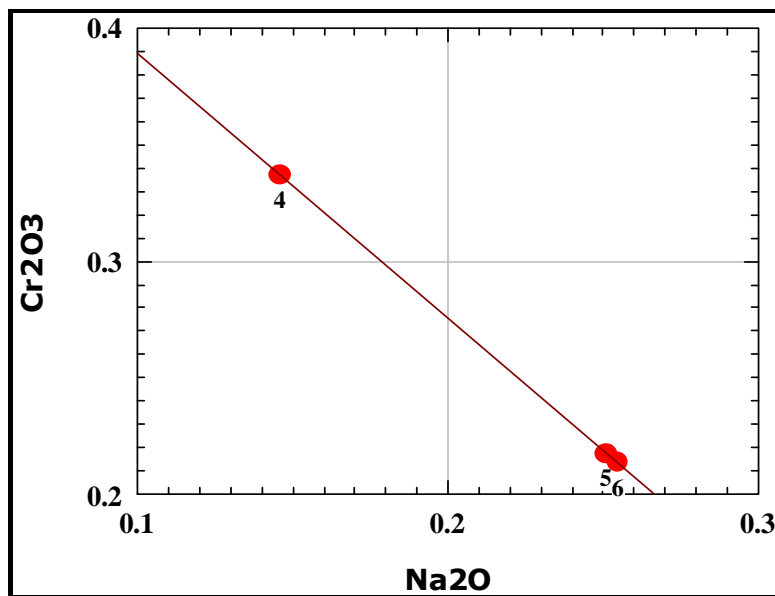
Los datos obtenidos de la lámina delgada COR 016 025, aunque con pocos datos, muestran una disminución del contenido de  $V_2O_3$  y del  $Cr_2O_3$ , mientras que el  $Na_2O$  experimenta un aumento hacia el borde del berilo (ver Figura 98 y 100), es decir, existe una relación inversa entre el  $V_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  y el  $Na_2O$ . Se recomienda realizar un mapa de rayos X con la microsonda electrónica, para verificar de una manera más clara y concisa esta zonación composicional en el berilo.

**Tabla 12.** Resultados de química mineral de berilos en laminas delgadas (óxidos en Wt% - porcentaje en peso).

MUESTRA	ANALISIS	OXIDOS (Wt%)								
		FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	XO	TOTAL
COR 016 025	4	0.0800	0.3370	65.7720	17.907	0.255	0.146	0.458	15.046	100.0010
	5	0.039	0.217	64.078	17.643	0.11	0.251	0.752	16.91	100.0000
	6	0.055	0.214	63.318	19.463	0.115	0.255	0.761	15.82	100.0010
COR 029 02.1B	9	0.043	0.133	67.097	18.362	0.092	0.154	0.257	13.862	100.0000
	10	0.07	0.215	66.718	17.842	0.206	0.331	0.475	14.145	100.0020



**Figura 99.** Clasificación de esmeraldas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos.



**Figura 100.** Diagramas binarios mostrando variaciones composicionales y relación inversa entre el  $\text{Na}_2\text{O}$  y el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Diagrama binario correspondiente a la **Figura 98**.

#### **4.5.2.4 Secuencia de cristalización de los minerales a partir del fluido mineralizante.**

La secuencia de cristalización de los minerales de relleno de venas hidrotermales se determinó principalmente con los datos petrográficos, pues gran parte de las muestras estudiadas presentan una textura secuencial, por ende gran parte del orden de cristalización puede ser determinado a partir de criterios de inclusión y también especialmente a los análisis de las relaciones entre las distintas especies minerales, documentadas más detalladamente mediante la microsonda electrónica (con su correspondiente análisis microquímico).

La secuencia de cristalización se muestra en la Figura 101.

La variación química se observa principalmente en los carbonatos. Los datos obtenidos dejan ver, como ha ocurrido el reemplazamiento de Fe y Ca por Mg:

- Carbonato magnésico (Dolomita) con un contenido bajo en contenido en Fe que se encuentra en la parte central de la vena (Figura 80).
- Un carbonato de hierro (ankerita) con un contenido bajo en Magnesio que se encuentra en contacto con la roca encajante, y cruzando cristales de albita (Figura 80).

El contenido de hierro parece aumentar a medida que acerca hacia la pared de la vena, ocurriendo lo contrario con el contenido de Mg en los carbonatos.

- En la Figura 88, se muestra un cristal romboédrico de carbonato de Magnesio (Dolomita), incluido en un cristal de ankerita rico en Mg (Ankerita (+Mg)), en el

cual se aprecia muy claramente como el contenido de Mg aumenta hacia la parte central del cristal, mientras que el contenido de Fe sufre todo lo contrario. Esta imagen expone muy claramente la variación química de los carbonatos a medida que estos cristalizan.

La calcita es de los últimos minerales en cristalizar, pues este aparece ya sea como máculas en cristales de Ankerita-dolomita (ver Figura 81A), tal vez por procesos de reemplazamiento, y también como mineral de relleno en fracturas de cristales de Berilo (Esmeralda).

Entonces la historia de cristalización inicia con Albita que se ubica preferiblemente en los bordes de la vena, contemporáneo a la cristalización de Dolomita en el centro de la vena, seguido de esto se encuentra la precipitación de dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)), Ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)), Ankerita con menor contenido de Mg (Ankerita). Durante la cristalización de la Ankerita (ya sea rica en Mg o pobre en Mg), inicia también la cristalización de pirita, seguido por la cristalización de sericita? y por último la cristalización de calcita. Se tiene duda acerca del orden de cristalización de la sericita, puesto que esta solo se observo en tan solo 2 laminas delgadas, por lo tanto, no se obtuvo la suficiente información y relaciones texturales con los otros minerales de la paragénesis hidrotermal, para determinar con seguridad la cronología relativa de cristalización.

SECUENCIA DE FORMACION DE LOS MINERALES	
Albita	_____
Dolomita	_____
Esmeralda	_____
Moscovita	_____
Carbonato (Mg Fe)	_____
Pirita	-----
Sericita	_____?
Calcita	_____

**Figura 101.** Secuencia de cristalización de minerales. Carbonato (Mg, Fe) se refiere a la secuencia Dolomita rica en (+Fe) hasta ankerita.

#### 4.5.3 Interpretación preliminar.

En general en los diagramas ternarios y binarios de CaO, FeO y MgO ilustran variaciones composicionales entre la dolomita y la ankerita, dentro de los carbonatos de las venas muestreadas. La variación comprende desde exclusivamente dolomita pasando por dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)) y siguiendo por ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)) hasta llegar casi al extremo de la serie con ankerita. La calcita parece ser que es posterior, cuando el fluido se enriquece en Ca, y es de los últimos minerales en cristalizar. Esta variación química de los carbonatos muestra el comportamiento químico del fluido pues este se empobrece en Mg a medida que la serie de Dolomita-ankerita se ejecuta, para posteriormente enriquecerse en Fe, cristalizando ankerita y pirita. Posteriormente el fluido se enriquece en Ca, el cual hará parte de una calcita, que es posterior a la dolomita-ankerita. La clasificación química de los feldespatos se utilizó el diagrama ternario para los óxidos de K<sub>2</sub>O, CaO y Na<sub>2</sub>O y el diagrama de clasificación de feldespatos se puede observar que todos los datos químicos graficados caen en el vértice sódico clasificando los químicamente a los feldespatos como albita.

Aunque con pocos datos en berilos, muestran una disminución del contenido de  $V_2O_3$  y del  $Cr_2O_3$ , mientras que el  $Na_2O$  experimenta un aumento hacia el borde del berilo, es decir, existe una relación inversa entre el  $V_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  y el  $Na_2O$ .

De acuerdo a los estudios petrográficos y de química mineral, la historia de cristalización inicia con albita que se ubica preferiblemente en los bordes de la vena (crecimiento sintaxial), contemporáneo a la cristalización de Dolomita en el centro de la vena (cristalización antitaxial), seguido de esto se encuentra la precipitación de dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)), Ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)), Ankerita con menor contenido de Mg (Ankerita). Durante la cristalización de la Ankerita (ya sea rica en Mg o pobre en Mg), inicia también la cristalización de pirita, seguido por la cristalización de sericita y por último la cristalización de calcita.

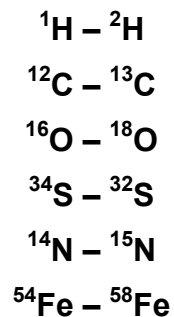
## **4.6 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA.**

### **4.6.1 Consideraciones previas.**

Los isótopos estables de algunos elementos como H, C, N, O y S son muy valiosos para interpretar algunos procesos geológicos y ambientales. El principio que es útil para estas interpretaciones es el del fraccionamiento de masas, fenómeno por el cual los distintos isótopos estables de un elemento se pueden separar unos de otros por una serie de procesos físico-químicos, térmicos o biogeoquímicos. Midiendo las relaciones de abundancia de estos isótopos en las fases coexistentes podemos reconstruir la historia química del sistema.

Los isótopos estables pueden ofrecer información importante acerca del origen de los fluidos mineralizantes, brindan datos como temperatura y condiciones fisicoquímicas. Los isótopos más comunes en la naturaleza corresponden a H, C, O y S, intervienen en muchos procesos y es por esto que son los más utilizados (ver Tabla 13).

Las relaciones isotópicas más comunes y por lo tanto las más utilizadas se visualizan a continuación. Es importante recalcar que dichas relaciones son características de cada material, esta propiedad permite la identificación de su génesis y evolución.



Las relaciones de isótopos estables son presentadas como un valor  $\delta$ , dicho valor, cuando es positivo indica un enriquecimiento de la muestra en  $\delta$  partes por cada 1000 con relación a un estándar predeterminado; de la misma manera, un valor negativo significa un empobrecimiento de la muestra.

**Tabla 13.** Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas. Modificado de Redondo (2001).

Símbolo	Número Atómico	Número Másico	Abundancia (%)	Peso Atómico (uma)
H	1	1	99.985	1.007825
D	1	2	0.015	2.01410
<sup>12</sup> C	6	12	98.93	12.00000000
<sup>13</sup> C	6	13	1.07	13.00335
<sup>14</sup> N	7	14	99.634	14.00307
<sup>15</sup> N	7	15	0.366	15.00011
<sup>16</sup> O	8	16	99.759	15.99491
<sup>17</sup> O	8	17	0.037	16.99914
<sup>18</sup> O	8	18	0.204	17.99916
<sup>32</sup> S	16	32	94.93	31.97207
<sup>33</sup> S	16	33	0.76	32.97146
<sup>34</sup> S	16	34	4.29	33.96786
<sup>36</sup> S	16	36	0.014	35.96709

### Composición Isotópica.

La composición isotópica de un mineral formado en equilibrio isotópico con el medio acuoso del cual proviene, viene siendo una función tanto de la temperatura de formación como de la composición isotópica del agua, influyendo también la salinidad. La presión tiene un efecto despreciable sobre el fraccionamiento de los isótopos de oxígeno entre las fases (Clayton *et al.*, 1975)

Al analizar aguas naturales, la composición puede dar a conocer la procedencia de los fluidos mineralizantes y las características hidrológicas de los yacimientos. Aguas meteóricas tienden a presentar valores más negativos, lo que indica un amplio espectro en la ubicación longitudinal y latitudinal. Los valores cercanos a cero corresponden a aguas tropicales, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre -20 y -25 son propios de aguas continentales. Las aguas geotermales son enriquecidas en  $\delta^{18}\text{O}$ , esto se debe al intercambio isotópico con las rocas continentales. Las aguas de formación en las cuencas sedimentarias presentan, en ocasiones valores que

representan estados intermedios entre aguas meteóricas y aguas de mar; las aguas metamórficas, en términos generales muestran valores promedios de  $\delta^{18}\text{O}$  entre +3 y +25. Aguas magmáticas presentan valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre +5,5 y +9. Los estándares de calibración específicos se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables.

<b>SMOW</b> ( <i>Standard Mean Ocean Water</i> )	Composición isotópica promedio del agua oceánica destilada.
<b>PDB</b> ( <i>PeeDee Belemnite</i> )	Composición isotópica obtenida del $\text{CO}_2$ generado por la reacción de belemnites ( <i>Belemnitella americana</i> ) de la Formación <i>PeeDee</i> (Cretácico de Carolina del Sur, Norteamérica) con ácido ortofosfórico al 100%
<b>CDT</b> ( <i>Canyon Diablo Troilite</i> )	Composición isotópica del azufre generado por la fase de la troilita ( $\text{FeS}$ ) que se obtiene a partir de un meteorito de hierro recogido del <i>Meteor Crater</i> , Arizona.

### **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Carbono.**

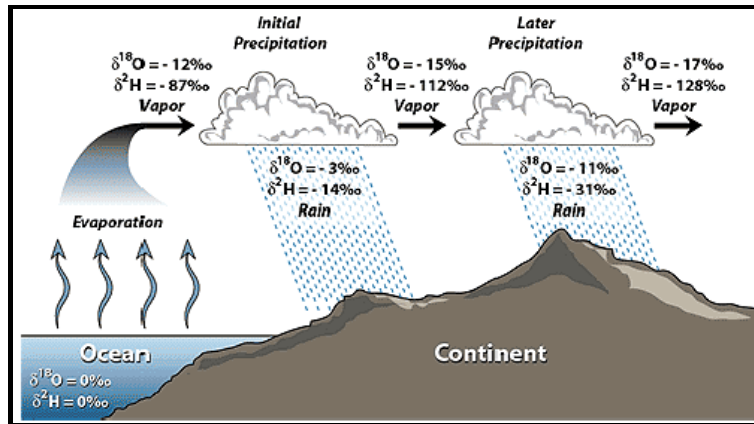
El carbono que proviene de calizas marinas presenta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  próximos a 0, el carbono de origen profundo (carbonatitas o kimberlitas) presenta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -5 y -8 y el carbono orgánico muestra valores de  $\delta^{13}\text{C}$  muy negativos, menores a -20. La mezcla de carbonatos con diferentes procedencias en un mismo sistema generará un valor isotópico mezclado (Recio y Subías, 2002).

Otros factores fisicoquímicos determinantes son la fugacidad de oxígeno, pH, temperatura, fuerza iónica y el contenido total en carbono.

### **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Oxígeno.**

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y D (SMOW) presente en el agua oceánica se estima cero, pero las diversas capas oceánicas presentan valores que varían este valor medio en un margen de 1 para el  $\delta^{18}\text{O}$  y de 10 para el  $\delta\text{D}$ . Los procesos principales que hacen variar estos valores son las disoluciones por descargas de aguas dulces y la circulación salina profunda, mientras que los proceso de evaporación y congelación afectan fuertemente la composición isotópica de esta aguas, ocasionando empobrecimiento en isótopos ligeros y enriquecimiento en isótopos pesados (Recio y Subías, 2002)..

La homogenización convectiva de la atmósfera sobre el océano induce un empobrecimiento en el contenido isotópico, dando valores cercanos a  $-12 \delta^{18}\text{O}$  y  $-87 \delta\text{D}$ . En el ascenso de las nubes, éstas se empobrecen aún más progresivamente, alcanzando valores de  $-17 \delta^{18}\text{O}$  y  $-128 \delta\text{D}$ . El contenido isotópico también varía con las precipitaciones, produciendo disminuciones que presentan valores hasta de  $-11 \delta^{18}\text{O}$  y  $-31 \delta\text{D}$ . La Figura 102 muestra estas variaciones.



**Figura 102.** Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico en el ciclo hidrológico. Tomado de Encarta (2000).

### **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Azufre.**

El fraccionamiento isotópico cinético es generado por los procesos bacterianos, ya que los sulfatos oceánicos se encuentran enriquecidos en  $^{34}\text{S}$ , mientras que los sulfuros se muestran empobrecidos en dicho isótopo. De esta manera, los minerales evaporíticos que derivan del sulfato oceánico poseen valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de 20. El valor promedio para el  $^{2-}\text{SO}_4$  oceánico disuelto es de 9,6 de  $\delta^{34}\text{S}$  (Recio y Subías, 2002).

Los valores isotópicos de azufre determinados pueden presentar problemas debido a su variación dependiendo de los diferentes compuestos, aún teniendo el mismo origen. Estos valores también dependen de condiciones como temperatura, pH y fugacidad de oxígeno.

### **Fraccionamiento isotópico y Geotermometría isotópica.**

Fraccionamiento Isotópico se puede definir como la distribución desigual de las especies isotópicas de un elemento, en dos o más fases, durante procesos de

carácter físico, químico o biológico (Faure, 1986). Este fenómeno es explicable, teniendo en cuenta que entre las especies isotópicas más ligeras, los enlaces son más débiles que los que incluyen especies isotópicas más pesadas, por lo que las primeras especies isotópicas entran en reacción más rápidamente que las segundas, produciendo así el fenómeno de fraccionamiento isotópico.

La fraccionación isotópica depende de las propiedades termodinámicas de las moléculas, por lo que tiene lugar en la naturaleza de tres maneras (Recio y Subías, 2002):

- Reacciones de intercambio isotópico.
- Procesos cinéticos.
- Procesos físico-químicos (Cristalización, difusión, fusión, evaporación y condensación)

La ecuación que determina el fraccionamiento isotópico es la siguiente:

$$1000 \ln \alpha_{x-y} = A(10^6/T^2) + B \quad T: \text{°K}$$

**A y B** = constantes determinadas experimentalmente.

Esta ecuación indica que el fraccionamiento isotópico entre dos fases en equilibrio, X e Y, sólo depende de la temperatura, siendo, a todos los efectos, independiente de la presión, al menos en las condiciones corticales (Clayton *et al.*, 1975). Incluso a alta temperatura (temperaturas magmáticas), la magnitud del fraccionamiento isotópico es suficientemente grande para poder ser medida dentro de los márgenes de error analítico (Recio y Subías, 2002).

La determinación del fraccionamiento isotópico entre dos fases en equilibrio es pues útil como geotermómetro (Recio y Subías, 2002). Para que esto sea así, sin embargo, han de cumplirse ciertas condiciones:

- El equilibrio entre las fases se ha establecido a una T geológicamente significativa, y se ha mantenido desde entonces.
- No ha habido procesos tardíos (alteración hidrotermal o meteórica; procesos de difusión, etc.) que hayan modificado dicho equilibrio.
- El factor de fraccionamiento isotópico ha sido determinado experimentalmente.

El fraccionamiento de cualquiera de los sistemas isotópicos está controlado por la T, en términos prácticos los isótopos de O (en rocas ígneas y metamórficas de alto grado) y S (en yacimientos minerales) son los más utilizados, puesto que un buen número de minerales alcanzan el equilibrio isotópico a las temperaturas típicas de los ambientes de formación en cuestión.

Esta determinación se realiza habitualmente entre un mineral dado y una fase común de intercambio (habitualmente H<sub>2</sub>O o CaCO<sub>3</sub> en el caso del O; H<sub>2</sub>S para el S; etc.), y dentro de un rango determinado de temperaturas.

Las ecuaciones de geotermometría que se encuentran en la literatura se refieren habitualmente al fraccionamiento entre una fase mineral y una fase común de intercambio, pero lo que en realidad se busca, no es una fase común, sino pares minerales para los que se determinaran que se formaron en equilibrio, y que dicho equilibrio se ha conservado. Las relaciones que encontramos pues en la literatura son del tipo:

$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Min-fase}} = A(10^6/T^2) + B$$

La relación entre los valores isotópicos de pares minerales y la Temperatura se obtiene restando las ecuaciones que relacionan el fraccionamiento entre cada uno de los minerales y la fase en común:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Min}_1\text{-fase}} &= A_1(10^6/T^2) + B_1 \\ - [1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Min}_2\text{-fase}} &= A_2(10^6/T^2) + B_2] \end{aligned}$$

---


$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Min}_1 - \text{Min}_2} = (A_1 - A_2) (10^6/T^2) + (B_1 - B_2)$$

El procedimiento para la determinación del fraccionamiento isotópico entre dos fases en equilibrio, anteriormente mencionado, se describe en Recio y Subías (2002).

#### 4.6.2 Datos de composición isotópica de O, H, C y S.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en forma de composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  de los estudios de isótopos estables realizados a muestras de sulfuros, carbonatos y esmeraldas (ver Tabla 15). Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  se expresan con referencia a los estándares explicados anteriormente PDB y SMOW, mientras que los valores de  $\delta\text{D}$  se expresan con referencia al estándar SMOW; los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se muestran con referencia al estándar PDB y los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  se muestran con referencia al estándar CDT.

En la Figura 103 se presentan los resultados de las muestras de carbonatos analizadas, las cuales no presentan una variación significativa, lo que permite su agrupación como una sola población de carbonatos con una composición  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  entre -11.01 y -9.60‰, isotópicamente ligeros, y con resultados para la

composición isotópica del  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  de carácter isotópico pesado, cuyos valores se encuentran entre +16.96 y + 18.43‰.

Para realizar este tipo de análisis estadístico y los subsiguientes, se desecharon los datos de dolomita de la muestra COR 016 020 debido a que corresponde a resultados muy distanciados y no muy confiables, debido a que en dicha muestra, el proceso de extracción de la dolomita fue muy delicado, y existe la posibilidad de contaminación con algún otro tipo de material durante el proceso de extracción.

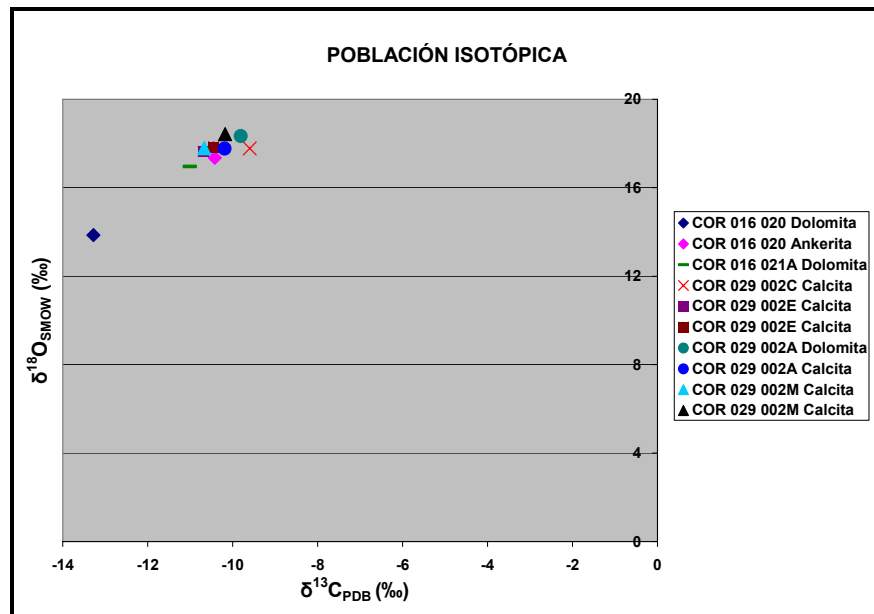
Los valores de  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$  obtenidos en los fluidos obtenidos en inclusiones fluidas hospedados en berilos, se encuentran dentro del rango establecido para valores isotópicos de deuterio aguas metamórficas (Figura 104 y 105), indicando que el origen del fluido mineralizador puede deberse a procesos de deshidratación de rocas profundas en la corteza.

Valores altos de  $\delta^{18}\text{O}$ , sugieren un origen marino para estos carbonatos y un posterior reequilibrio isotópico del fluido mineralizador con las rocas encajantes y probablemente una ligera o menor participación de aguas meteóricas (ver Figura 106 y 107).

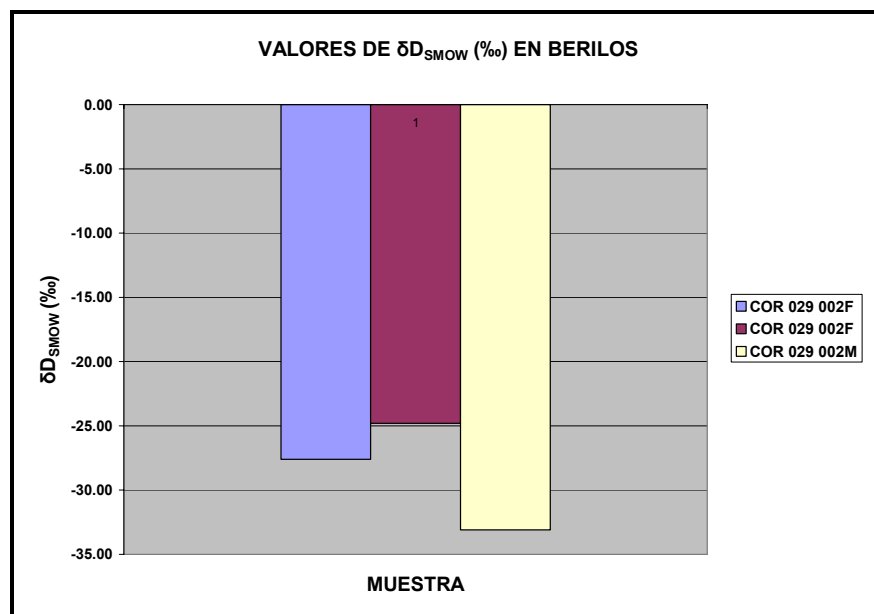
Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  en carbonatos de vena, son valores isotópicamente ligeros, entre -10.42 y -9.7‰, es decir muy próximos entre si (ver Figura 108).

Los valores de  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  se obtuvieron a partir de una muestra de pirita de roca encajante (COR 016 014) paralela a la laminación de la roca, pirita de origen diagenético, tal vez originada a partir de la reducción termoquímica intercalaciones evaporizas durante la etapa de diagénesis. Esta pirita de origen diagenético posee un valor isotópico de 11.00‰. También se obtuvo los valores  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de pirita de una muestra de vena (COR 029 002C), la cual posee un valor isotópico de

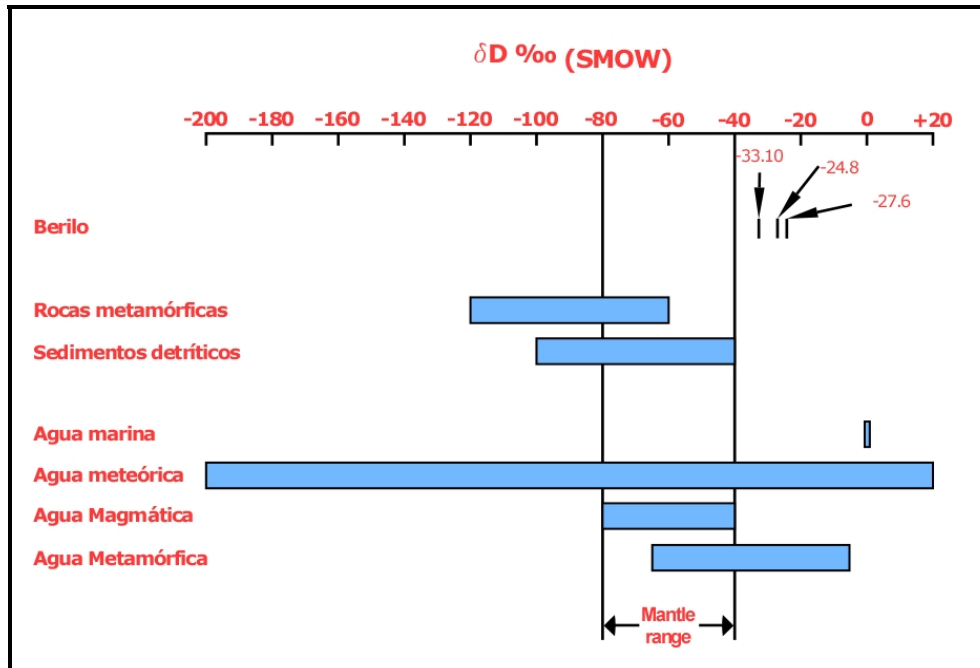
10.30‰. Como se puede observar los valores isotópicos entre estos dos tipos de piritas son muy próximos (Ver Figura 109).



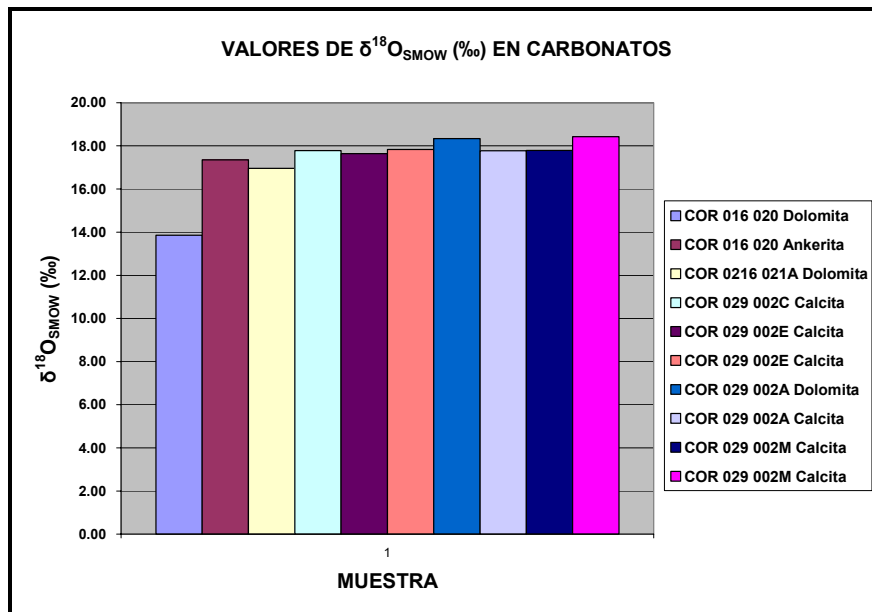
**Figura 103.** Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  vs.  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ .



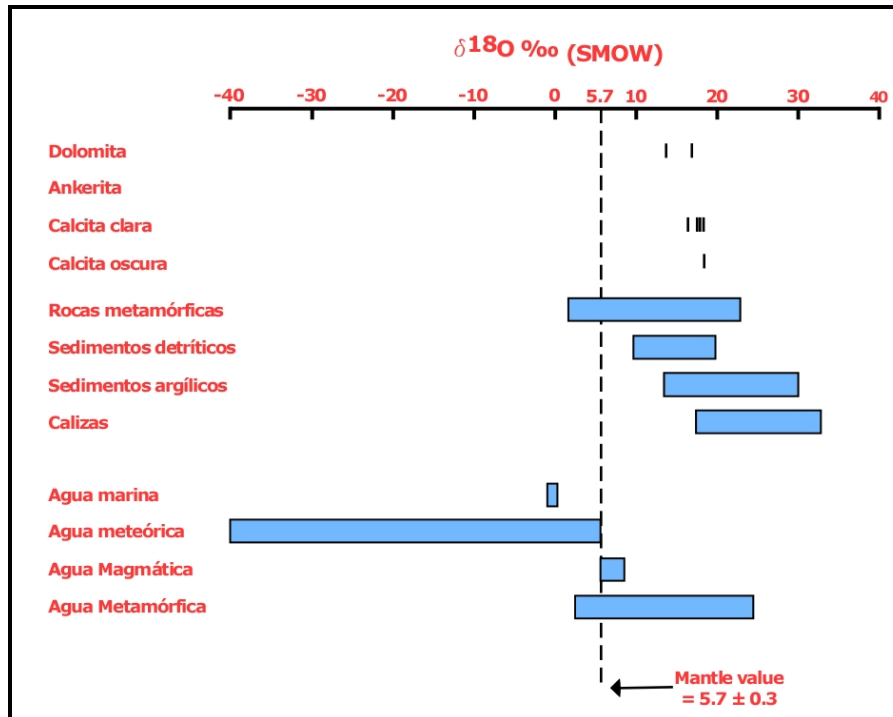
**Figura 104.** Histograma de valores de  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$  (‰) determinados en muestras de esmeralda.



**Figura 105.** Reservorios naturales de deuterio, junto con los valores isotópicos determinados en inclusiones fluidas hospedadas en cristales de berilo analizados. Tomado y modificado de Rollinson, 1996.



**Figura 106.** Histograma de valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  determinados en muestras de carbonatos.



**Figura 107.** Reservorios naturales de oxígeno, junto con los valores isotópicos determinados en los carbonatos analizados. Datos de: Taylor (1974), Onuma et al. (1972), Sheppard (1977), Graham y Harmon (1983) y Hoefs (1987). Tomado y modificado de Rollinson (1996).

**Tabla 15.** Muestras analizadas con su respectiva composición isotópica.

Muestra	Litología	Sitio de muestreo	Mineral muestreado	Obser.	$\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{(\text{CDT})}$ (‰)	$\delta\text{D}_{(\text{SMOW})}$ (‰)
COR 016 020	Brecha hidrotermal	Bolsa de carbonatos	Dol		-13.28	-16.54	13.86		
			Ank		-10.42	-13.16	17.35		
COR 016 021A	Brecha hidrotermal	Vena de dolomita	Dol		-11.01	-13.53	16.96		
COR 016 014	Lodolita carbonosa con pirita	Pirita disem. paral. en roca	Py	Paral.				11.00	
COR 029 002F	Lodolita carbonosa	Vena de berilo calcita	Be						-27.60
			Be						-24.80
COR 029 002C	Vena	Vena de calcita - pirita	Py					10.30	
			Cal	Clara	-9.60	-12.73	17.78		
COR 029 002E	Vena	Vena de calcita - berilo	Cal	Clara	-10.69	-12.87	17.64		
					-10.45	-12.68	17.84		
COR 029 002A	Brecha hidrotermal	Vena de carbonato -	Dol		-9.81	-12.19	18.34		
			Cal	Clara	-10.19	-12.74	17.77		
COR 029 002M	Lodolita carbonosa	Vena de calcita - berilo	Cal	Clara	-10.67	-12.73	17.79		
			Be						-33.10
			Cal	Oscura	-10.18	-12.10	18.43		

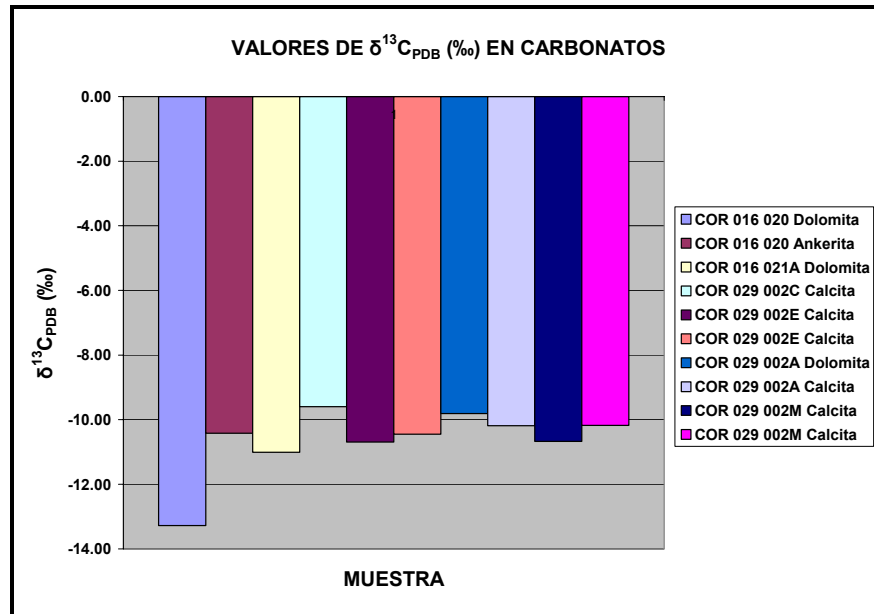


Figura 108. Histograma de valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  determinados en muestras de carbonatos.

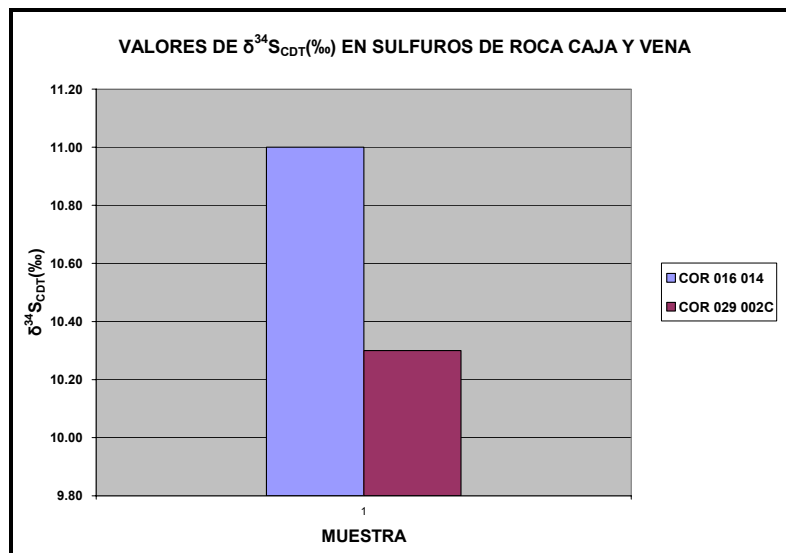


Figura 109. Histogramas de valores de  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  determinados en sulfuros de roca caja y vena.

#### 4.6.3 Consideraciones sobre la Procedencia del Fluido.

Para calcular la composición isotópica del agua en equilibrio con los carbonatos analizados, se estimó un intervalo teórico de temperatura, entre 200 y 400°C, teniendo en consideración las temperaturas máximas alcanzadas durante el evento hidrotermal. Las ecuaciones de fraccionamiento isotópico empleadas, son las propuestas por Zheng (1999):

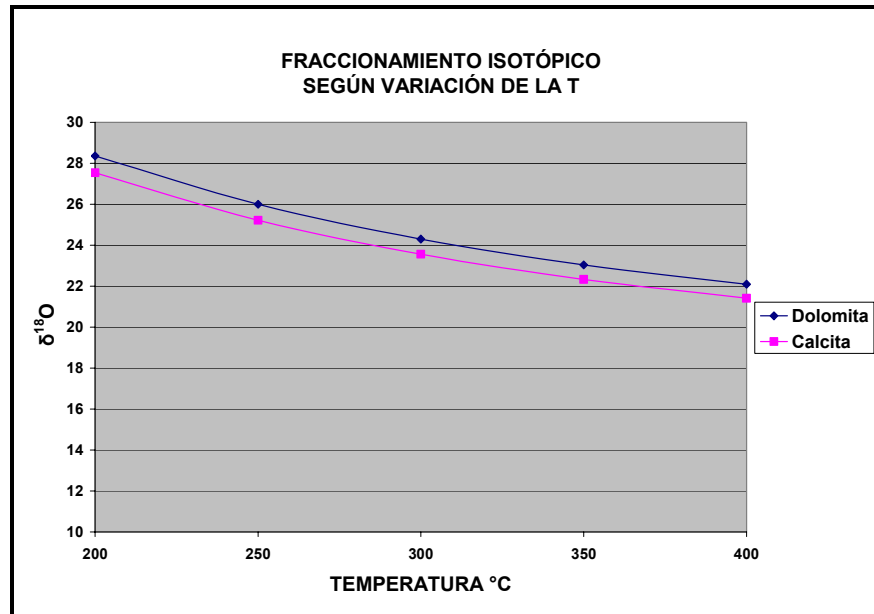
$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Dolomita-agua}} = 4.06(10^6/T^2) - 4.65(10^3/T^1) + 1.71 \quad (1)$$

$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Calcita-agua}} = 4.01(10^6/T^2) - 4.66(10^3/T^1) + 1.71 \quad (2)$$

Los valores isotópicos del  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  para el agua se reportan en la Tabla 16 y son graficados en la Figura 110.

**Tabla 16.** Resultados de la composición isotópica  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  de los carbonatos en equilibrio con el agua (en ‰).

MUESTRA	Mineral		T(°C)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (SMOW)	
	Dol	Cal			
COR 029 002A	X		200	28.36	
			250	26	
			300	24.3	
			350	23.04	
			400	22.1	
		X		200	27.54
				250	25.22
				300	23.56
				350	22.33
				400	21.41



**Figura 110.** Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, en la muestra COR 029 002A.

Se calculó también la composición isotópica del CO<sub>2</sub> en equilibrio con los carbonatos analizados, se utilizó el mismo intervalo de temperatura, entre 200 y 400°C. Las ecuaciones de fraccionamiento isotópico empleadas para el isótopo δ<sup>13</sup>C<sub>PDB</sub>, son las propuestas por Ohmoto y Rye (1979).

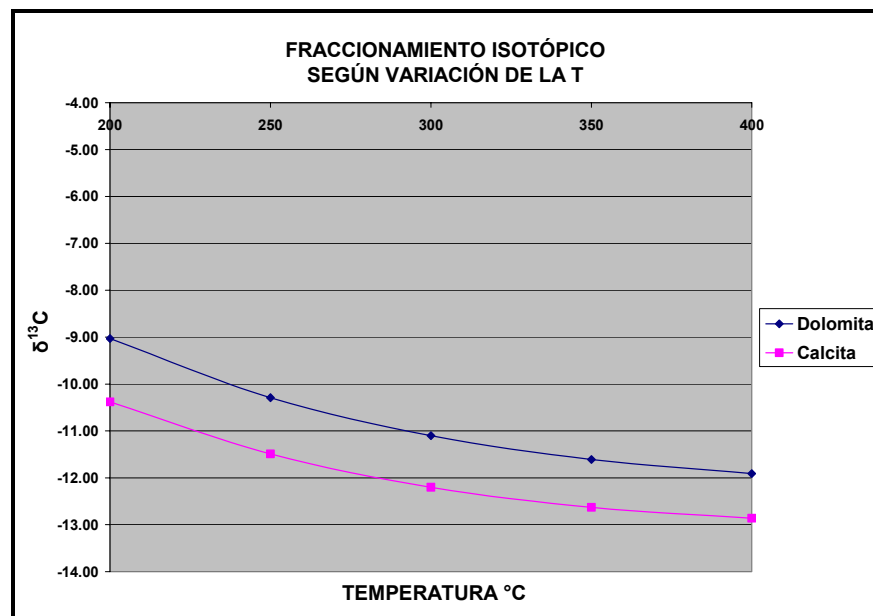
$$1000 \ln \alpha_{Dolomita-CO_2} = -0.891(10^9/T^3) + 8.737(10^6/T^2) - 18.11(10^3/T^1) + 8.44 \quad (3)$$

$$1000 \ln \alpha_{Calcita-CO_2} = -0.891(10^9/T^3) + 8.557(10^6/T^2) - 18.11(10^3/T^1) + 8.27 \quad (4)$$

Los valores isotópicos del δ<sup>13</sup>C<sub>PDB</sub> para el CO<sub>2</sub>, se reportan en la Tabla 17 son graficados en la Figura 111.

**Tabla 17.** Resultados de la composición isotópica  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  del los carbonatos en equilibrio con el  $\text{CO}_2$  (en ‰).

MUESTRA	Mineral		T(°C)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (PDB)
	Dol	Cal		
COR 029 002A	X		200.00	-9.03
			250.00	-10.29
			300.00	-11.10
			350.00	-11.61
			400.00	-11.91
		X	200.00	-10.38
			250.00	-11.49
			300.00	-12.20
			350.00	-12.63
	400.00		-12.86	



**Figura 111.** Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con  $\text{CO}_2$ , según variación de la temperatura, en la muestra COR 029 002A.

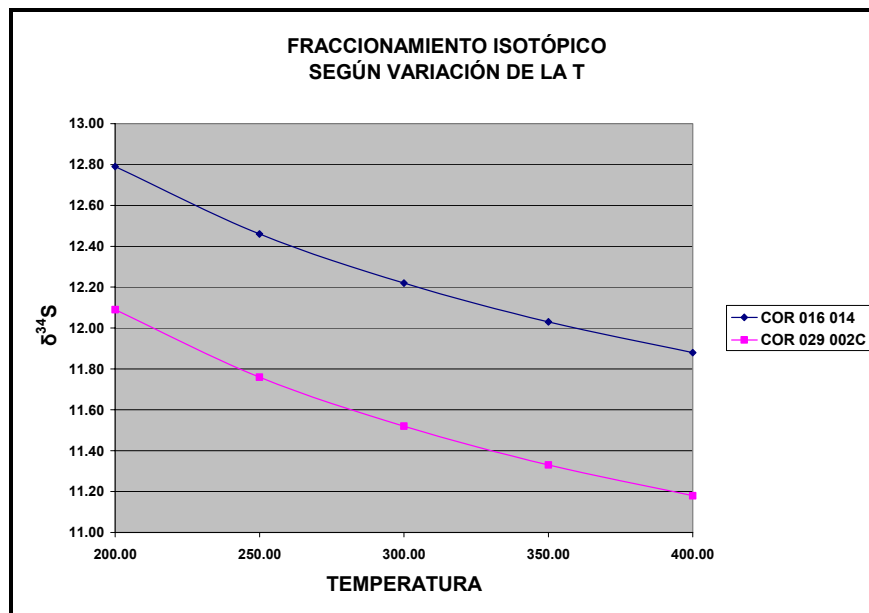
De igual forma, para el cálculo de la variación en la composición isotópica teórica de  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de pirita en equilibrio con  $\text{H}_2\text{S}$ , estimada en temperaturas entre 200 y 400°C. Las ecuaciones de fraccionamiento isotópico empleadas para el isótopo es la propuesta por Ohmoto y Rye (1979):

$$1000 \ln \alpha_{\text{Pirita-H}_2\text{S}} = 0.4(10^6/T^2)$$

Los valores isotópicos del  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  para el  $\text{H}_2\text{S}$ , se ilustran en la Tabla 18 y son graficados en la Figura 112.

**Tabla 18.** Resultados de la composición isotópica  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  del los carbonatos en equilibrio con el  $\text{H}_2\text{S}$  (en ‰).

MUESTRA	Mineral			
	Py	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ (CDT)		
COR 016 014	X	T(°C)	200.00	12.79
			250.00	12.46
			300.00	12.22
			350.00	12.03
			400.00	11.88
COR 029 002C	X		200.00	12.09
			250.00	11.76
			300.00	11.52
			350.00	11.33
			400.00	11.18



**Figura 112.** Fraccionamiento isotópico de sulfuros de roca caja (COR 016 014) y vena (COR 029 002C) en equilibrio isotópico con  $\text{H}_2\text{S}$ , según variación de la temperatura.

#### 4.6.4 Geotermometría Isotópica.

Una vez calculada la composición isotópica de los fluidos mineralizantes, se procede a obtener estimaciones de temperatura para dolomitas y calcitas, a partir de los datos de composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  y  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ . Para el cálculo de la temperatura de la pareja mineral dolomita-calcita en la muestra COR 0029 002A, se obtiene restando las ecuaciones de fraccionamiento isotópico del oxígeno en relación con el  $\text{H}_2\text{O}$  (restando las ecuaciones 1 y 2, obteniendo la ecuación 5), mientras que para el isótopo de carbono se obtiene restando las ecuaciones de fraccionamiento isotópico del carbono en relación con el  $\text{CO}_2$  (restando las ecuaciones 3 y 4, obteniendo la ecuación 6):

$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Dolomita-Calcita}} = 0.05(10^6/T^2) + 0.01(10^3/T) \quad (5)$$

$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Dolomita-calcita}} = 0.18(10^6/T^2) + 0.17 \quad (6)$$

Las temperaturas arrojadas por dichos cálculos son de 37°C, para la ecuación 5 y 652°C para la ecuación 6.

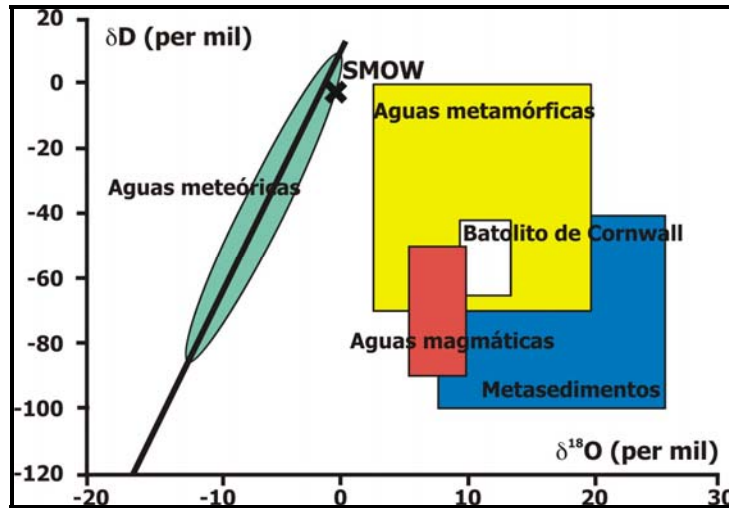
#### 4.6.5 Implicaciones entorno al origen de los paleofluidos.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  de las diferentes muestras de carbonatos de vena en equilibrio con agua, se encuentran en el rango entre +16.96 y +18.43‰ lo que indica que los carbonatos en venas (calcita y dolomita) están relacionados con aguas producto de la deshidratación de metasedimentos, dado que estos se encuentran en un rango de  $\delta^{18}\text{O} = +8 - +26\text{‰}$  (ver Figuras 106, 107 y 113). Aunque, si se tomara esta afirmación con solo el  $\delta^{18}\text{O}$ , se estaría en una gran incertidumbre, pues interacción de las aguas hidrotermales con las rocas va a producir modificaciones importantes de  $\delta^{18}\text{O}$  en ambos materiales (Recio y

Subías, 2002). Pero esto se confirma con los análisis de  $\delta D$  en inclusiones fluidas en hospedados en berilos (las aguas hidrotermales normalmente conservan las características de su naturaleza inicial, en lo que respecta al  $\delta D$ , dado que la cantidad de H en el agua es normalmente muy superior al contenido en H de la roca, donde suele ser un elemento traza, Recio y Subías, 2002) pues, los datos de  $\delta D$  se encuentran dentro del rango establecido para valores isotópicos de deuterio para aguas metamórficas ( $\delta D = 0/-70$  ‰, ver Figura 104, 105 y 113). Probablemente, existe una ligera o menor participación de aguas meteóricas.

De igual forma, los bajos valores isotópicos calculados de  $\delta^{13}C_{PDB}$  de los carbonatos de vena en equilibrio con  $CO_2$ , indican que el C de los carbonatos es derivado de la oxidación de la materia orgánica proveniente de la roca encajante, ya que en sistemas hidrotermales el valor de  $\delta^{13}C$  del  $CO_2$  de derivación orgánica en los fluidos puede ser muy variable, aunque en términos generales, suele ser menor de  $\delta^{13}C \approx -10$  ‰ (Recio y Subías, 2002).

Los valores medios calculados de  $\delta^{34}S_{CDT}$  de sulfuros provenientes de roca caja (11.00 ‰) y venas (10.30 ‰), en equilibrio con el  $H_2S$  a las temperaturas del evento hidrotermal, son muy próximos entre sí (ver Tabla 18), sugiriendo que la fuente de S para las piritas de vena, está asociado en gran parte a la piritita de origen diagenético de la roca encajante, sin embargo no se descarta algunos otros aportes de S de otras fuentes sedimentarias.



**Figura 113.** Valores isotópicos de O e H en algunas aguas y reservorios de interés en el estudio de depósitos minerales. Tomado de Recio y Subías (2002).

El cálculo de la temperatura de la pareja mineral dolomita-calcita, en la muestra COR 0029 002A, arrojó valor 37°C para isótopos  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ . El valor de temperatura obtenido para el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  (543°C), se aleja bastante del obtenido por  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ . Estas temperaturas no son geológicamente razonables, en comparación con las obtenidas por medidas de microtermometría de inclusiones fluidas, puede ser una indicación de modificaciones sufridas por el sistema con posterioridad a su cristalización, o muy seguramente a que la calcita dolomita, no cristalizaron en equilibrio isotópico. Esto es también consecuente con los gráficos de fraccionamiento isotópico vs. Temperatura entre pares minerales, ya que sus trazos son paralelos entre si, es decir, si el par mineral, dolomita-calcita se encontraran en equilibrio, estas al graficarse, se obtendría una temperatura en común para el par mineral. Además, hay que agregar que la utilidad de los isótopos de carbono como geotermómetros suele ser limitada, como consecuencia del hecho de que es raro que se forme más de una fase portadora de C en equilibrio, especialmente durante los estadios principales de mineralización (Recio y Subías, 2002).

## 5. INTERPRETACIÓN FINAL.

Con base en los resultados obtenidos a partir del análisis en muestras macroscópicas y microscópicas (petrografía), así como en la distribución de las fases minerales presente en la mina, la tipología de las manifestaciones hidrotermales y los resultados obtenidos en las pruebas de DRX, se determinaron dos dominios principales: el primero que consta de 2 zonas: 1) Zona de brechificación el consta de brechas de fragmentos angulares a subredondeados de lodolita albitizada y lodolita carbonosa parcialmente albitizada, generalmente yacen paralelas a la estratificación. Están compuestos por una matriz cementante de albita, en menor proporción pirita y ocasionalmente moscovita en estructura fluidal, sin embargo, en otros sectores se preserva tan solo la albita, debido a la acción de aguas supergénicas. 2) zonas albitizadas, los cuales son cuerpos masivos de color blanco compuestas principalmente por albita y en menor proporción pirita, incluyen algunos pocos fragmentos de roca encajante. Son cuerpos estratiformes (paralelos a la estratificación de la lodolita carbonosa) aunque en algunas ocasiones la cortan. Se presentan en contacto con lodolita carbonosa parcialmente albitizada, con profusión de venas de albita. Estas brechas y los cuerpos albitizados constituyen un material bastante triturado y friable (podría indicar que se trata de un retrabajamiento, zona de cataclasis o zona de deformación frágil posterior a la mineralización) y pérdida de material cementante por acción de disolución de aguas meteóricas (lixiviación). El segundo dominio lo constituyen también 2 zonas: Zona de venas, el cual son rocas inmediatamente en contacto con la zona de albitización presentan profusión de venas. Son cuerpos fracturados (con estructura brechoide) de lodolitas carbonosas shale parcialmente albitizadas, presentan laminación plana paralela continua en láminas regulares, aunque en algunas zonas se observa plegamiento de la laminación, tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que

origina el proceso de albitización. Las fracturas se encuentran rellenas por agregados de albita tabular y ocasionalmente asociado con pirita que se presenta hacia el centro de estos agregados y diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa. La zona de roca encajante de la mineralización, al cual corresponde a rocas más alejadas de la zona de albitización. Estas no presentan desarrollo de estructura brechoide, sin embargo se encuentran muy diaclasadas. Estas corresponden a niveles más competentes los cuales se conforman por lodolitas calcáreas y silíceas carbonosas. También han sufrido procesos de albitización parcial, aunque en menor grado. Igual que en el caso de las lodolitas carbonosas con profusión de venas, la laminación en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltración o percolación del fluido hidrotermal mineralizante que produjo el proceso de albitización. Esto hace pensar que los paleofluidos mineralizantes percolan la roca preferencialmente por entre los planos de estratificación y laminación. Algunas de estas rocas desarrollan venas de albita que cortan la laminación de la roca. También están las venas que corta la laminación que se componen de albita hacia la pared de la vena y en el centro con desarrollo de calcita fibrosa con inclusiones de pirita. La textura de estas venas de calcita fibrosa parece corresponder a una textura sintaxial.

Las manifestaciones vetiformes se componen principalmente de la paragénesis Carbonato (Calcita-Dolomita), Albita, pirita y minerales accesorios tales como berilo, moscovita y sericita. De acuerdo con la zonación propuesta arriba estas se forman en la denominada zona de venas, inmediatamente después de la zona de albitización. Texturalmente, las venas son en general de crecimiento compuesto, hacia los bordes es de tipo sintaxial (albita) y hacia el centro de tipo antitaxial (dolomita-calcita). Sin embargo, también se presentan venas de relleno masivo las cuales son venas con textura de crecimiento antitaxial.

Los minerales de albita identificados en el área de estudio (estudios mineralógicos petrográficos al Interior de la Mina “Buenavista” y la columna de la Formación Batá, Sección 1) son básicamente de 3 tipos texturales: 1) albitas de tamaño inferior 60  $\mu\text{m}$  de morfologías irregulares, las cuales por lo general se encuentran diseminadas en las rocas; 2) albitas de tamaño inferior 20  $\mu\text{m}$  con morfologías irregulares, formando agregados que forman lentes menores 1 cm. y; 3) albitas con tamaños entre las 250 y 50  $\mu\text{m}$ , generalmente de forma tabular euhedral presentes en los materiales de relleno de venas y formando agregados lenticulares y venas al interior de las rocas.

Las albitas inferiores a 20  $\mu\text{m}$  parecen estar relacionadas con un proceso de albitización que afecto a las rocas de la Formación Batá, y al parecer relacionadas con un evento anterior al evento hidrotermal mineralizante (responsable de la mineralización de esmeralda). Este ultimo, relacionado con las albitas de tamaños entre las 250 y 50  $\mu\text{m}$ , anteriormente descritas.

Los cuerpos brechados se caracterizan por poseer fragmentos de lodolita y lodolita shale orgánica que han experimentado o no procesos de albitización y poseen una morfología angular a subredondeada y cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 y 7cm. Algunos de los fragmentos manifiestan rotación. Las brechas presentan matriz cementante compuesta de los mismos minerales de la paragénesis hidrotermal: albita, carbonatos, pirita y minerales accesorios tales como moscovita y sericita, lo que causa que la brecha posea una muy buena cohesión. En el mismo cuerpo brechoso las texturas pueden variar lateral y verticalmente entre dos algunas veces, lentes aislados de brecha clasto-soportadas están rodeadas por una brecha cemento-soportadas, aunque predomina la brecha clasto-soportadas. Estos cuerpos brechificados presentan también estructuras bandeadas de coloraciones blancas corresponde a una zona compuesta por fenocristales de calcita-dolomita de tamaño en una matriz

compuesta por albita, micrita-microesparita, cuarzo? y pirita, y otras que presentan coloraciones oscuras corresponde a procesos de albitización y carbonatización (Dolomita-ankerita), lo cuales se encuentran enfocados, principalmente en fracturas, además presenta con gran profusión de pirita. Estas estructuras bandeadas son concordantes con estratificación de la roca.

El origen de los cuerpos brechificados no se encuentra relacionado con procesos de hidrofracturamiento o brechamiento hidráulico asociado a fenómenos de ebullición o efervescencia del fluido, ya que las texturas desarrolladas en las brechas estudiadas no exhiben las texturas típicas de brechas originadas por estos procesos (brechas de mosaico, en un patrón de rompecabezas con una rotación insignificante de los fragmentos, de morfología angular y comúnmente del mismo tamaño Jébrak, 1997), además de que durante estudios de petrografía de inclusiones fluidas no se hallaron evidencias fenómenos de ebullición del paleofluido mineralizador (coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor). Por lo anterior, se supone que el proceso de brechificación no fue originado por el fluido, si no que esta fue previa a la mineralización. El tipo de textura mostrado por las brechas estudiadas se asemeja mas a aquellas asociadas a propagación de fractura que se encuentran en zonas frágiles de cizallamiento, o brechas desarrolladas a partir de trituración tectónica. Al mismo tiempo, la existencia de fragmentos subredondeados indica que estos han sufrido redondeamiento, muy seguramente por la acción de desgaste por fricción entre fragmentos, el cual puede desarrollarse dentro de un flujo cataclástico (Jébrak, 1997). Por la geometría y disposición de las brechas con respecto a la estratificación, en este trabajo se propone que el proceso de brechificación puede estar relacionado con los procesos de plegamiento, por procesos de deslizamiento flexural.

El termino “cascoche” utilizado por los mineros del sector, se refiere a brechas y cuerpos albitizados que han sufrido retrabajamiento (zona de cataclasis) posterior a la mineralización y pérdida de material cementante por acción de aguas supergénicas, adquieren tonalidades naranja amarillento debido a la oxidación de la pirita. Este material es muy característico de la zona de estudio y también se sigue para la explotación de esmeraldas. Los minerales producto de esta alteración supergénica se determinaron por estudios de DRX: minerales tales como yeso, jarosita, natroalunita y romboclasa, son generados a expensas de la oxidación de la pirita con la consecuente acidificación de las aguas supergénicas percolantes, las cuales disuelven los carbonatos el cual constituye un importante mineral de la matriz cementante de brechas y cuerpos albitizados, dejando en ocasiones oquedades en forma de romboedro o formas aproximadas, que delatan la existencia estos minerales. También se presenta la formación de gibbsita en esta zona por acción de fluidos supergénicos. Se debe a la descomposición de aluminosilicatos tales como albita e illita, aunque mas probablemente que se deba a la descomposición de albita por hidrólisis acida.

El análisis petrográfico junto con los estudios de microtermometría de IF, permitió determinar que las inclusiones de venas y brechas hidrotermales, son principalmente primarias polifásicas (Tipo III) y presentan un sistema composicional compuesto por:  **$H_2O + NaCl + CaCl_2 + CO_2 \pm KCl$** . Sin embargo, en estudios elaborados en Universidad de Virginia Tech, Estados Unidos por el grupo MINPETGEO (Escuela de Geología, Universidad Industria del Santander) con al técnica láser ablation ICP-MS en inclusiones fluidas hospedados tanto en carbonatos como en berilos, indican que la verdadera composición del sistema (Ph. D. Luís Carlos Mantilla F., en comunicación oral) es  **$H_2O + NaCl + CaCl_2 + KCl + FeCl_2 + LiCl + (\pm CcCl, GaCl_3) + CO_2 + N_2$** . Los fluidos acuoso-salinos que rellenaron las venas, comprenden eventos que alcanzaron temperaturas en un

rango de 215-330°C con salinidades de alrededor entre los 35.4 y 29.5% en peso de NaCl.

En general en los diagramas ternarios y binarios de CaO, FeO y MgO ilustran variaciones composicionales entre la dolomita y la ankerita, dentro de los carbonatos de las venas muestreadas. La variación comprende desde exclusivamente dolomita pasando por dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)) y siguiendo por ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)) hasta llegar casi al extremo de la serie con ankerita. La calcita parece ser que es posterior, cuando el fluido se enriquece en Ca, y es de los últimos minerales en cristalizar. Esta variación química de los carbonatos muestra el comportamiento químico del fluido pues este se empobrece en Mg a medida que la serie de Dolomita-ankerita se ejecuta, para posteriormente enriquecerse en Fe, cristalizando ankerita y pirita. Posteriormente el fluido se enriquece en Ca, el cual hará parte de una calcita, que es posterior a la dolomita-ankerita. La clasificación química de los feldespatos se utilizó el diagrama ternario para los óxidos de K<sub>2</sub>O, CaO y Na<sub>2</sub>O y el diagrama de clasificación de feldespatos se puede observar que todos los datos químicos graficados caen en el vértice sódico clasificando los químicamente a los feldespatos como albita. Aunque con pocos datos en berilos, muestran una disminución del contenido de V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y del Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mientras que el Na<sub>2</sub>O experimenta un aumento hacia el borde del berilo, es decir, existe una relación inversa entre el V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el Na<sub>2</sub>O.

De acuerdo a los estudios petrográficos y de química mineral, la historia de cristalización inicia con albita que se ubica preferiblemente en los bordes de la vena (crecimiento sintaxial), contemporáneo a la cristalización de Dolomita en el centro de la vena (cristalización antitaxial), seguido de esto se encuentra la precipitación de dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)), Ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)), Ankerita con menor contenido de Mg (Ankerita). Durante la cristalización de la Ankerita (ya sea rica en Mg o pobre en Mg), inicia también la cristalización de

pirita, seguido por la cristalización de sericita? y por ultimo la cristalización de calcita.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  en las diferentes muestras de carbonatos analizados, se encuentran en el rango entre +16.96 y +18.43‰ lo que indica que los carbonatos en venas (calcita y dolomita) están relacionados con aguas derivadas de la devolatilización de metasedimentos. Esto es confirmado con los análisis de  $\delta\text{D}$  en inclusiones fluidas en hospedados en berilos, se encuentran dentro del rango establecido para valores isotópicos de deuterio para aguas metamórficas ( $\delta\text{D} = 0/-70$  ‰). Probablemente, existe una ligera o menor participación de aguas meteóricas.

Los valores medios de  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de sulfuros provenientes de roca caja y venas son muy próximos entre si, sugiriendo que la fuente de S para las piritas de vena, esta asociado en gran parte a la pirita de origen diagenético de la roca encajante, sin embargo no se descarta algunos otros aportes de S de otras fuentes sedimentarias. De igual forma, los bajos valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  indican que los carbonatos son derivados de la oxidación de la materia orgánica proveniente de la roca.

## 6. CONCLUSIONES.

- Con base en los análisis microscópicos petrográficos y de DRX se determinaron dos dominios principales en el corte estudiado al interior de la Mina “Buenavista”: **Dominio 1**, el cual consta de 2 zonas: Zona de brechificación y zona albitización. Estas zonas forman cuerpos estratiformes a manera de lentes irregulares. Se presentan en contacto con lodolita carbonosa parcialmente albitizada, la cual presenta una importante profusión de venas hidrotermales rellenas fundamentalmente de albita ± pirita. Estas brechas y los cuerpos albitizados constituyen un material bastante triturado y friable (podría indicar que se trata de un retrabajamiento, zona de cataclasis o zona de deformación frágil posterior a la mineralización) y pérdida de material cementante por acción de disolución de aguas meteóricas.

El **Dominio 2**, lo constituyen también 2 zonas: *Zona A*, la cual se caracteriza por el alto contenido de venas en aquellas rocas, localizadas en inmediaciones a la zona de albitización y; La *Zona B*, la cual corresponde a rocas más alejadas de la zona de albitización, no presentan desarrollo de estructura brechoide, sin embargo se encuentran muy diaclasadas. Todo el dominio 2 en general se caracteriza por presentar rocas más competentes, constituidas por lodolitas calcáreas y silíceas carbonosas, las cuales han sufrido procesos de albitización parcial, aunque en menor grado en comparación con el Dominio 1.

- Con base en los análisis macroscópicos, petrográficos y de DRX se determinaron dos segmentos principales en la columna de la Formación Batá, Sección 1: **Segmento A**, Consiste principalmente de intercalaciones lodolitas grises claras y gris verdosas con algunas pocas intercalaciones de lodolitas y limolitas orgánicas carbonosas. Algunos niveles de lodolita gris clara posee

intercalaciones de niveles arcilloso con coloraciones café oscuro, de aspecto botroidal, que los mineros denominan “cascoche” el cual los mineros siguen para la explotación de esmeraldas. En este segmento la albita es más abundante y constante, con respecto al segmento B, lo que podría reflejar que el proceso de albitización es más fuerte en la parte basal de la columna. También es evidente la ausencia de pirita en este segmento de la columna.

**Segmento B**, constituido por una secuencia monótona interestratificada de lodolitas, arcillolitas, limolitas y shales orgánicos carbonosos. Algunos de estos cuerpos presentan nódulos o lentes de pirita paralela a la laminación (pirita de origen diagenético). En la parte superior del segmento se presenta: 1) un nivel brechificado de geometría lenticular (ver Figura 21), concordante con la estratificación; consiste de fragmentos de lodolita y shales orgánicos carbonosos, de morfología angular a subredondeada, cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 y 7cm, con matriz cementante compuesta de los mismos minerales de la paragénesis hidrotermal (calcita-dolomita, albita y pirita). 2) lodolitas negras orgánicas intensamente fracturadas, presentando estructura en “*pencil clivage*” y replegamiento asociado a una zona de cizallamiento paralelo a la dirección de buzamiento de los estratos, en sentido hacia la charnela del anticlinal. Esta zona presenta algunos niveles brechificados alterados supergenicamente paralelos a la estratificación. De acuerdo a los estudios de petrografía y DRX la paragénesis hidrotermal de este segmento consta de: Albita + Pirita ± Calcita-dolomita ± Moscovita. La aparición de la pirita en este segmento de la columna, puede estar relacionada con el contenido de materia orgánica, pues está se relaciona con la reducción termoquímica de los sulfatos para formar la pirita (Giuliani *et al.*, 2000), ya que las lodolitas y limolitas orgánicas carbonosas son muy escasas en el segmento A, lo que explicaría la ausencia de esta en este segmento.

- El origen de los cuerpos brechificados no está relacionado con variaciones temporales en la presión del paleofluido (asociado a fenómenos de ebullición o efervescencia). En otras palabras, el fluido no fue el agente responsable del fracturamiento, sino que aprovechó los espacios generados por el fracturamiento de la roca (a causa de agentes tectónicos), para escapar. La textura mostrada por las brechas estudiadas, se asemeja más a aquellas asociadas a propagación de fractura que se encuentran en zonas frágiles de cizallamiento, o brechas desarrolladas a partir de trituración tectónica. Se propone el mecanismo tectónico responsable de la brechificación puede estar relacionada con los procesos de plegamiento, es decir, por el proceso denominado deslizamiento flexural.
- Los minerales de albita identificados en el área de estudio (estudios mineralógicos petrográficos al Interior de la Mina “Buenavista” y la columna de la Formación Batá, Sección 1) son básicamente de 3 tipos texturales: 1) albitas de tamaño inferior 60  $\mu\text{m}$  de morfologías irregulares, las cuales por lo general se encuentran diseminadas en las rocas; 2) albitas de tamaño inferior 20  $\mu\text{m}$  con morfologías irregulares, formando agregados que forman lentes menores 1 cm. y; 3) albitas con tamaños entre las 250 y 50  $\mu\text{m}$ , generalmente de forma tabular euhedral presentes en los materiales de relleno de venas y formando agregados lenticulares y venas al interior de las rocas.

Las albitas inferiores a 20  $\mu\text{m}$  parecen estar relacionadas con un proceso de albitización que afectó a las rocas de la Formación Batá, y al parecer relacionadas con un evento anterior al evento hidrotermal mineralizante (responsable de la mineralización de esmeralda). Este último, relacionado con las albitas de tamaños entre las 250 y 50  $\mu\text{m}$ , anteriormente descritas.

- El análisis petrográfico junto con los estudios de microtermometría de IF (en muestras adquiridas en el campamento de la Mina “Buenavista”) permitió determinar que las inclusiones fluidas, tanto en venas como en rellenos hidrotermales en brechas, apuntan a que los fluidos mineralizantes (responsable de la mineralización emeraldífera) se correlacionan con el siguiente sistema químico:  $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{KCl} + \text{FeCl}_2 + \text{LiCl} + (\pm\text{CsCl}, \text{GaCl}_3) + \text{CO}_2 + \text{N}_2$ . Las temperaturas mínimas de atrapamiento de estos fluidos oscilan entre 215-330°C y con salinidades entre los 35.4 y 29.5% en peso de NaCl.
- El estudio de química mineral ilustra variaciones composicionales entre la dolomita y la ankerita, dentro de los carbonatos de las venas muestreadas. La variación comprende desde exclusivamente dolomita pasando por dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)) y siguiendo por ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)) hasta llegar casi al extremo de la serie con ankerita. La calcita parece ser que es posterior, cuando el fluido se enriquece en Ca, y es de los últimos minerales en cristalizar. Esta variación química de los carbonatos muestra el comportamiento químico del fluido pues este se empobrece en Mg a medida que la serie de Dolomita-ankerita se produce, para posteriormente enriquecerse en Fe, cristalizando ankerita y pirita. Posteriormente el fluido se enriquece en Ca, el cual hará parte de una calcita, que es posterior a la dolomita-ankerita. La clasificación química de los feldespatos corresponde exclusivamente a albita y no se aprecia ninguna variación química de estos minerales. Aunque con pocos datos en berilos, muestran una disminución del contenido de  $\text{V}_2\text{O}_3$  y del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , mientras que el  $\text{Na}_2\text{O}$  experimenta un aumento hacia el borde del berilo.

- De acuerdo a los estudios petrográficos y de química mineral, la historia de cristalización inicia con albita que se ubica preferiblemente en los bordes de la vena (crecimiento sintaxial), contemporáneo a la cristalización de Dolomita en el centro de la vena (cristalización antitaxial), seguido de esto se encuentra la precipitación de dolomita rica en Fe (Dolomita (+Fe)), Ankerita rica en Mg (Ankerita (+Mg)), Ankerita con menor contenido de Mg (Ankerita). Durante la cristalización de la Ankerita (ya sea rica en Mg o pobre en Mg), inicia también la cristalización de pirita, seguido por la cristalización de sericita y por ultimo la cristalización de calcita.
- El termino “cascoche” utilizado por los mineros del sector, se refiere a materiales de origen hidrotermal que han sufrido retrabajamiento (zona de cataclasis) y alteración supergénica, posterior a la mineralización. Los minerales producto de esta alteración supergénica se determinaron por estudios de DRX: yeso, jarosita, natroalunita y romboclasa, son generados a expensas de la oxidación de la pirita.
- Los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  en las diferentes muestras de carbonatos, relacionados al evento hidrotermal mineralizante (responsable de la mineralización de esmeralda) están relacionados con aguas derivadas de la devolatilización de metasedimentos. Esto es confirmado con los análisis de  $\delta\text{D}$  en inclusiones fluidas en berilos, se encuentran dentro del rango establecido para valores isotópicos de deuterio para aguas metamórficas. Probablemente, existe una ligera o menor participación de aguas meteóricas. Los valores medios de  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de sulfuros provenientes de roca caja y venas son muy próximos entre si, sugiriendo que la fuente de S para los sulfuros de vena, esta asociado en gran parte a la pirita de origen diagenético de la roca encajante, sin embargo no se descarta algunos otros aportes de S de otras

fuentes. De igual forma, los bajos valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  indican que los carbonatos son derivados de la oxidación de la materia orgánica proveniente de la roca encajante.

- De acuerdo a todos los estudios anteriores, , se propone como criterios o guías de exploración de esmeraldas los siguientes criterios:

En materiales hidrotermales sin alteración supergénica la fabrica y texturas de las venas deben corresponder a relleno compuesto o antitaxial y brechas con estructura brechoide cuyos fragmentos deben estar cementados por minerales de la paragénesis hidrotermal. Los materiales de relleno hidrotermal guía corresponden principalmente a dolomita y albita los cuales están relacionados directamente con la esmeralda. Las inclusiones fluidas en carbonatos de venas así como de relleno hidrotermal en brechas debe corresponder a inclusiones fluidas primarias (tipo III), y la composición isotópica del  $\delta^{18}\text{O}$  de estos carbonatos (relacionados al evento hidrotermal mineralizante) deben poseer valores isotópicos pesados entre +17 y +18.5‰ y valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ligeros, entre -11 y -9 ‰.

En materiales hidrotermales con alteración supergénica, “cascoche”, se propone como criterios o guías de exploración de esmeraldas los siguientes criterios: si aun se conserva las estructuras del material de origen hidrotermal, esta debe corresponder a una estructura brechoide, tener tonalidades naranja amarillento (óxidos), asociadas a la oxidación de la pirita. Los minerales guía corresponden yeso, jarosita, natroalunita y romboclasa, para una mediana alteración del material. En el caso de que la alteración sea muy avanzada, el mineral de alteración guía corresponde a gibbsita.

## 7. RECOMENDACIONES.

- Realizar estudios estructurales detallados, con el fin de establecer la relación temporal y espacial entre la mineralización y el plegamiento, en este trabajo se propone el mecanismo tectónico responsable de la brechificación, la cual puede estar relacionada con los procesos de plegamiento (procesos de deslizamiento flexural).
- Se recomienda un análisis más detallado de las inclusiones fluidas, en berilos y carbonatos, con el fin de comparar salinidades y temperaturas de cada uno de estos minerales, para así de esta forma establecer los mecanismos físico-químicos posibles, responsables de la precipitación de estos minerales, ya que muchos datos no pudieron ser tomados debido a la decrepitación de las inclusiones e igualmente debido a que muchos tomados no son confiables.
- Se recomienda realizar mapas de rayos X en microsonda electrónica, para verificar de una manera más clara y concisa la zonación composicional en berilos.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- ACOSTA, J. E., (2002). Estructura Tectónica y Modelos en 3D del Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental y del Valle Medio del Magdalena, Colombia. Tesis de doctorado. Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, Londres. 163 Págs.
- BRANQUET, Y., CHEILLETZ, A., COBBOLD, P. R. BABY, P. LAUMONIER, B.AND GIULIANI. G., (2002). Andean deformation and rift inversion, eastern edge of Cordillera Oriental (Guateque-Medina area), Colombia. Journal of South American Earth Sciences, volumen 15. Págs. 391 - 407.
- BÜRGL, H., (1960). El Jurásico e Infracretáceo del Rió Batá, Boyacá. Servicio Geológico Nacional de Colombia, Boletín de Geología 6, Págs. 169-21, Bogotá, Colombia.
- CASTELLANOS, O.; RIOS, C., (2005). Microsonda electrónica; principios de funcionamiento. Revista colombiana de tecnología de avanzada. Volumen 2 (6). Págs. 1 - 6.
- CHEILLETZ, A., FÉRAUD, G., GIULIANI, G & RODRÍGUEZ, C., T., (1994). Time-Pressure and Temperature Constrains on the Formation of Colombian Emeralds:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Laser-Probe Dating and Fluid Inclusions Study. Economic Geology, Vol. 82, Págs. 361-380.
- CHEILLETZ, A., GIULIANI, G., ZIMMERMANN, J. L., RIBEIRO-ALTHOFF, A. M., (1995). Ages, Geochemical Signaturas and Origin of Brazilian and

Colombian emerald deposits: A Magmatic versus Sedimentary Model. *Mineral Deposits*. Págs. 569-572.

- CHEILLETZ, A. y GIULIANI, G., (1996). The genesis of Colombian Emeralds: a restatement. *Mineral Deposits*, Vol. 31, Págs. 359-364.
- CLAYTON, R. N., GOLDSMITH, J. R., KAREL, K. J., MAYEDA, T. K. y NEWTON, R. C., (1975). Limits on the Effect of Pressure on isotopic Fractionation. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 39, Págs. 1197- 1201.
- COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PENAS, R., PULHAM, A. J., TABORDA, A., (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Volumen 79 (10), Págs. 1421-1443.
- DUNNE, W. M. y HANCOCK, P. L. (1994). Paleostress analysis of small-scale brittle structures. *Continental Deformation*. Pergamon Press, Cambridge, Págs. 101–120.
- ETAYO S. F., SOLÉ DE PORTA, N. DE PORTA, J., AND GAONA. T. (2003)., The Batá Formation of Colombia is truly Cretaceous, not Jurassic, *Journal of South American Earth Sciences*, volumen 16. Págs. 113-117.
- FAURE, G. (1986). *Principles of Isotope Geology* (Segunda edición), Edit. John Wiley & Sons. 589 Págs.

- FORERO, H., (1987). Esmeraldas. En: Recursos Minerales de Colombia, Tomo II. Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS. Tomo 2: 567-605.
- GIULIANI, G., CHEILLETZ, A., RUEDA, F., FERAUD, G., FRANCE-LANORD, C., (1995). The Genesis of Colombian Emerald deposits: An Unique example of Beryllium Mineralization Developer in a Black Shale Environment. *Mineral Deposits*. Págs. 943-946.
- GIULIANI, G. CHEILLETZ, A. LANORD, C, F. BRANQUET, Y. COCET, P. LAUMOMNIER, B., (2000). Sulfate reduction by Organic matter in Colombia Emerald deposits: Chemical and stable isotope (C, O, H) evidence). *Economic Geology* Volume 93. Págs 1129-1153
- JÉBRAK, MICHEL., (1997). Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*; Volume 12, Issues 3. Págs 111-134.
- JULIVERT, M. (1986). Curso de geología estructural. Asociación colombiana de geólogos y geofísicos del petróleo. Págs. 55-80
- INGEOMINAS – GEOSTRATOS LTDA., (2005). Levantamiento de información estratigráfica y muestreo paleontológico, geoquímico e isotópico en secciones estratigráficas en el terreno del cretáceo inferior del sector central de la cordillera oriental. Sección Chivor-Boyacá. Págs. 3 – 52.
- INVIAS. Mapa Vial de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá. 10/09/2006. [www.invias.gov.co](http://www.invias.gov.co).

- MANTILLA FIGUEROA, L., CRUZ G. L. E., COLEGIAL G. J.D., (2003). Introducción a la geología del sector de Vélez – Bolívar – Guavatá (Dpto. de Santander, Colombia) y su importancia para la exploración de depósitos hidrotermales. Boletín de Geología, UIS. Vol. 24, Nº 40. Págs. 39-58.
- MAYA, M., BUENAVENTURA, J. y SALINAS R., (2004). Estado del conocimiento de la exploración de esmeraldas en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Ingeominas. Bogotá. 90 Págs.
- MOJICA, J. y FRANCO, R., (1990). Estructura Y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. Geología Colombiana, N°17. Págs. 41-64.
- OHMOTO, H. & RYE, R. O., (1979). Isotope of Sulfur and Carbon, In Barnes, H. L. Ed., Geochemistry of Hydrothermal Deposits, John Wiley & Sons, Págs. 509-567.
- PASHIER, C. Y TROUW, R.A.J., (1998). Microtectonics. New York. 289 Págs.
- PETIT, J.P., WIBBERLEY, C.A.J. y RUIZ, G. (1999). 'Crack-seal-slip': A New Fault Valve Mechanism? *Journal of Structural Geology*, 21, Págs. 1199-1207
- NASH, J.T. y THEODORE, T., (1971). Ore Fluids in the Porphyry Copper Deposits at Cooper Canyon. Nevada. *Economic Geology*, N°66.
- RECIO, C. y SUBIAS, I., (2002). Isótopos Estables Aplicados al Estudio de Depósitos. Minerales. Salamanca. 233 Págs.

- RAW SAY, J.G., (1980)., The Crack-Seal Mechanism or Rock Deformation. *Nature*, Vol. 284. Págs. 135-139.
- ROBB, LAURENCE., (2005). Introduction to the ore-forming processes. First edition. Blackwell Publishing. Págs. 129-197, 219-223.
- ROEDDER, E., (1984)., Fluid inclusions, Reviews in Mineralogy vol. 12, Mineral. Society of America, Washington. 594 p.
- ROLLINSON, H., (1996). Using Geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation, Longman. 352 p.
- SPEAR, F., (1995). Metamorphic phase equilibria and pressure – temperature – time paths. Rensselaer Polytechnic Institute. Departament of Earth and enviromental science. Troya, Nueva York. Págs 71-105
- SKOOG, DOUGLAS A.; HOLLER, F. JAMES. NIEMAN, TIMOTHY A., (2001). Principios de análisis instrumental. Quinta edición. Mc Graw Hill. Págs. 291 - 317, 577 – 605.
- TABOADA, A., RIVERA, L.A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILLIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J. y RIVERA, C., (2000). Geodynamics of the Northern Andes: Subduction and Intra-continental Deformation (Colombia). *Tectonics* 19, N° 5. Págs. 787-813.
- ULLOA, C.; RODRÍGUEZ, E. (1979). Geología del Cuadrángulo K12 - Guateque. Boletín Geológico, Ingeominas, Vol XXII, No 1. Págs. 3 - 56. Bogotá.

- ULLOA, M. C., (1980). Ambiente geológico de los yacimientos esmeraldíferos en Colombia. Boletín Sociedad Geológica del Perú, N° 65. Págs. 157-170.
- VAN DEN KERKHOF, ALFONS M.; HEIN, ULRICH F., (2001). Fluid inclusion Petrography, Lithos 55. Págs. 27–47
- VELASCO, FRANCISCO., (2004). Introducción al estudio de las inclusiones fluidas. XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenia, Mendoza, España. 98 págs.
- ZHENG Y.-F., (1999). Oxygen Isotope Fractionation in Carbonate and Sulfate Minerals. *Geochemical Journal*, 33, Págs. 109-126.

#### **RECURSOS BIBLIOGRAFICOS DE LA WEB:**

- [www.usal.es/~isotopos/](http://www.usal.es/~isotopos/)
- <http://www.uned.es/cristamine/mineral/metodos/sem.htm>
- [www.google-earth.es](http://www.google-earth.es)
- [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/INCLUSIONES%20FLUIDAS.pdf](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/INCLUSIONES%20FLUIDAS.pdf): Curso de inclusiones fluidas de la Universidad de Chile.
- [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PROCESOS%20SUPERGENOS.pdf](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PROCESOS%20SUPERGENOS.pdf): “Procesos supergenos”: Documento de la Universidad de Chile, sobre los procesos de alteración supergena de depositos hidrotermales.

- <http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom>: Mineral Data Publishing, version 1 (2001-2005).

# **ANEXOS**

**ANEXO 1. COLUMNA DE LA FORMACIÓN BATÁ, SECCIÓN BUENAVISTA.**





**ANEXO 2. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LÁMINAS DELGADAS.**



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL  
(CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS  
HIDROTHERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION  
DELGADA**

Nº COR 016 014	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 014	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velásquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

**Tipo de roca:** Lodolita carbonosa

**Textura - Composición:** Lodosa, carbonosa

**Color:** Negro (N1) con lentes de pirita amarillo Dusky (5Y 6/4)

**Laminación:** Laminación delgada plana paralela discontinua en laminas regulares

**Grado de bioturbación:**

Nulo, laminas regulares

**Grado de meteorización:**

Roca fresca

**Partición:**

Muy separadas

**Reacción al HCl:** Si: No: X

**Prueba de fosfatos:** Positiva: Negativa:



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**TEXTURA**

**Homogeneidad:** limolita bien seleccionada de laminación muy delgada plana paralela, compuesta por cuarzo subredondeado de tamaño limo muy grueso a medio, moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino arcilla

**Rango de tamaños:** Limo muy grueso a medio

**Selección:** buena

**Redondez promedio:** subredondeado

**Esfericidad promedio:** subesférico

<b>GRAVA:</b> 0%	<b>ARENA:</b> 0%	<b>LODO:</b> 100%	
<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Arcilla:</b> 10%	<b>Limo:</b> 90%
<b>Redondez:</b>	<b>Redondez:</b>	<b>Tamaño promedio de la fracción limo:</b>  Limo grueso a medio	
<b>Esfericidad:</b>	<b>Esfericidad:</b>		

**CONTACTO ENTRE GRANOS**

**Flotante:** 62,8% **Tangencial:** 5,71% **Longitudinal:** 11,4%

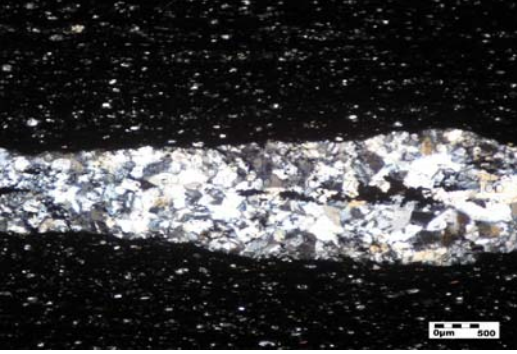

**Cóncavo - Convexo:** 8,6% **Suturado:** 11,4%

**ESTRUCTURAS**

Laminación delgada plana paralela simple en laminas regulares.

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)**

Limolita

<b>COMPOSICION</b>	
<b>TERRIGENOS</b>	
<b>Cuarzo (26%)</b>	
Monocristalino (26%): individuos de tamaño limo muy grueso a medio, subredondeados/subesferico principalmente	
Policristalino (0%):	
Chert:	
<b>Feldespato (0%)</b>	
Potasico (0%):	
Sodico - Calcico (0%):	
<b>Líticos (Granito - Neis) (0%)</b>	
<b>Micas (2%)</b>	
Mica moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor se encuentra dispuesto paralelo a dirección de laminación.	
<b>Opacos</b>	
Pirita.	
<b>Minerales arcillosos 2,8%</b>	
Mezcla de cuarzo y caolinita de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo mas gruesos.	
<b>ALOQUIMICOS</b>	
<b>LITICOS</b>	
<b>MATERIA ORGANICA</b>	
Materia orgánica amorfa dispuesta dentro de los terrígenos formando laminas	
<b>CEMENTO</b>	
Carbonoso (46%)	
<b>ORTOQUIMICOS</b>	
<b>POROSIDAD</b>	
Primaria: Escasa <1%	
Secundaria:	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)</b>	
Limolita carbonosa	
<b>CLASIFICACION</b>	
Limolita carbonosa, de tamaño limo muy grueso a medio, cementada por materia carbonosa amorfa, texturalmente madura	
<b>DIAGENESIS</b>	
Desarrollo de lentes de piritas (5,8%) acompañado por la recristalización de cuarzo? (2,5%) (agregados de individuos subhedrales-anhedrales, de tamaño cristalino fino a medio) y feldespato (14,8%) (albita, en contacto neto con el cuarzo, consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) alrededor de los agregados de pirita. También se presenta lentes de agregados de albita (consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) englobando materia orgánica, la cual se ubica hacia en centro. Presenta también albita diseminada paralela a la laminación de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino	
	

Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL  
(CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS  
HIDROTHERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION  
DELGADA**

Nº COR 016 014	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 014	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velásquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

**Tipo de roca:** Lodolita carbonosa

**Textura - Composición:** Lodosa, carbonosa

**Color:** Negro (N1) con lentes de pirita amarillo Dusky (5Y 6/4)

**Laminación:** Laminación delgada plana paralela discontinua en laminas regulares

**Grado de bioturbación:**

Nulo, laminas regulares

**Grado de meteorización:**

Roca fresca

**Partición:**

Muy separadas

**Reacción al HCl:** Si: No: X

**Prueba de fosfatos:** Positiva: Negativa:



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**TEXTURA**

**Homogeneidad:** limolita bien seleccionada de laminación muy delgada plana paralela, compuesta por cuarzo subredondeado de tamaño limo muy grueso a medio, moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino arcilla

**Rango de tamaños:** Limo muy grueso a medio

**Selección:** buena

**Redondez promedio:** subredondeado

**Esfericidad promedio:** subesférico

<b>GRAVA:</b> 0%	<b>ARENA:</b> 0%	<b>LODO:</b> 100%	
<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Arcilla:</b> 10%	<b>Limo:</b> 90%
<b>Redondez:</b>	<b>Redondez:</b>	<b>Tamaño promedio de la fracción limo:</b>  Limo grueso a medio	
<b>Esfericidad:</b>	<b>Esfericidad:</b>		

**CONTACTO ENTRE GRANOS**

**Flotante:** 62,8% **Tangencial:** 5,71% **Longitudinal:** 11,4%

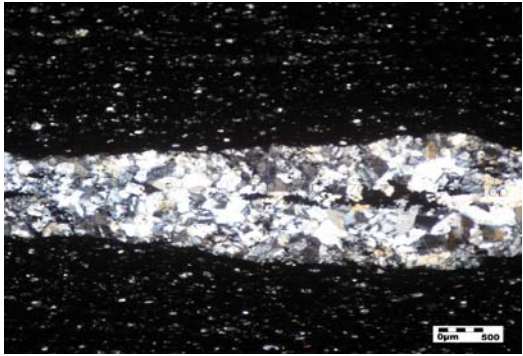
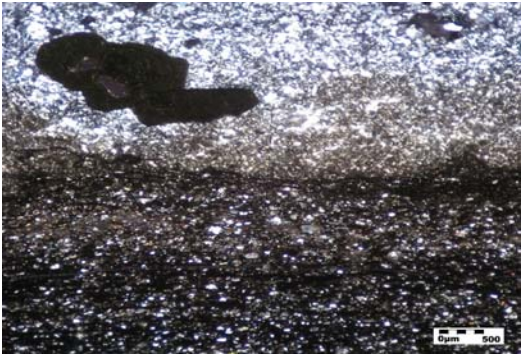
**Cóncavo - Convexo:** 8,6% **Suturado:** 11,4%

**ESTRUCTURAS**

Laminación delgada plana paralela simple en laminas regulares.

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)**

Limolita

<b>COMPOSICION</b>	
<b>TERRIGENOS</b>	
<b>Cuarzo (26%)</b>	
Monocristalino (26%): individuos de tamaño limo muy grueso a medio, subredondeados/subesferico principalmente	
Policristalino (0%):	
Chert:	
<b>Feldespato (0%)</b>	
Potasico (0%):	
Sodico - Calcico (0%):	
<b>Líticos (Granito - Neis) (0%)</b>	
<b>Micas (2%)</b>	
Mica moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor se encuentra dispuesto paralelo a dirección de laminación.	
<b>Opacos</b>	
Pirita.	
<b>Minerales arcillosos 2,8%</b>	
Mezcla de cuarzo y caolinita de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo mas gruesos.	
<b>ALOQUIMICOS</b>	
<b>LITICOS</b>	
<b>MATERIA ORGANICA</b>	
Materia orgánica amorfa dispuesta dentro de los terrígenos formando laminas	
<b>CEMENTO</b>	
Carbonoso (46%)	
<b>ORTOQUIMICOS</b>	
<b>POROSIDAD</b>	
Primaria: Escasa <1%	
Secundaria:	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)</b>	
Limolita carbonosa	
<b>CLASIFICACION</b>	
Limolita carbonosa, de tamaño limo muy grueso a medio, cementada por materia carbonosa amorfa, texturalmente madura	
<b>DIAGENESIS</b>	
Desarrollo de lentes de piritas (5,8%) acompañado por la recristalización de cuarzo? (2,5%) (agregados de individuos subhedrales-anhedrales, de tamaño cristalino fino a medio) y feldespato (14,8%) (albita, en contacto neto con el cuarzo, consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) alrededor de los agregados de pirita. También se presenta lentes de agregados de albita (consta de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino) englobando materia orgánica, la cual se ubica hacia en centro. Presenta también albita diseminada paralela a la laminación de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino	
	
Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados	



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**  
**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

N° COR 016 017	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
N° de campo: COR 016 017	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

**Tipo de roca:** Lodolita shale carbonosa con lentes de pirita ( laminadas de tamaño arena media a fina). Los lentes son paralelos a la laminación y son de aproximadamente 2 - 3 mm.

**Textura - Composición:** Lodosa de composición principalmente carbonosa, presenta lentes de pirita

**Color:** Negro (N1) con lentes de pirita amarillo moderado (5Y 7/6)

**Laminación:** Laminas delgadas plana paralela discontinua. Fisil.

**Grado de bioturbación:**

Nulo, laminas regulares.

**Grado de meteorización:**

Roca fresca.

**Partición:**

Muy separadas

**Reacción al HCl:** Si: No: X

**Prueba de fosfatos:** Positiva: Negativa:



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**TEXTURA**

**Homogeneidad:** Lodolita carbonosa fisil, presenta laminación muy delgada plana paralela en laminas regulares. Esta compuesta por cuarzo de tamaño limo muy grueso a medio, subredondeados/subesferico, moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor se encuentra dispuesto paralelo a dirección de laminación y mezcla de caolinita y cuarzo de tamaño limo muy fino a arcilla, cementada por materia carbonosa amorfa, texturalmente madura.

**Rango de tamaños:** Limo grueso a arcilla

**Selección:** moderadamente seleccionada

**Redondez promedio:** subredondeado

**Esfericidad promedio:** subesferico

<b>GRAVA:</b> 0%	<b>ARENA:</b> 0%	<b>LODO:</b> 100%	
<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Arcilla:</b> 44,12%	<b>Limo:</b> 55,88%
<b>Redondez:</b>	<b>Redondez:</b>	<b>Tamaño promedio de la fracción limo:</b>  Limo grueso a medio	
<b>Esfericidad:</b>	<b>Esfericidad:</b>		

**CONTACTO ENTRE GRANOS**

**Flotante:** 11,42%

**Tangencial:** 5,7%

**Longitudinal:** 51,42%

**Cóncavo - Convexo:** 1%


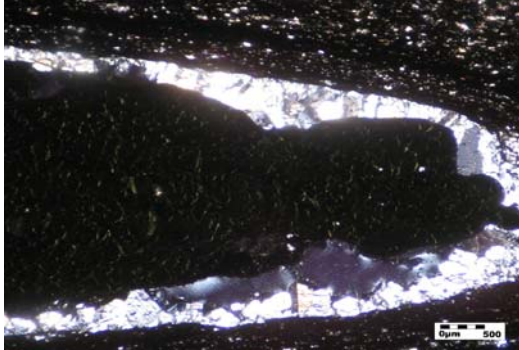
**Suturado:** 28,6%

**ESTRUCTURAS**

Laminación muy delgada plana paralela en laminas regulares.

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)**

Lodolita

<b>COMPOSICION</b>	
<b>TERRIGENOS</b>	
<b>Cuarzo:</b>	
Monocristalino (19,3%): individuos de tamaño limo muy grueso a medio, subredondeados/subesferico principalmente	
Policristalino:	
Chert:	
<b>Feldespato:</b>	
Potasico:	
Sodico - Calcico (3,6%): Albita: individuos de tamaño cristalino fino a muy fino, de forma subhedral a anhedral, se encuentran diseminados en la roca.	
<b>Líticos (Granito - Neis):</b>	
<b>Micas (3,6%):</b>	
Mica moscovita de tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor se encuentra dispuesto paralelo a direccion de laminación.	
<b>Opacos:</b>	
<b>Minerales arcillosos (16.7%):</b>	
Mezcla de cuarzo y caolinita de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y feldespato.	
<b>ALOQUIMICOS</b>	
<b>LITICOS</b>	
<b>MATERIA ORGANICA</b>	
Materia orgánica amorfa dispuesta dentro de los terrígenos formando laminas	
<b>CEMENTO</b>	
Carbonoso (49,4%)	
<b>ORTOQUIMICOS</b>	
<b>POROSIDAD</b>	
Primaria: Escasa <1%	
Secundaria:	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)</b>	
Lodolita carbonosa.	
<b>CLASIFICACION</b>	
Lodolita carbonosa fisil, de tamaño limo grueso a arcilla, cementada por materia carbonosa amorfa, texturalmente madura.	
<b>DIAGENESIS</b>	
Desarrollo de lentes de pirta (6%) de tamaño cristalino grueso a medio, cristales cúbicos subhedrales a euhedrales, con bordes de cuarzo (<1%) de tamaño cristalino medio a fino, subhedral a anhedral y albita de tamaño cristalino medio a fino, subhedral a euhedral (1,2%). desarrollo parcial de un proceso de albitización, pues existe desarrollo de albitas anhedrales-anhedrales de tamaño cristalino medio a fino, que se encuentran preferencialmente paralelas a la Laminación distribuidas a azar.	
	
Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols paralelos	Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCIÓN FLUIDO - ROCA EN EL CINTURÓN ESMERALDÍFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACIÓN DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCIÓN DELGADA**

Nº COR 016 019	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 019	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Roca sedimentaria alterada por procesos hidrotermales (Albitización y carbonatización). Se aprecian algunos cristales de dolomita de tamaño cristalino extremado grueso en fracturas. Roca con crecimiento de la porosidad, la cual es del 10%. Laminas delgadas plana paralela continua. Al parecer se conserva la estructura augen, lo que hace pensar que correspondía a una evaporita, ahora alterada (dolomitizada). Las piritas se concentran principalmente en las bandas mas claras.



**ANÁLISIS MICROSCÓPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Roca alterada por acción de fluidos hidrotermales, por procesos de albitización y carbonatización, concentrados principalmente en fracturas de la roca.

**Selección:**

% de granos del armazón: 52.73%	Redondez promedio: baja
% de matriz: 47,25%	Esfericidad promedio: baja
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos: Cóncavo-convexo: 75%; Suturado: 25%

**MINERALES**

**Minerales autigenicos: 72,3%**

**Cuarzo (4,9%):** Individuos de tamaño cristalino medio a fino, de forma subhedral a anhedral.

**Albita (20,13%):** Individuos de tamaño cristalino medio a fino, de forma subhedral a euhedral.

**Dolomita-ankerita (6,75%):** Individuos de tamaño cristalino grueso a medio de forma subhedral a euhedral, los cuales e distinguen de la calcita-dolomita por poseer óxidos de Fe en sus contornos y en su planos de foliación. En la sección se ubican principalmente relleno de espacios dejado por fracturas.

**Calcita-Dolomita (27,7%):** Individuos de tamaño cristalino extremado grueso a fino de forma subhedral a euhedral. En la sección se ubican principalmente relleno de espacios dejado por fracturas (cristales de mayor tamaño) y haciendo las veces de matriz de la roca (cristales mas finos).

**Pirita (12,8%):** Individuos de tamaño cristalino grueso a fino, de forma subhedral a euhedral, están dispuestos de manera paralela a la antigua laminación de la roca original.

**Minerales Principales: 27,7%**

**Materia orgánica (27,7%):** Sen encuentra siguiendo la antigua laminación de la roca original.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
	Calcárea

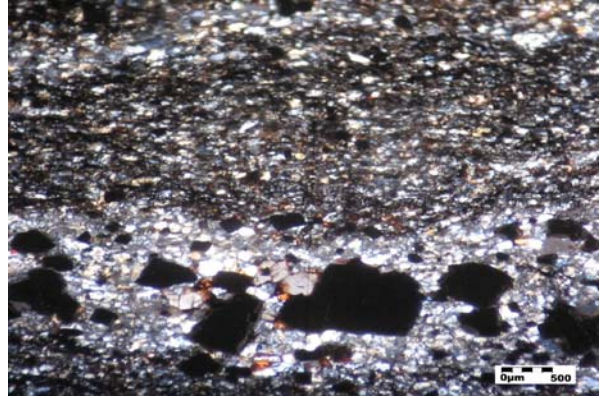
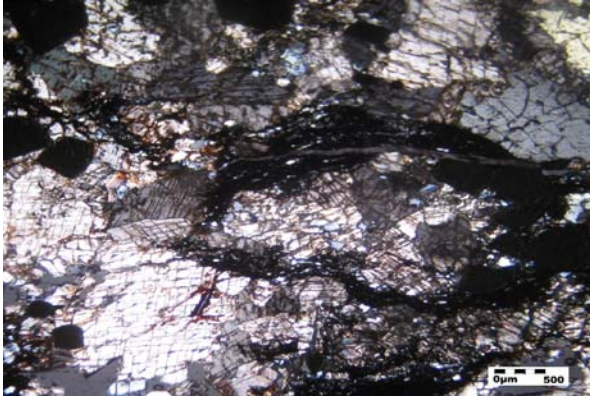
### ESTRUCTURAS

Laminas delgadas plana paralela continua. Al parecer se conserva la estructura augen, esto hace pensar que correspondía a una evaporita, ahora alterada por hidrotermalismo. También se aprecia en la sección, que en algunos sectores la laminación ha sufrido plegamiento, seguramente por el paso del fluido a través de la roca.

### DESCRIPCIÓN DE LA ROCA

Roca sedimentaria, alterada por acción de fluidos hidrotermales, por procesos de albitización y carbonatización, lo cuales se encuentran enfocados, principalmente en fracturas. En la muestra aun se conserva la Laminación original de la roca, la cual corresponde a Laminas delgadas plana paralela continua en algunos sectores y en otros discontinua. Al parecer se conserva la estructura augen, también. Los carbonatos se ubican principalmente rellenando algunas fracturas, aunque también se presenta como matriz. La materia carbonosa se encuentra siguiendo la antigua laminación de la roca original, mientras que los individuos de cuarzo y albita hacen parte del armazón de la roca alterada.

### OBSERVACIONES



Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 020 I	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 020	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MICROSCÓPICA**

Brecha tectónica hidrotermal de calcita y dolomita con vena de ankerita-dolomita en una matriz fina de calcita con pirita.



**ANALISIS MICROSCOPICO**



**Homogeneidad de la roca:** Vena compuesta por fenocristales de calcita-dolomita (tamaño cristalino extremado grueso) inmersos en una matriz de micrita (mezclada con materia orgánica), illita-moscovita (cristalino medio a fino) y agregado granular de albita afanocristalina. esta matriz también posee inclusiones de pirita de tamaño cristalino grueso a medio. También se observa brecha hidráulica conformada por clastos de lodolita carbonosa, los cuales están compuestos por cuarzo, albita, microsparita, moscovita y materia orgánica, presentando laminación plana paralela continua formada por la acumulación de materia orgánica a lo largo de la laminación, estos clastos poseen una redondez angular a subangular. La matriz de la brecha la conforma cristales de calcita-dolomita, albita, pirita y cuarzo.

**Selección:**

% de granos del armazón: 41,8	Redondez promedio: angular a subangular
% de matriz: 58,14	Esfericidad promedio: subesferico a subelongado
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos: flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales: 41,8%</b>	<b>Minerales autigenicos: 58,14%</b>
<b>Albita (3,26%):</b> subhedrales a anhedrales de tamaño cristalino fino, en contacto flotante con la matriz de micrita y de materia orgánica. Se encuentra diseminada en la roca	<b>Calcita-Dolomita (42,48%):</b> individuos de tamaño cristalino extremado grueso a medio, de forma subhedral-euhedral.
<b>Cuarzo (1,3%):</b> Subesferico/subredondeado de tamaño limo muy grueso en contacto flotante con la matriz de micrita y de materia orgánica	<b>Moscovita (1,96%):</b> individuos de tamaño cristalino medio a fino, de forma anhedral, se encuentran dentro de la matriz de micrita y de albita afanocristalina
<b>Moscovita (2,61%):</b> De tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.	<b>Albita (12,4%):</b> se presentan 3 tipos: 1. agregados granulares de individuos subhedrales anhedrales, de tamaño cristalino muy fino - afanocristalino, asociado con micrita. 2. Albita diseminada en los fragmentos de lodolita carbonosa y micrítica, son de tamaño cristalino medio a fino de forma tabular subhedral anhedral. 3. Albita asociada a la pirita y calcita-dolomita romboédrica, en el cemento/matriz de la brecha. son individuos tabulares subhedrales-euhedrales maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino medio.
<b>Materia orgánica (15,03%):</b> Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas	
<b>Micrita-Microsparita(19,6%):</b> se encuentra como mineral cementante de algunos clastos de lodolita, los cuales sufren proceso de reemplazamiento por albita.	<b>Pirita (1,3%):</b> De tamaño cristalino medio a grueso, de forma subhedral a euhedral, incluido dentro de la calcita dolomita y en la matriz de micrita, albita afanocristalina con illita-moscovita.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
Calcareo	Calcárea.
<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>	
Brecha.	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>	
Brecha tectónica hidrotermal de calcita-dolomita.	
<b>ESTRUCTURAS</b>	
Vena de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de piritita y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa y calcárea de forma subangular a angular.	
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>	
Vena compuesta por fenocristales de calcita-dolomita (tamaño cristalino extremado grueso) inmersos en una matriz de micrita (mezclada con materia orgánica), illita-moscovita (cristalino medio a fino) y agregado granular de albita afanocristalina. esta matriz también posee inclusiones de piritita de tamaño cristalino grueso a medio. También en otra zona de la sección se observa brecha hidráulica conformada por fragmentos de lodolita carbonosa, los cuales están compuestos por cuarzo, albita, microsparta, moscovita y materia orgánica, presentando laminación plana paralela continua formada por la acumulación de materia orgánica a lo largo de la laminación la cual algunas veces se pliega parecer por el paso del fluido hidrotermal. Estos clastos poseen una redondez angular a subangular. La matriz de la brecha esta conformada por calcita-dolomita, albita, piritita y cuarzo.	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	
Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados	



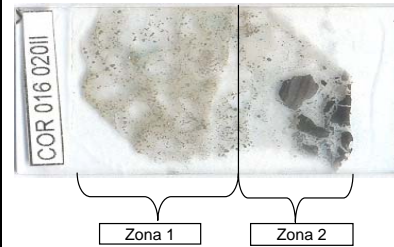
**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 020 II	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 020	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos angulosos de lodolita carbonosa de cemento/matriz compuesta por dolomita-calcita. En el cemento también presenta piritojedos de tamaño arena muy fina a media



**ANALISIS MICROSCOPICO (ZONA 1)**

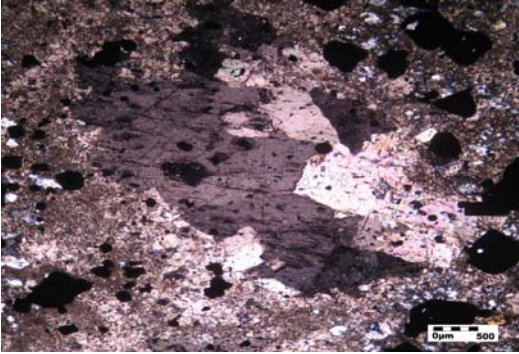
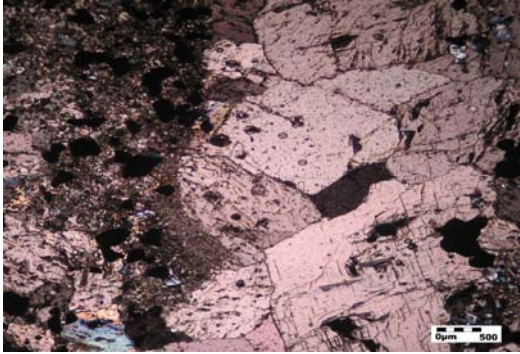
**Homogeneidad de la roca:** Zona de fracturamiento, en el cual se aprecian clastos angulares a subangulares de lodolita carbonosa, en una matriz compuesta por calcita-dolomita, cuarzo, albita y pirita (opacos). También en esta misma parte de la sección se observa una vena cuya composición es similar a la matriz mencionada, pero con la diferencia que existe un mejor desarrollo de la calcita-dolomita (mayor tamaño) y reducción del tamaño de la albita, con respecto a la zona donde se tiene matriz.

**Selección:**

% de granos del armazón: 9,25%	Redondez promedio: angular a subangular
% de matriz: 85,75%	Esfericidad promedio: subesferico
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos: flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos</b>
<b>Albita (1,25%):</b> Individuos subhedrales a anhedrales en contacto flotante con la materia orgánica. De tamaño cristalino fino a muy fino, diseminados en los fragmentos.	<b>Albita (23,125%):</b> se presentan 3 tipos: 1. agregados granulares de albita compuestos por individuos de forma subhedral-anhedral de tamaños que varían de cristalino medio a afanocristalino. Estos agregados están asociados con pirita de tamaño cristalino medio a fino, y calcita-dolomita de tamaño cristalino muy fina a media, de forma subhedral-anhedral. 2. Albita diseminada en fragmentos de lodolita carbonosa de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. 3. albita asociada a la pirita y calcita-dolomita rombohédrica, en el cemento/matriz de la brecha. Son individuos tabulares subhedrales-euhedrales, maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino fino a grueso. este tipo de albita también se presenta como agregados en venas que cortan a algunos fragmentos de lodolita carbonosa. la albita se encuentra incluida en los individuos de calcita-dolomita y en contacto neto con la pirita.
<b>Materia orgánica (5%):</b> Se encuentra dentro entre minerales terrígenos formando laminas.	
<b>Minerales arcillosos (3,125%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.	
<b>Cuarzo (1,875%):</b> En contacto flotante con la materia orgánica. De tamaño limo grueso a medio	<b>Calcita-dolomita (57,5%):</b> Agregados de individuos de tamaño cristalino extremado grueso a medio, de romboédricos subhedrales a euhedrales, en contacto neto y además con inclusiones de albita, cuarzo y pirita.

	<p><b>Cuarzo (3,75%):</b> Individuos de tamaño cristalino fino a medio, de forma subhedral-anhedral, en contacto neto con la albita y la pirita, e incluido en la calcita-dolomita.</p> <p><b>Pirita (4,375%):</b> Individuos de tamaño cristalino medio a grueso de forma subhedral a euhedral, en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita.</p>
<p><b>Tipo de cemento:</b></p> <p>Calcárea</p>	<p><b>Tipo de Matriz:</b></p> <p>Calcárea</p>
<p><b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b></p> <p>Brecha</p>	
<p><b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b></p> <p>Brecha tectónica hidrotermal de Calcita-dolomita</p>	
<p><b>ESTRUCTURAS</b></p>	
<p>Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa de forma subangular a angular.</p>	
<p><b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b></p>	
<p>Zona de fracturamiento, en el cual se aprecian clastos angulares a subangulares de lodolita carbonosa, en una matriz compuesta por calcita-dolomita de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de cuarzo de tamaño cristalino fino a medio, de forma subhedral-anhedral, albita de tamaño cristalino fino a medio de forma subhedral a euhedral en contacto neto con cuarzo y pirita de tamaño cristalino medio a grueso de forma subhedral a euhedral. También en esta misma parte de la sección se observa una vena cuya composición es similar a la matriz mencionada, pero con la diferencia que existe un mejor desarrollo de la calcita-dolomita (mayor tamaño y forma mejor definida) y una reducción del tamaño de la albita, con respecto a la zona donde se tiene matriz.</p>	
<p><b>OBSERVACIONES</b></p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	
<p>Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados</p>	



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 020 II	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 020	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

<p>Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos angulosos de lodolita carbonosa de matriz compuesta por dolomita-calcita. En el cemento también presenta piritojedros de tamaño arena muy fina a media</p>	
---	--

**ANALISIS MICROSCOPICO (ZONA 2)**

**Homogeneidad de la roca:** Zona en cual se observa fenocristales de calcita-dolomita, en una matriz compuesta por albita, micrita, microesparita, cuarzo y pirita, esta ultima siendo mas abundante que en la zona 1. parece ser un proceso de recrystalización del cemento calcáreo (micrita-microesparita) con la introducción de albita, cuarzo y pirita.

**Selección:**

% de granos del armazón: 0%	<b>Redondez promedio:</b> Nula
% de matriz: 100%	<b>Esfericidad promedio:</b> Nula
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b> neto a suturado

**MINERALES**

**Minerales autigenicos**

**Calcita-dolomita (50,125%):** fenocristales de calcita dolomita de forma euhedral-anhedral de tamaños cristalino grueso a extremado grueso, en una matriz de micrita, microesparita. Los fenocristales presentan inclusiones de pirita.

**Albita (8%):** Individuos tabulares, subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino, generalmente maclados según ley de albita. Se encuentran incluidos dentro la matriz de micrita-microesparita. También se encuentran asociados con la pirita en contacto neto e incluido en este.

**Cuarzo (2%):** Individuos subhedrales a anhedrales, incluidos dentro la matriz de micrita-microesparita. De tamaño cristalino medio a fino.

**Pirita (9,375%):** Individuos de tamaño cristalino medio a grueso de forma subhedral a euhedral , en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita.

**Micrita-microesparita (30,5%):** agregado de individuos subhedrales a anhedrales. Distribuida a manera de matriz, con inclusiones de albita, cuarzo y pirita.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
	Calcárea

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos angulosos de lodolita carbonosa de matriz compuesta por calcita-dolomita.

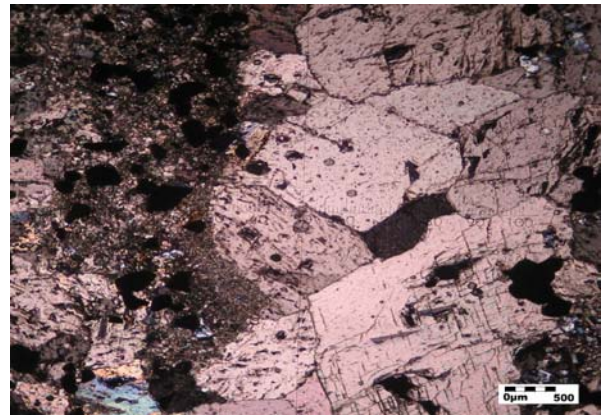
**ESTRUCTURAS**

Fenocristales de calcita-dolomita de tamaño extremado grueso a medio, en un matriz de micrita microesparita la cual presenta inclusiones de pirita y albita

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Zona en cual se observa fenocristales de calcita-dolomita de tamaño cristalino fino a extremado grueso, de forma anhedral a subhedral, en una matriz compuesta por albita tamaño cristalino medio a fino y de forma tabular subhedrales a euhedrales, micrita-microesparita, cuarzo tamaño cristalino medio a fino de forma subhedral-anhedral, y pirita de tamaño cristalino medio a grueso de forma subhedral a euhedral, esta ultima siendo mas abundante que en la zona 1. Parece ser un proceso de recristalización del cemento calcáreo (micrita-microesparita) con la introducción de albita, cuarzo y pirita.

**OBSERVACIONES**



Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 021	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 021	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Lodolita carbonosa (en afloramiento corresponde a fragmentos de una Brecha tectónica hidrotermal), presenta fracturas juntas subparalelas y perpendiculares a la Laminación (5-0,5cm de espaciamento), rellenas por cuarzos?. laminación delgada plana paralela continua. Fisil.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

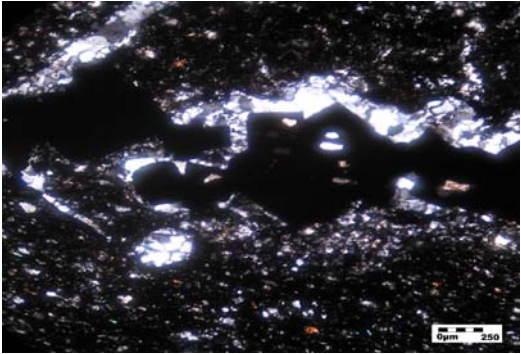
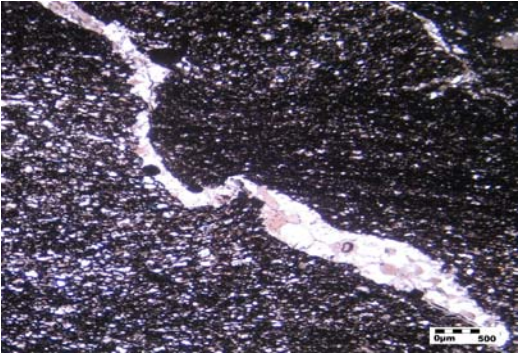
**Homogeneidad de la roca:** Lodolita Carbonosa con venas de pirita y albita, subparalelas y perpendiculares a la laminación. También presenta "bolsas" rellenos por albita y pirita. Esta parece ser una zona de brechificación por fluidos hidrotermales (fracturamiento). algunos de los clastos de lodolita carbonosa aparecen rotados, y otros con su laminación plegada seguramente ambos fenómenos se deben a la acción del fluido hidrotermal cuando este atravesaba la roca.

**Selección:**

% de granos del armazón:90,39%	Redondez promedio:subangular a angular
% de matriz: 11.25%	Esfericidad promedio:subesferico
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:Flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos</b>
<b>Materia orgánica (50,3%):</b> Se encuentra entre los minerales terrigenos formando laminas.	<b>Albita (8,02%):</b> 2 tipos: 1. Agregados de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, se encuentra en contacto neto con la pirita (también incluido en este) y el cuarzo. Algunos individuos se encuentran alterados (caolinitizados).2. Albita diseminada, de tamaño cristalino medio a fino subhedral a anhedral, pocos presentan maclado. Se asocia en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con el cuarzo, moscovita y minerales arcillosos.
<b>Cuarzo (17,64%):</b> de tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con el feldespató, moscovita y minerales arcillosos.	<b>Pirita (2,13%):</b> Individuos subhedrales a euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino. Esta en contacto neto y con inclusiones de albita y cuarzo. Presenta también inclusiones de albita y carbonatos (calcita-dolomita?)
<b>Minerales arcillosos ( 19,25%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.	<b>Cuarzo (2,7%):</b> Agregados de individuos subhedrales a anhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, se encuentra en contacto neto con la pirita (también incluido en este) y la albita.
<b>Moscovita (1,6%):</b> individuos de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de laminación. Se encuentra en contacto flotante con la materia orgánica, longitudinal a flotante con el feldespató, cuarzo y los minerales arcillosos.	

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b> Albita-pirita
<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b> Brecha	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b> Brecha de albita y pirita.	
<b>ESTRUCTURAS</b> Venas rellenas de pirita, cuarzo y albita de 300 μm y bolsas con relleno de la misma composición de las venas, un ubicadas dentro de la roca de 200 μm-2000 μm caja con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa de forma subangular a angular.	
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>	
Venas rellenas de pirita subhedrales a euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino en contacto neto y con inclusiones de albita y cuarzo, albita agregados de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, se encuentra en contacto neto con la pirita (también incluido en este) y el cuarzo, agregados de individuos subhedrales a anhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, se encuentra en contacto neto con la pirita (también incluido en este) y la albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa de forma subangular a angular.	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	
Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 10x en nicoles cruzados	Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados




**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 021A	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 021A	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MICROSCÓPICA**

<p>Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares entre 1 y 5 cm. con cemento/matriz de venas de calcita-dolomita con inclusiones de pirita.</p>	
--	---

**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos subangulares a subredondeados de lodolita carbonosa y calcárea, con venas de calcita-dolomita subhedrales a euhedrales, con inclusión de de albita, cuarzo y pirita.

**Selección:** Moderada

<b>% de granos del armazón:</b> 17,92%	<b>Redondez promedio:</b> Subangular a subredondeado
<b>% de matriz:</b> 75,4334%	<b>Esfericidad promedio:</b> Subesferico a subelongado
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b> Flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Calcita-Dolomita (56,42%):** 1. Agregado de individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino extremado grueso a medio. Posee inclusiones de albita, cuarzo y pirita. 2. individuos incluidos en agregados granulares de albita, subhedrales-anhedrales de tamaño cristalino medio a fino.

**Albita (28,5%):** Se presentan 2 tipos: 1. Agregados granulares de albita y cuarzo, de forma subhedral a anhedral, de tamaño cristalino fino-afanocristalino. Estos agregados se encuentran rodeados por calcita dolomita. dentro de estos agregados ocasionalmente se encuentran acompañados con inclusiones de calcita-dolomita subhedral-euhedral y moscovita de tamaño cristalino fino. estos agregados pueden corresponder a fragmentos de lodolita totalmente albitizados. 2. Albita asociada a la pirita y calcita-dolomita rombohedrica, en el cemento/matriz de la brecha. Son individuos tabulares subhedrales-euhedrales, maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino fino a grueso. La albita se encuentra incluida en los individuos de calcita-dolomita y en contacto neto con la pirita, ademas tambien posee inclusiones albita en otras albitas. La albita se presenta tambien hacia los bordes de los clastos de lodolita carbonosa.

**Pirita (3,9%):** Individuos subhedrales a euhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, incluidos en calcita dolomita y en algunos clastos.

**Minerales principales:**

**Cuarzo (4,9%):** De tamaño limo grueso a medio, en contacto cóncavo convexo a longitudinal con la albita, en contacto flotante con la materia orgánica.

**Materia orgánica (6,14%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas (en contacto flotante). En algunos clastos mezclado con la micrita.

**Minerales arcillosos (4,9%):** Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.

**Micrita (1,98%):** Asociado a la materia orgánica, formando la matriz de algunos clastos de lodolita.

**Tipo de cemento:**

Calcáreo

**Tipo de Matriz:**

Calcáreo

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa y venas de calcita-dolomita con inclusiones de pirita.

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

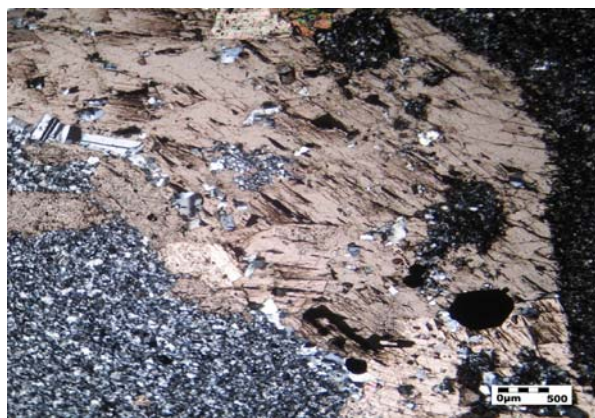
Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa y venas de calcita-dolomita romboédrica, albita cuarzo y pirita.

**ESTRUCTURAS**

Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de fragmentos de lodolita carbonosa y calcárea de forma subangular a angular.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa y calcárea, con venas de calcita-dolomita subhedrales a euhedrales (también con inclusiones de calcita-dolomita euhedral de menor tamaño), con inclusión de albita, cuarzo y pirita. también se presenta agregados granulares de albita y cuarzo de tamaño afanocristalino.

**OBSERVACIONES**

Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 016 021AII	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
Nº de campo: COR 016 021AII	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares entre 1 y 5 cm. con cemento/matriz de venas de calcita-dolomita con inclusiones de pirita.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa y calcárea, con venas de calcita-dolomita subhedrales a euhedrales, con inclusión de albita, cuarzo y pirita.

**Selección:** Moderada

**% de granos del armazón:** 25.47%

**Redondez promedio:** Angular a subangular

**% de matriz:** 74.53%

**Esfericidad promedio:** Subesferico a subelongado

**Tamaño de grano promedio de la roca:**

**Contacto entre granos:** Flotante

**MINERALES**

**Minerales principales:**

**Cuarzo (2.9%):** De tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.

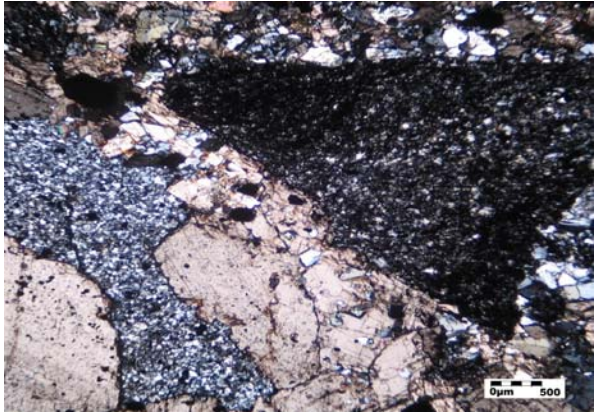
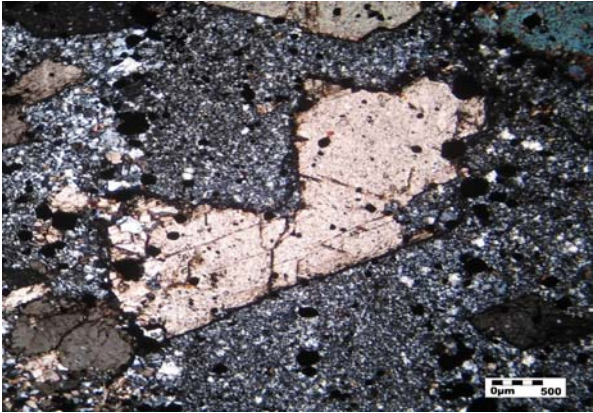
**Materia orgánica (10.78%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.

**Minerales arcillosos (9.8%):** Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo.

**Minerales autigenicos:**

**Calcita-Dolomita (42.15%):** Agregados de individuos subhedrales a euhedrales (algunos individuos euhedrales se encuentran incluidos en otros individuos subhedrales), de tamaño cristalino extremado grueso a medio, presenta inclusiones de albita, pirita y Cuarzo?.

**Albita (24.6%):** Se presentan 3 tipos: 1. agregados granulares de albita y cuarzo, de forma subhedral a anhedral, de tamaño cristalino fino-afanocristalino. Estos agregados se encuentran bordeados por calcita dolomita. 2. Albita asociada a la pirita y calcita-dolomita romboédrica, en el cemento/matriz de la brecha. Son individuos tabulares subhedrales-euhedrales, maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino fino a grueso. 3. Albita diseminada en fragmentos de lodolita carbonosa de forma subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. También se encuentra hacia los bordes de los clastos de lodolita carbonosa

<p><b>Moscovita (0.98%):</b> Individuos de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de laminación. Se encuentra en contacto flotante con la materia orgánica, longitudinal a flotante con el feldespato, cuarzo y los minerales arcillosos.</p>	<p><b>Cuarzo (2.88%):</b> Individuos anhedrales a subhedrales de forma mas o menos redondeada de tamaño cristalino fino a medio. Esta en contacto neto con la albita y la pirita e incluido en la calcita-dolomita</p> <p><b>Pirita (4.9%):</b> Agregados e individuos de tamaño cristalino grueso a fino, en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita. Se presenta también diseminado en los fragmentos de lodolita</p>
<p><b>Tipo de cemento:</b> Calcáreo</p>	<p><b>Tipo de Matriz:</b> Calcáreo</p>
<p><b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b></p>	
<p>Brecha cemento soportada</p>	
<p><b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b></p>	
<p>Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares y cemento/matriz de venas de calcita-dolomita romboédrica, albita cuarzo y pirita.</p>	
<p><b>ESTRUCTURAS</b></p>	
<p>Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa y calcárea de forma subangular a angular.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b></p>	
<p>Brecha tectónica hidrotermal de fragmentos de lodolita carbonosa de forma angular a subangular, algunos con un parcial proceso de albitización, con cemento/matriz compuesto por calcita-dolomita romboédrica de tamaño cristalino extremado grueso a medio, presentando inclusiones de pirita, albita y cuarzo</p>	
<p style="text-align: center;"><b>OBSERVACIONES</b></p>	
	
<p style="text-align: center;">Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados</p>	




**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 016 025	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 016 025	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velásquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

<p>Lodolita carbonosa, silicea, con óxidos de Fe y pirita. Presenta laminación delgada plana paralela continua en laminas regulares, también presenta algunas venas de albita? Paralelas a la laminación.</p>	
---	---

**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Lodolita carbonosa, con óxidos de Fe (goetita?) y pirita. Presenta laminación delgada plana paralela continua en laminas regulares. La roca presenta un estado parcial de albitización. El proceso de albitización se aprecia principalmente paralelo a la laminación, ya sea como albita diseminada o como agregados granulares en forma de lentes dispuestos paralelos a la laminación y acompañados por pirita. también presenta venas de albitas que cruzan la laminación acompañado por pirita. En contacto con la lodolita se tiene en el siguiente orden desarrollo de albita bordeando la roca seguido por el desarrollo de Berilo cuyo eje mayor o longitud mayor se dispone casi paralelo a la laminación de la roca, lo cual refleja la dirección preferencial de entrada del fluido mineralizante.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b> subredondeado-redondeado
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b> subesferico a subelongado
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b> limo medio a arcilla	<b>Contacto entre granos:</b> longitudinal-flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita (40.21%):** Agregados que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes: 1. Agregados en forma de venas que cruzan la laminación de la roca de tamaño cristalino grueso a medio de forma subhedral a euhedral, acompañado en contacto neto por pirita. 2. Albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, de tamaño cristalino medio a fino de forma irregular subhedral a anhedral. 3. Albita en agregados en forma de lentes paralelos a la laminación compuesto por individuos tabulares subhedral anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino.

**Pirita (11.34%):** Se presenta acompañando en contacto neto a la albita en los agregados paralelos a la laminación y a los agregados en venas que cortan la laminación. También se presenta diseminado en la roca. Sus tamaños oscilan entre cristalino muy grueso a muy fino, presentado los menores tamaños en los agregados de albita que son paralelos a la laminación (lentes). se encuentra en contacto neto con la albita e incluido en el Berilo. La pirita se encuentra en un alto grado de oxidación, por lo que muchas veces en la sección solo se aprecian óxidos o unos pocos relictos de pirita.

**Berilo (3.1%):** De forma tabular, presenta fracturamiento y se encuentra asociado a la albita en contacto neto y también con inclusiones de este. También presenta inclusiones de pirita. Su eje mayor es paralelo a la laminación de la roca.

**Minerales principales:**

**Materia orgánica (27.84%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.

**Minerales arcillosos (6.19%):** Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.

**Cuarzo (9.28%):** De tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.

**Moscovita (2.06%):** De tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.

**Tipo de cemento:**

carbonosa

**Tipo de Matriz:**

arcillosa

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Lodolita.

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

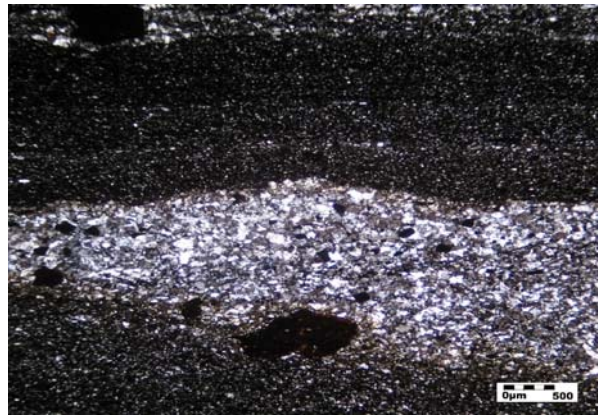
Lodolita carbonosa

**ESTRUCTURAS**

Lodolita con laminación delgada plana paralela continua en laminas regulares. presenta albitización que se aprecia principalmente paralelo a la laminación, ya sea como albita diseminada o como agregados granulares en forma de lentes dispuestos paralelos a la laminación y acompañados por pirita. también presenta venas de albitas que cruzan la laminación acompañado por pirita. en contacto con la lodolita se tiene en el siguiente orden desarrollo de albita bordeando la roca seguido por el desarrollo de Berilo cuyo eje mayor o longitud mayor se dispone casi paralelo a la laminación de la roca.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita carbonosa, con óxidos de Fe (goethita?) y pirita. Presenta laminación delgada plana paralela continua en laminas regulares. La roca presenta un estado parcial de albitización. El proceso de albitización se aprecia principalmente paralelo a la laminación, ya sea como albita diseminada o como agregados granulares en forma de lentes dispuestos paralelos a la laminación y acompañados por pirita. También presenta venas de albitas que cruzan la laminación acompañado por pirita. en contacto con la lodolita se tiene en el siguiente orden desarrollo de albita bordeando la roca, seguido por el desarrollo de Berilo cuyo eje mayor se dispone casi paralelo a la laminación de la roca.

**OBSERVACIONES**

Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicóles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 016 021A III	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: Y:
N° de campo: COR 016 021A III	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 016	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares entre 1 y 5 cm. con matriz en venas de calcita-dolomita con inclusiones de pirita.	
---	--

**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa y calcárea, con venas de calcita-dolomita subhedrales a euhedrales, con inclusión de albita, cuarzo y pirita.

**Selección:** Moderada

% de granos del armazón: 31.41%	<b>Redondez promedio:</b> Angular a subangular
% de matriz: 68.59%	<b>Esfericidad promedio:</b> Subesferico a subelongado
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b> Flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Calcita-Dolomita (60.71%):** Agregados de individuos subhedrales a euhedrales (algunos individuos euhedrales se encuentran incluidos en otros individuos subhedrales), de tamaño cristalino extremado grueso a medio, presenta inclusiones de albita, pirita y Cuarzo?.

**Albita (22.85%):** Agregados de individuos subhedrales a euhedrales de forma tabular, maclados según la ley de la albita. Son de tamaño cristalino grueso a fino en contacto neto con el cuarzo y la pirita e incluido en la calcita-dolomita. Los individuos mas finos y anhedrales se presentan en los clastos de lodolita carbonosa (parcialmente albitizados) diseminados, en contacto flotante con la materia orgánica. También se presenta como agregados granulares afanocristalinos bordeados por cristales de calcita-dolomita. También se encuentra hacia los bordes de los clastos de lodolita carbonosa

**Cuarzo (2.86%):** Individuos anhedrales a subhedrales de forma mas o menos redondeada de tamaño cristalino fino a medio. Esta en contacto neto con la albita y la pirita e incluido en la calcita-dolomita

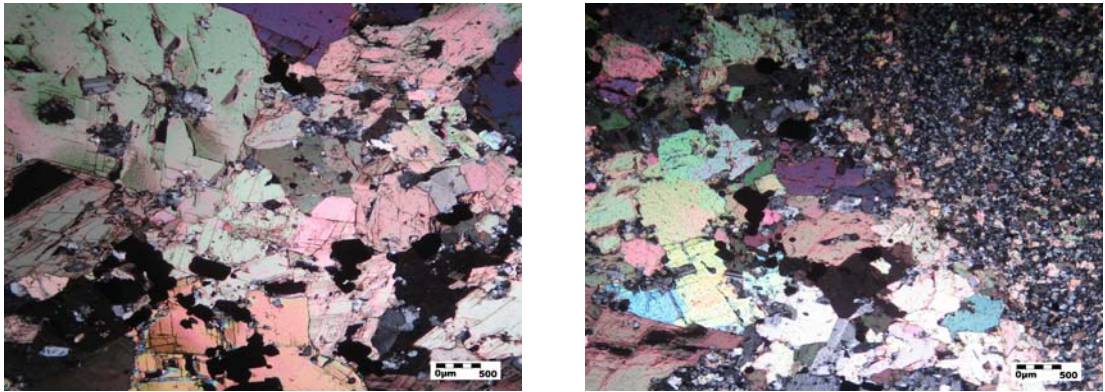
**Pirita (5.71%):** agregados de individuos de tamaño cristalino grueso a fino, en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita. Se presenta también diseminado en los fragmentos de lodolita

**Minerales principales:**

**Cuarzo (5.42%):** De tamaño limo medio a grueso, subangulares a subredondeados, en contacto flotante en contacto longitudinal a flotante con la albita y la esparita.

**Esparita (11.42%):** Agregados de individuos anhedrales a subhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino, se encuentra en los clastos de lodolita formando la matriz de algunos clastos de lodolita.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
carbonatico	carbonatico

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Brecha
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares y cemento/matriz de venas de calcita-dolomita con inclusiones de pirita.
<b>ESTRUCTURAS</b>
Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita de forma subangular a angular.
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa y calcárea, con venas de calcita-dolomita subhedrales a euhedrales, con inclusión de albita, cuarzo y pirita.
<b>OBSERVACIONES</b>

Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**  
**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02 B	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02 B	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Vena de esmeralda, pirita y dolomita en contacto con lodolita carbonosa.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** encajante, lodolita carbonosa presentando proceso parcial de albitización, en contacto neto con vena de calcita-dolomita romboédrica, albita y pirita.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b>
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b>
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita (25%):** Agregados e individuos que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes en la roca caja: 1. Albita diseminada de forma subhedral-anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. 2. agregados granulares en forma de bolsas o lentes aislados, compuesto por individuos de forma subhedral-anhedral. Presentan tamaños de cristalino fino a afanocristalino. 3. Agregados granulares en forma de lentes y venas que cruzan la laminación de la roca caja. se compone de individuos tabulares subhedral-euhedral, de tamaño cristalino grueso a fino asociado con la pirita y calcita-dolomita en contacto neto. La albita presente en la vena, se presentan en agregados, compuesto por individuos de forma subhedral-euhedral. Presentan tamaños que oscilan entre cristalino grueso a fino. En la vena se encuentra principalmente en contacto con la roca encajante (eje mayor de los cristales perpendicular a la roca), y también se encuentra incluido en la calcita-dolomita romboédrica y fibrosa.

**Pirita (15%):** En roca caja: diseminada de forma cúbica, subhedral euhedral de tamaño cristalino medio a fino. También se encuentra incluida en los agregados granulares de albita que se presentan forma de lentes y venas. En estos agregados al pirita exhibe tamaños que oscilan entre cristalino grueso a medio, de forma subhedral- euhedral. Como se indicó antes esta asociada a la albita en contacto neto y presenta dentro de estos agregados inclusiones de calcita-dolomita. La pirita presente en la vena se encuentra en agregados masivos que cortan la vena de calcita-dolomita hasta casi entrar en contacto con la roca caja. se componen de individuos masivos de tamaño cristalino extremado grueso, subhedral euhedrales.

**Calcita-dolomita (40%):** Individuos que se presenta de 2 formas: 1. Como agregados fibrosos subhedral anhedrales, de tamaño cristalino grueso a medio, en contacto con la roca encajante, asociado a la albita, la cual esta englobando. 2. Individuos romboédricos subhedral euhedrales de tamaño cristalino grueso a extremado grueso.

**Minerales principales:**

**Materia orgánica (16%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.

**Minerales arcillosos (4%):** Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita

**Moscovita (5%):** Individuos tabulares de forma subhedral euhedral, de tamaño limo grueso a fino. En las zonas en las cuales aun no se ha perdido la laminación por el proceso de albitización, esta sigue la dirección de la laminación. Se encuentra en contacto flotante con la materia orgánica y los minerales arcillosos.

**Micrita-microsparita (5%):** diseminada en la el cuerpo rocoso. Se encuentra en contacto flotante con la albita diseminada y la moscovita.

**Tipo de cemento:**

**Tipo de Matriz:**

calcárea

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Vena cristalina gruesa a extremada gruesa.

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

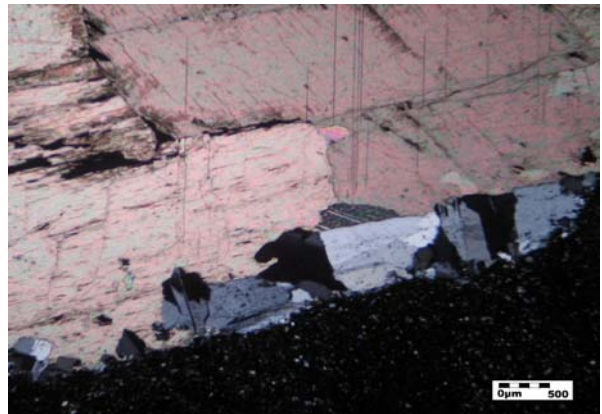
Vena de calcita-dolomita, albita, pirita, en contacto con lodolita carbonosa albitizada.

**ESTRUCTURAS**

Roca encajante, lodolita carbonosa con laminación plana paralela la cual solo se preserva en algunos sectores de la roca, mientras que en otras ha sido borrada por el proceso de albitización o plegada por el paso del fluido mineralizante. La vena presenta estructura en cresta en algunas zonas (crecimiento hacia el centro de la vena), mientras en otras es masiva.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita carbonosa con parcial proceso de albitización, en contacto neto con vena compuesta principalmente de calcita-dolomita, acompañada por albita y pirita, masiva en algunas zonas y en otras muestra estructura en cresta.

**OBSERVACIONES**

Microfotográfica: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados




**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02 D	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02 D	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Vena de calcita, esmeralda prismática y cristales de pirita (piritohedros), con estructura masiva.	
--	--

**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Vena compuesta por calcita-dolomita romboédrica, pirita en agregados y albita en individuos y como agregados granulares que hacen las veces de matriz para fenocristales subhedrales de carbonato y pirita. También presenta individuos columnares de berilo.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b> Nulo
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b> Nulo
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita (15%):** Se presentan 2 politipos: 1. Matriz compuesta por agregados granulares de albita de forma subhedral-anhedral. Posee tamaños que varían de cristalino fino afanocristalino, se encuentran englobados por cristales de calcita-dolomita. Dentro de estos a agregados se presentan inclusiones de fenocristales de pirita (tamaño cristalino medio a fino), calcita-dolomita de forma subhedral-anhedral (cristalino grueso a muy grueso), Albita (tamaño cristalino medio a fino, presenta inclusiones de moscovita y pirita) y ocasionalmente cristales tabulares de moscovita euhedrales (tamaño cristalino fino). 2. Agregados compuesto por individuos tabulares subhedral-euhedral. Se presentan incluidos dentro de los individuos de calcita-dolomita subhedrales-euhedrales. también se encuentran asociado a la pirita en contacto neto e incluido en este.

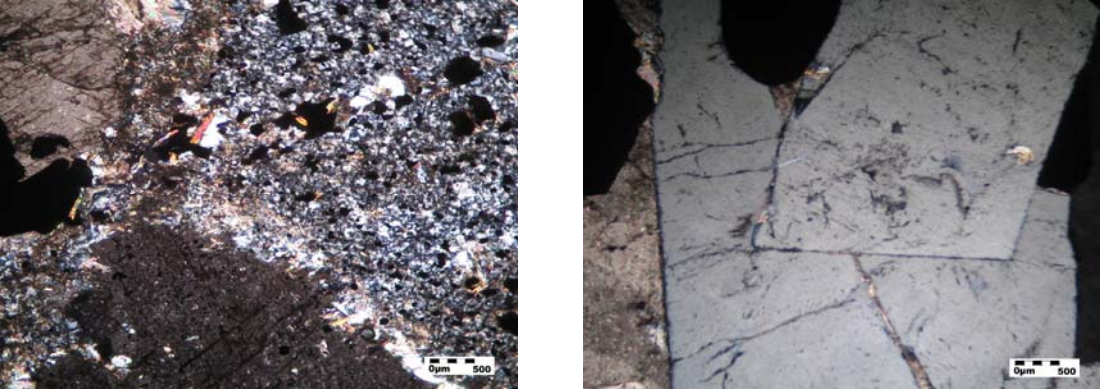
**Calcita-dolomita (35%):** Se presentan 2 tipos: 1. Calcita-dolomita de forma subhedral-anhedral de tamaño cristalino grueso a muy grueso. Se presenta como fenocristales en la matriz de agregados granulares de albita. Se encuentra asociado a la albita y a la pirita en contacto neto y con inclusiones de estos. 2. Calcita-dolomita de forma subhedral euهدral de tamaño cristalino grueso a extremado grueso. Se encuentra asociado a la pirita y albita subhedral euهدral como minerales englobados por este.

**Pirita (24%):** Individuos y agregados compuesto cristales de forma cúbica subhedral-euhedral, de tamaño cristalino extremado grueso a medio. Se presenta englobado por la calcita-dolomita. Algunos individuos presentan inclusiones de calcita-dolomita anhedral, albita y moscovita.

**Moscovita (1%):** Individuos tabulares subhedrales euhedrales, de tamaño cristalino fino. Se encuentra asociado a la albita, en la cual esta incluida y en contacto neto, y con la pirita en contacto neto.

**Berilo (15%):** Agregado compuesto por individuos equigranulares columnares, subhedrales-euhedrales, de tamaño extremado grueso. Algunos presentan terminaciones con bordes curvilíneos. Se encuentra en contacto neto con la calcita-dolomita y la pirita.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>  Calcárea
-------------------------	--

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Vena cristalina gruesa a extremada gruesa.
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Vena de calcita-dolomita, albita, pirita y berilo.
<b>ESTRUCTURAS</b>
Vena de calcita-dolomita, albita, pirita y berilo. Ninguno de los minerales posee una orientación definida.
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Vena compuesta principalmente de Calcita-dolomita cuyos tamaños oscilan entre cristalino grueso a extremado grueso.
<b>OBSERVACIONES</b>

MicrofotografíaS: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 029 02 R	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
Nº de campo: COR 029 02 R	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Vena de calcita, dolomita, pirita y berilo.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal definida por la presencia de fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizadas de forma angular a subangular, englobados por venas de calcita-dolomita, pirita, albita, berilo y moscovita

**Selección:**

% de granos del armazón: 4%	Redondez promedio: angular a subangular
% de matriz: 96%	Esfericidad promedio: subesferico a subelongado
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos: flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

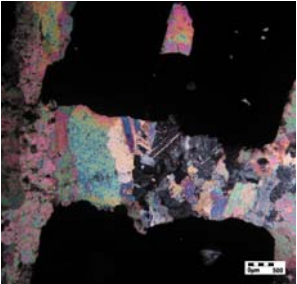
**Albita (15%):** Se presentan 3 politipos: 1. Albita diseminada en los fragmentos de lodolita carbonosa. Son forma irregular subhedral-anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. 2. Agregados compuesto por individuos tabulares de forma subhedral-euhedral maclados según ley de la albita, de tamaño cristalino grueso a fino. Estos agregados se concentran en una zona específica de la sección (Dominio 1, domina albita). 3. Individuos de forma subhedral-euhedral, maclados según ley de la albita. Posee tamaños que oscilan entre cristalino grueso a muy grueso. se presentan en el Dominio 2 (Domina la calcita-dolomita), englobado por calcita-dolomita y berilo.

**Calcita-dolomita(30%):** Se presentan 2 tipos: 1 individuos alargados, subhedral-anhedrales, con extinción ondulante, en agregados granulares. Se presentan englobados por agregados de pirita. Los tamaños de estos individuos oscilan entre cristalino grueso a medio. 2. calcita dolomita en forma de romboedro, se presentan rodeando a los agregados de pirita. presenta inclusiones de albita y se asocia al berilo en contacto neto.

**Pirita (35%):** individuos cúbicos subhedral-euhedral de tamaño extremado grueso, en agregados masivos. Se encuentran englobando a los agregados granulares de albita. Este a su vez se encuentra rodeado por calcita dolomita romboédrica.

**Berilo (15%):** Individuo subhedral, incoloro, de forma hexagonal subhedral. Se presenta englobado y cortado por calcita-dolomita, y también presenta inclusiones de albita (tipo 3) y se asociada también a la pirita en contacto neto.

**Moscovita (1%):** Individuos tabulares alargados subhedral euhedral, de tamaño cristalino medio a fino. Se asocia con la albita y la pirita en contacto neto e incluido en estos

<b>Minerales principales:</b>		
<b>Materia orgánica (2%):</b> Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.		
<b>Minerales arcillosos (2%):</b> De tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos albita		
<b>Tipo de cemento:</b>  calcárea	<b>Tipo de Matriz:</b>  calcárea	
<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>		
Brecha matriz soportada		
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>		
Brecha matriz soportada, con fragmentos de lodolita carbonosa, con cemento/matriz compuesto principalmente por Calcita-dolomita y pirita.		
<b>ESTRUCTURAS</b>		
Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa de forma subangular a angular.		
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>		
Brecha tectónica hidrotermal definida por la presencia de fragmentos de lodolita carbonosa parcialmente albitizadas de forma angular a subangular, englobados por venas de calcita-dolomita, pirita, albita, berilo y moscovita		
<b>OBSERVACIONES</b>		
		

Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02S	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02S	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Lodolita carbonosa en contacto con vena de calcita, dolomita, pirita y berilo.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Lodolita carbonosa parcialmente albitizada en contacto con vena compuesta principalmente de calcita dolomita de tamaño cristalino extremado grueso a medio.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b>
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b>
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita (8%):** Se presenta 2 tipos: 1. Albita diseminada en la lodolita carbonosa. son de forma tabular subhedral-anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino 2. individuos tabulares de forma subhedral-euhedral, maclados según ley de la albita. Se presentan en contacto neto con la roca encajante (ejes mayor perpendicular a la superficie de contacto) y también asociado a la calcita dolomita, la cual engloba a los individuos de albita. Se asocia también con el berilo en contacto neto y englobado por este.

**Pirita (2%):** Individuos cúbicos subhedral-euhedrales, de tamaño cristalino medio a fino. Se asocia a la calcita-dolomita el cual engloba a la pirita, y también se asocia a la zonas albitizadas en la roca encajante.

**Calcita-dolomita (25%):** Individuos que se presenta de 2 formas: 1. Como agregados fibrosos subhedral anhedral, de tamaño cristalino grueso a medio, en contacto con la roca encajante, asociado a la albita, la cual esta englobando. 2. Individuos romboédricos subhedral euhedrales de tamaño cristalino extremado grueso. De acuerdo a esta disposición de la calcita dolomita de esta forma, esta define la denominada estructura en cresta, la cual indica el crecimiento de la vena, crecimiento de la vena hacia el centro. se encuentra asociado a la pirita, berilo y albita (tipo2) los cuales esta englobando.

**Berilo (20%):** individuos hexagonales subhedral de tamaño extremado grueso a grueso. Se encuentra asociado a la albita, pues esta se dispone incluida dentro del berilo, también presenta contacto neto con la lodolita carbonosa y la calcita-dolomita (que también la corta).

**Minerales principales:**

**Materia orgánica (40%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.

**Minerales arcillosos (10%):** De tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos albita

**Moscovita (1%):** Individuos tabulares de forma subhedral euhedral, de tamaño limo medio a fino. Se dispone paralelo a la laminación de la lodolita carbonosa. Se asocia en contacto flotante con la materia orgánica y los minerales arcillosos.

**Tipo de cemento:**

**Tipo de Matriz:**

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Vena cristalina gruesa a extremada gruesa.

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Vena de calcita-dolomita, albita, pirita, en contacto con lodolita carbonosa albitizada.

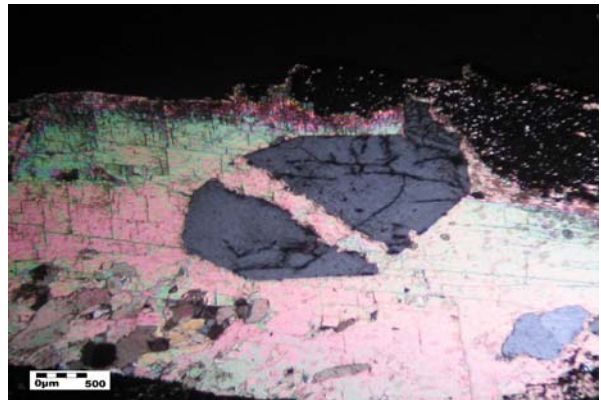
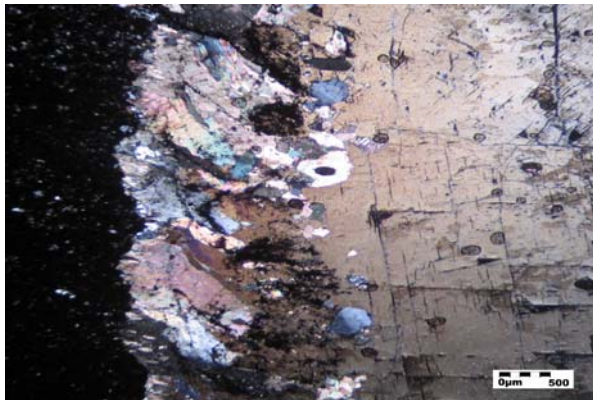
**ESTRUCTURAS**

Estructura en cresta definida por la ocurrencia de calcita-dolomita fibrosa subhedral-anhedral en contacto con la roca encajante (lodolita carbonosa albitizada) y la disposición de calcita dolomita romboédrica subhedral-euhedral hacia el centro de la vena.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita carbonosa parcialmente albitizada en contacto con vena compuesta principalmente de calcita dolomita de tamaño cristalino extremado grueso a medio y berilo hexagonal de tamaño extremado grueso a grueso. Ambos minerales asociados a la albita y la pirita que se presentan en menor proporción.

**OBSERVACIONES**



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



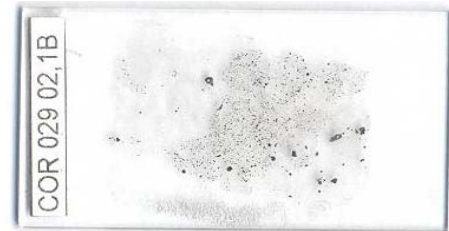
**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02.1B	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02.1B	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal conformada por fragmentos de lodolita carbonosa y venas de carbonato y pirita. Posee mineralización de berilo.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Vena compuesta por calcita-dolomita, pirita y berilo.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b>
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b>
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita(20%):** Agregados granulares, compuesto por individuos tabulares subhedral-anhedral, maclados según ley de la albita, con tamaños entre cristalino medio a fino. Se presenta englobado por calcita-dolomita, berilo y a la pirita.

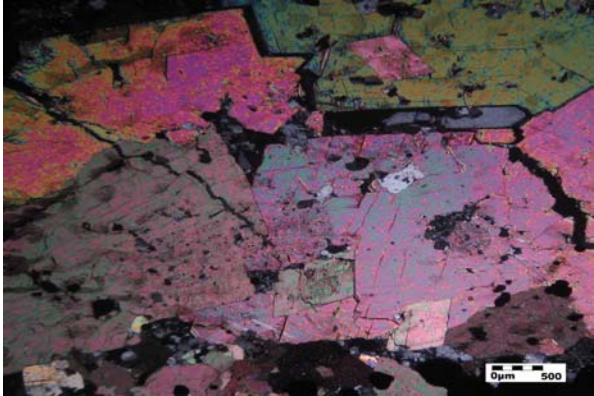
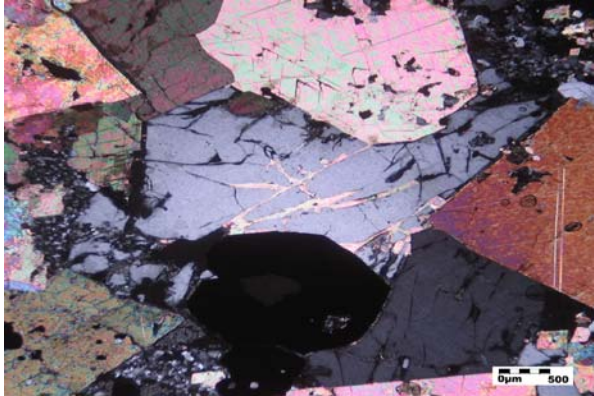
**Calcita-Dolomita (40%):** Se presentan 2 tipos: 1. Individuos romboédricos subhedral-euhedral, de tamaño cristalino extremado grueso a grueso. Este tipo de calcita-dolomita se presenta hacia los extremos de la sección englobando y cortando a los cristales de berilo, aunque también se aprecia un individuo de calcita-dolomita romboédrico euhedral de tamaño cristalino medio, incluido en el berilo. también se asocia con la albita y la pirita, como minerales incluidos en este tipo de calcita-dolomita, aunque la cantidad de pirita englobada es menor con respecto a la pirita englobada por el otro tipo de calcita-dolomita. 2. Agregados compuesto por individuos irregulares subhedral-anhedral, con tamaños entre cristalino grueso a fino. Esta asociado a la pirita, la cual se presenta en mayor cantidad en este tipo de calcita dolomita. también se asocia con la albita como mineral englobado. Este tipo de calcita-dolomita se presenta hacia el centro de la sección.

**Pirita (30%):** Individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino. Se presenta una mayor profusión de pirita hacia el centro de la sección, en asocio con el carbonato tipo 2. Se presenta incluido en calcita-dolomita, berilo y con inclusiones de albita.

**Berilo (10%):** Individuos hexagonales subhedral-anhedral, de tamaño cristalino extremado grueso. Presenta inclusiones de pirita y se encuentra en contacto neto, cortado e incluido por calcita-dolomita. También presenta inclusiones de pirita y albita

**Sericita (1%):** (Moscovita de grano fino) agregados de tamaño cristalino muy fino a afanocristalino. Esta asociado con la albita, berilo, pirita y carbonato en contacto neto. También se presenta en contacto neto con la calcita-dolomita.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
Calcareo	Calcareo

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Vena cristalina de tamaño cristalina gruesa a extremado gruesa.
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Vena de Calcita-dolomita, albita, pirita y berilo.
<b>ESTRUCTURAS</b>
Masiva
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Vena compuesta principalmente por calcita dolomita, presentando tamaños entre cristalino extrenado grueso a fino, presentando los menores tamaño hacia el centro de la seccion en donde tambien es abundante la pirita, mas que en cualquier otra zona de la sección. También la vena la componen berilo, agregados de albita y pirita
<b>OBSERVACIONES</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">Microfotografias: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados</p>



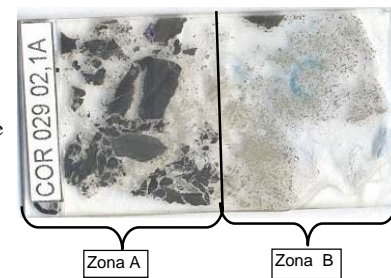
**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON  
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA  
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02.1A	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02.1A	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal conformada por fragmentos de lodolita carbonosa y venas de carbonato y pirita. Posee mineralización de berilo.



**ANALISIS MICROSCOPICO (ZONA A)**

**Homogeneidad de la roca:** Zona de fracturamiento. Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares de tamaño guijos muy finos a arena gruesa. Los fragmentos presentan laminación delgada plana paralela discontinua, ocasionalmente plegada por el paso del fluido mineralizante. Con respecto a la zona B, esta zona posee un menor contenido de pirita. En esta zona también se aprecia dos tipos de sericita, las 2 asociadas a la albita pero uno de ellas es producto de alteración de la albita y la otra se encuentra en contacto neto con la albita y con ankerita.

**Selección:**

% de granos del armazón: 42.6%	<b>Redondez promedio:</b> subangulares a subredondeados
% de matriz: 57.4%	<b>Esfericidad promedio:</b> elongado a subsferico
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b> flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Calcita-Dolomita (27.5%):** 2 tipos: 1. Agregados compuesto por individuos subhedrales a euhedrales (algunos individuos euhedrales se encuentran incluidos en otros individuos subhedrales), de tamaño cristalino extremado grueso a grueso, presenta inclusiones de albita, pirita y Cuarzo?. 2. Individuos romboédricos euhedrales de tamaño cristalino medio, englobados por los individuos del tipo 1, algunos se aprecian zonados.

**Albita (20.4%):** Se presentan 3 tipos: 1. individuos de forma anhedral - subhedral de tamaño cristalino fino a muy fino, se encuentran diseminados en los fragmentos de lodolita carbonosa. 3. Agregados, compuesto por individuos subhedrales - anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. se presentan como venas asociado con el cuarzo en venas que cortan a los fragmentos de roca. 3. Agregados de individuos subhedrales a euhedrales de forma tabular, maclados según la ley de la albita. Son de tamaño cristalino grueso a fino en contacto neto con el cuarzo y la pirita e incluido en la calcita-dolomita. También se encuentra hacia los bordes de los clastos de lodolita carbonosa. Los individuos del tipo 3 presentan alteración a Sericita 1

**Pirita (5%):** agregados de individuos de tamaño cristalino grueso a fino, en contacto neto con la albita y el cuarzo e incluido en la calcita-dolomita. Se presenta también diseminado en los fragmentos de lodolita

**Ankerita (2.5%):** Individuos subhedrales-euهدrales de tamaño cristalino grueso a medio. Presentan oxidación hacia sus bordes y en los planos de exfoliación. Se encuentran incluidos en los agregados de sericita.

**Cuarzo (2.5%):** agregado de individuos de forma subhedral-anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino. Se encuentra asociado a la albita (tipo 2)

**Sericita 2 (2%):** (Moscovita de grano fino) agregados de tamaño cristalino muy fino a afanocristalino. Presenta inclusiones de ankerita, albita y cuarzo, con los cuales se presenta en contacto neto. También se presenta en contacto neto con la calcita-dolomita.

**Minerales principales:**

**Cuarzo (5%):** de tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.

**Materia orgánica (25.6%):** Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.

**Minerales arcillosos (6.5%):** Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo.

**Moscovita (3%):** individuos de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de laminación. Se encuentra en contacto flotante con la materia orgánica, longitudinal a flotante con el feldespato, cuarzo y los minerales arcillosos.

**Tipo de cemento:**

calcáreo

**Tipo de Matriz:**

calcáreo

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Brecha tectónica hidrotermal con fragmentos de lodolita carbonosa angulares a subangulares y cemento/matriz de venas de calcita-dolomita romboédrica, albita cuarzo y pirita.

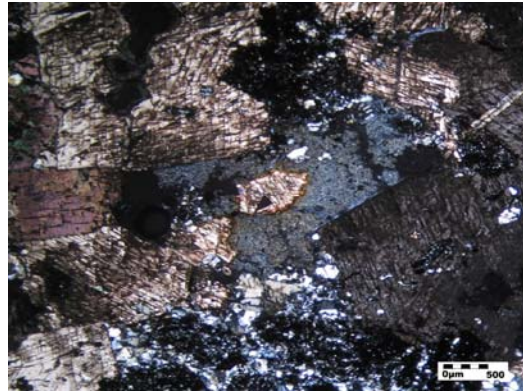
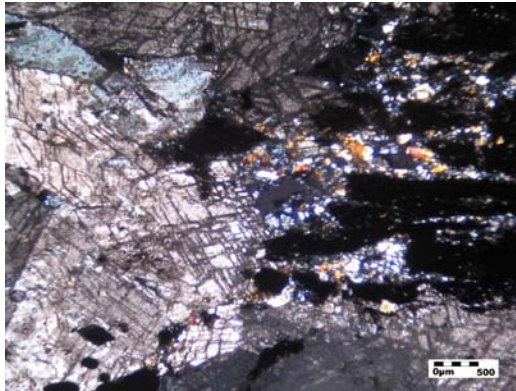
**ESTRUCTURAS**

Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita, con estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita de forma subangular a angular.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Brecha tectónica hidrotermal definida por la presencia de fragmentos de lodolita carbonosa de forma angular a subangular. Los fragmentos presentan laminación delgada plana paralela discontinua, ocasionalmente plegada por el paso del fluido mineralizante. El cemento/matriz compone principalmente de Calcita-dolomita, pero también se presenta albita y pirita y como accesorio ankerita y sericita. Con respecto a la zona B, esta zona posee un menor contenido de pirita. Se presentan 2 tipos de sericita, las 2 asociadas a la albita pero uno de ellas aparece como producto de alteración de la albita y la restante se encuentra en contacto neto con la albita y con ankerita.

**OBSERVACIONES**



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados.



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 029 02.1A	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1027305 Y: 1076365
N° de campo: COR 029 02.1A	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 029	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal conformada por fragmentos de lodolita carbonosa y venas de carbonato y pirita. Posee mineralización de berilo.



**ANALISIS MICROSCOPICO (ZONA B)**

**Homogeneidad de la roca:** Vena de compuesta por calcita-dolomita con abundantes inclusiones de pirita. Con respecto a la zona A, en esta zona la pirita es muy abundante.

**Selección:**

% de granos del armazón: 0%	Redondez promedio: Nulo
% de matriz: 100%	Esfericidad promedio: Nulo
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

**MINERALES**

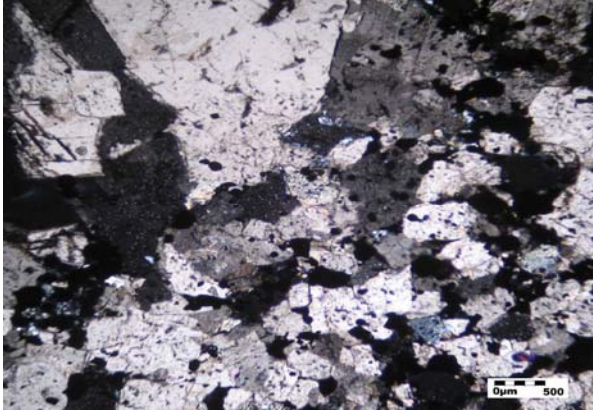
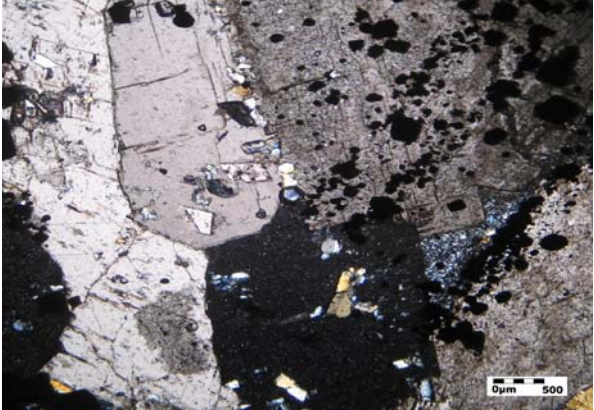
**Minerales autigenicos:**

**Calcita-dolomita (%):** En esta zona se aprecian 2 tipos: 1. Agregados compuesto por individuos de forma subhedral euhedral, de tamaño extremado grueso a grueso. Presentan unas pocas inclusiones de albita y pirita. 2. Individuos anhedrales de tamaño cristalino grueso a medio. 3. Individuos romboédricos euhedrales de tamaño cristalino medio, englobados por los individuos del tipo 1, algunos se aprecian zonados.

**Albita (%):** 1. Individuos de forma tabular subhedral - anhedral de tamaño cristalino grueso a fino. 2 Agregados compuesto por individuos de forma tabular, subhedral euhedral, de tamaño cristalino medio a fino

**Pirita (%):** Individuos de forma cúbica, subhedral-euhedral de tamaño cristalino grueso a fino. Se encuentran incluidos en la calcita dolomita. También esta asociado a la albita en contacto neto.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>  Calcárea
-------------------------	--

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Vena
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Vena compuesta por Calcita-dolomita, albita y pirita.
<b>ESTRUCTURAS</b>
Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Venas de carbonatos (calcita-dolomita) de tamaño extremado grueso a medio, con inclusiones de pirita, cuarzo y albita
<b>OBSERVACIONES</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados</p>




**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 01	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 01	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Mudstone carbonoso, con vena de calcita-dolomita? Fibrosa	
---	---

**ANALISIS MICROSCOPICO**

Lodolita calcárea-carbonosa con laminación plana no paralela compuesta en laminas regulares. Presenta desarrollo de vena que corta la laminación que se compone de albita ubicada en las paredes de la vena (en contacto con el mudstone carbonoso) y en el centro con desarrollo de calcita-dolomita? Fibrosa. los ejes mayores de estos minerales se disponen aproximadamente perpendiculares a las paredes de la vena. en esta sección también se tiene el desarrollo de proceso de albitización. La laminación en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltración o percolación del fluido hidrotermal mineralizante.

**Selección:**

% de granos del armazón: 32.6%	Redondez promedio: Subredondeado-redondeado
% de matriz: 67.53%	Esfericidad promedio: Subesferico a subelongado
Tamaño de grano promedio de la roca: limo medio a arcilla	Contacto entre granos: Longitudinal-flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos:</b>
<b>Materia orgánica (20.66%):</b> Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.	<b>Albita (18.09%):</b> Agregados e individuos que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes: 1. albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, de tamaño cristalino medio a fino, de forma subhedral a anhedral. 2. Como agregados granulares exhibiendo una morfología lenticular, dispuesto de manera subparalela a la laminación, presentan tamaños que oscilan de cristalino medio hasta afanocristalino, de forma subhedral a anhedral. 3. Agregados que se presentan con morfología lenticular o en venas, que cruzan la laminación, compuestos por individuos subhedrales a euhedrales de tamaño cristalino grueso a medio, asociados en contacto neto con calcita-dolomita. La albita se presenta en los bordes de estas venas o lentes, perpendiculares a las paredes.
<b>Micrita-microsparita (22.31%):</b> Se presenta diseminado en la roca formando bandas paralelas a la laminación en algunas zonas de la roca estas bandas se encuentran separadas por laminas ricas en materia orgánica. En estas bandas se encuentra albita diseminada y en albita en agregados granulares lenticulares.	
<b>Minerales arcillosos (16.53%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.	

<p><b>Cuarzo (10.63%):</b> De tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.</p> <p><b>Moscovita (2.48%):</b> De tamaño limo medio a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.</p>	<p><b>Pirita (2.48%):</b> Individuos de forma subhedral a euhedral distribuidos aleatoriamente en la roca, se presentan en tamaños que oscilan entre cristalino medio a fino y se encuentran asociado con la albita y la calcita dolomita en contacto neto.</p> <p><b>Calcita-dolomita (4.96%):</b> Agregados de tamaño cristalino medio a fino, de forma subhedral a anhedral, fibrosos. Se presentan en venas y lentes en asocio con albita en contacto neto. Hacia el centro de la vena se presenta calcita dolomita de grano mas fino. Estos son rasgos de crecimiento sintaxial (paredes de la vena hacia el centro).</p>
<p><b>Tipo de cemento:</b> micrita-microesparita.</p>	<p><b>Tipo de Matriz:</b> carbonoso</p>

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Lodolita

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Lodolita calcárea-carbonosa.

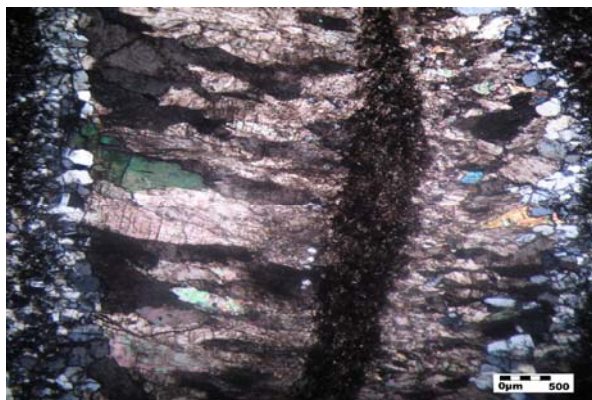
**ESTRUCTURAS**

Lodolita calcárea-carbonosa con laminación plana no paralela compuesta en laminas regulares. Presenta desarrollo de venas y lentes que corta la laminación que se compone de albita ubicada en las paredes de la vena y en el centro con desarrollo de calcita-dolomita Fibrosa (vena sintaxial). Los ejes mayores de estos minerales se disponen aproximadamente perpendiculares a las paredes de la vena. en esta sección también se tiene el desarrollo de proceso de albitización. La laminación en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltración del fluido hidrotermal mineralizante.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita calcarea-carbonosa con laminacion plana no paralela compuesta en laminas regulares. La laminacion en algunos sectores de la roca se encuentra plegada muy seguramente por la infiltracion o percolacion del fluido hidrotermal mineralizante que produjo el proceso de albitizacion. la albita de este proceso hidrotermal se presentan de 3 maneras: 1. albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia organical. 2. Como agregados granulares presentando una morfologia lenticular, dispuesto de manera subparalela a la laminación. 3. Agregados que se presentan con morfologia lenticular o en venas, que cruzan la laminacion, acompañados en contacto neto con calcita-dolomita fibrosa que se ubica hacia el centro de la vena principalmente, en algunos lentes se parecia hacia los bordes. La albita se presenta en los bordes de estas venas o lentes, perpendiculares a las paredes. la roca tambien presenta pirita diseminada.

**OBSERVACIONES**



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 04	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 04	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Lodolita carbonosa shale con venas y acumulaciones locales de cuarzo? (en afloramiento corresponde a fragmentos de una Brecha tectónica hidrotermal)



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Lodolita carbonosa shale con laminación plana paralela continua en laminas regulares, con venas cruzan la laminación, lentes paralelos a la laminación y diseminación de albita. La roca presenta también en algunas zonas el plegamiento de la laminación tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización.

**Selección:** buena

<b>% de granos del armazón:</b> 70.65%	<b>Redondez promedio:</b> subredondeado a subangular
<b>% de matriz:</b> 29.35%	<b>Esfericidad promedio:</b> subesferico a subelongado
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b> limo grueso a arcilla	<b>Contacto entre granos:</b> longitudinal a flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos:</b>
<b>Materia orgánica (41%):</b> Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas. También se encuentra acumulaciones de materia orgánica? hacia el centro o dispersa en las venas de albita que son paralelas a la laminación..	<b>Albita (23%):</b> Agregados e individuos que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes: 1. albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, cuyos tamaños oscilan entre cristalino fino hasta afanocristalino, son de forma subhedral a anhedral. 2. Como agregados granulares presentando una morfología lenticular o en bolsas, dispuesto de manera que cortan y en otros casos son paralelos a la laminación. Presentan tamaños que oscilan de cristalino medio hasta afanocristalino, de forma subhedral a anhedral. esta acompañado por pirita con la que se encuentra en contacto neto, esta se presenta hacia el centro de estos lentes. 3. Venas que son paralelas a la laminación de tamaño cristalino fino, de forma subhedral-anhedral. Estas venas también presentan acumulaciones de materia orgánica? hacia el centro o dispersa en estas.
<b>Minerales arcillosos (22%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.	<b>Pirita (2%):</b> Agregados conformado por individuos de forma subhedral a euhedral y de tamaños que oscilan entre cristalino medio a grueso. La pirita se presenta en las bolsas o lentes de albita, ubicándose principalmente hacia el centro de estas, pero también se presenta hacia los bordes de estos lentes, en los cuales se aprecia con sus mayores tamaños.
<b>Cuarzo (4%):</b> De tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.	
<b>Moscovita (8%):</b> De tamaño limo grueso a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.	
<b>Tipo de cemento:</b> carbonosa	<b>Tipo de Matriz:</b> arcillosa

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Lodolita

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

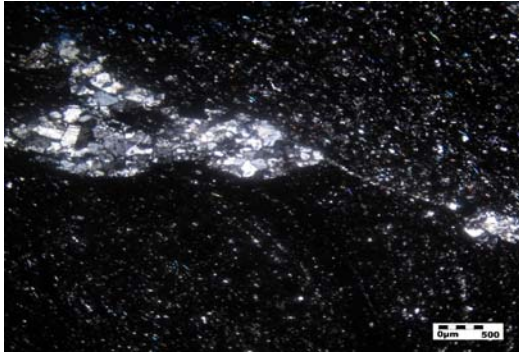
Lodolita carbonosa shale

**ESTRUCTURAS**

Laminación plana paralela continua en laminas regulares. Presenta venas paralelas y lentes que cruzan y son paralelos a la laminación. La roca presenta también en algunas zonas el plegamiento de la laminación tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita carbonosa shale con laminación plana paralela continua en laminas regulares. Presenta venas paralelas a laminación con acumulaciones de materia orgánica? hacia el centro o dispersa en las venas, lentes que cruzan y son paralelos a la laminación y albita diseminada. La roca presenta también en algunas zonas el plegamiento de la laminación tal vez a causa de la percolación del fluido hidrotermal que origina el proceso de albitización.

**OBSERVACIONES**

Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 07	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 07	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal con óxidos de Fe, constituida por fragmentos de lodolita de 0,5-3cm



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal, conformada por fragmentos angulares a subangulares de lodolita albitizada. en la lamina delgada se observan una gran cantidad de oquedades muy seguramente dejado por el material que conformaba el cemento/matriz (Calcita-dolomita y pirita. probablemente), quedando solamente albita, ocasionado por la acción de fluidos supergenicos, lo que produce que la muestra en el afloramiento sea bastante friable. en los bordes de los clastos y en algunas de las oquedades se encuentran bañados por óxidos de Fe (Goetita o hematita?), dejados seguramente por oxidación de la pirita.

**Selección:** Moderada

**% de granos del armazón:** 81.12%

**Redondez promedio:** Angular a subangular

**% de matriz:** 18.88%

**Esfericidad promedio:** Subelongado a elongado

**Tamaño de grano promedio de la roca:**

**Contacto entre granos:** Flotante

**MINERALES**

**Minerales principales:**

**Cuarzo (4.75%):** De tamaño limo medio a muy grueso, subangulares a subredondeados, en contacto longitudinal a cóncavo convexo con la albita.

**Moscovita (1%):** Presente en los fragmentos en forma aleatoria y en una estructura en estilolito de un clasto de lodolita albitizada.

**Minerales autigenicos:**

**Albita (59.40%):** Se presenta en de dos formas. 1. en la matriz de la brecha como individuos de forma subhedral a euhedral, con tamaños que oscilan entre cristalino grueso a medio. Algunos se observan fracturados. 2. agregados presentes en los clastos de lodolita, compuestos por individuos de forma subhedral a anhedral con tamaños que oscilan entre cristalino fino a muy fino. la albita presenta signos de alteración.

**Óxidos de Fe (34.84%):** Se presentan principalmente hacia los bordes de los clastos de lodolita albitizada, y en algunas de las oquedades.

**Tipo de cemento:**

**Tipo de Matriz:**

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

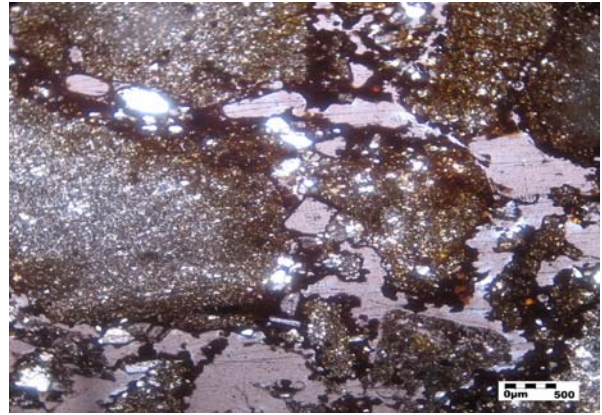
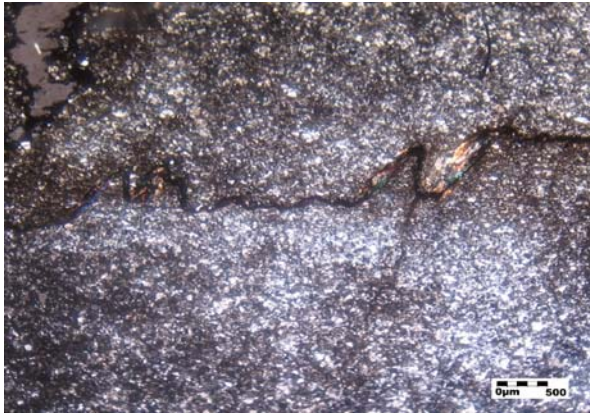
Brecha de albita y óxidos de Fe.

**ESTRUCTURAS**

Estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita albitizada de forma subangular a angular, estos clastos presenta laminación muy delgada plana paralela, y también se observa la presencia de una estructura en estilolítica en uno de los clastos de lodolita albitizada. El cemento/matriz fue removido por la acción de aguas meteóricas, lo que produce que la muestra en afloramiento sea muy friable, en otro contexto se genera porosidad secundaria por disolución de carbonatos y oxidación de la pirita.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Brecha tectónica hidrotermal, estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita albitizada de forma subangular a angular. En la sección delgada se observan una gran cantidad de oquedades muy seguramente dejado por el material que conformaba el cemento/matriz (Calcita-dolomita y pirita, probablemente) que fueron lavados por la acción de fluidos meteoricos, lo que produce que la muestra en el afloramiento sea bastante friable. En los bordes de los clastos y en algunas de las oquedades se encuentran bañados por óxidos de Fe (Goetita o hematita?), dejados seguramente por oxidación de la pirita.

**OBSERVACIONES**

Microfotografías: Izquierda y centro: oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados. Derecha: oculares 10x, objetivo 10x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 030 08	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
N° de campo: Cor 030 08	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Mudstone, con laminación delgada ondulosa no paralela continua. No Físil



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Lodolita alterada por procesos de albitización y piritización, presenta poca materia orgánica y dolomita. A pesar de los procesos de alteración, aun conserva sus estructuras sedimentarias (laminación). También presenta fracturas que cortan la laminación rellenas por albita acompañada por pirita

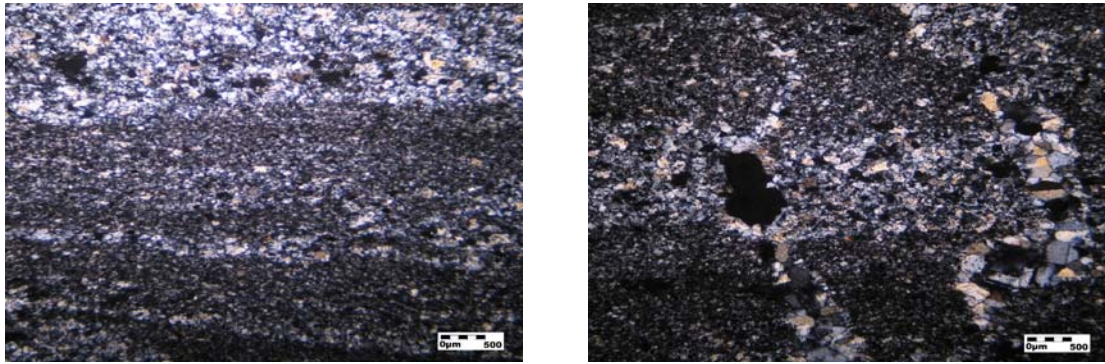
**Selección:**

% de granos del armazón: 88.37%	Redondez promedio: Nula
% de matriz: 11.63%	Esfericidad promedio: Nula
Tamaño de grano promedio de la roca: cristalino medio a fino.	Contacto entre granos: cóncavo-convexo a suturado

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos:</b>
<b>Materia orgánica (8.14%):</b> Se encuentra muy poca en la sección. Se presenta entre los individuos de albita diseminada formando laminas.	<b>Albita (70.23%):</b> Se presenta 3 tipos: 1. Diseminado en todo el cuerpo rocoso, presenta forma irregular subhedral-anhedral, con tamaños que oscilan entre cristalino fino a afanocristalino. 2. Agregados que se presenta en forma de bandas o lentes paralelos a la laminación. Esta compuesto por individuos irregulares subhedrales-anhedrales. presentan tamaños que oscilan entre cristalino medio a fino. muy poco de estos individuos muestran maclado. 3. Como agregados en venas que cortan la Laminación de la roca. se compone de individuos tabulares subhedrales euhedrales, de tamaños entre cristalino grueso a medio. la mayoría de individuos presenta maclado según la ley de la albita.
<b>Minimicrita (11.63%):</b> Dolomita de tamaño <math><1\mu\text{m}</math> se encuentra entre los individuos de albita diseminada.	<b>Pirita (10%):</b> 3 presenta 2 tipos: 1. Individuos diseminados asociado con la albita tipo 1. presenta forma cúbica subhedral -anhedral. 2. Individuos cúbicos subhedral-anhedral, con tamaños que oscilan entre cristalino grueso a fino. Se presentan acompañando a los agregados de albita que son paralelos a la laminación y también en los agregados en venas que cortan la laminación. Generalmente se les observa con las aristas redondeadas y bordes oxidados, y en muchos casos quedan las oquedades que algun instante estuvieron ocupadas por piritas.

<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de matriz</b>
	Minimicrita.

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Lodolita
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Lodolita albitizada
<b>ESTRUCTURAS</b>
A pesar de los procesos de alteración, aun conserva su laminación, la cual corresponde a laminación delgada ondulosa no paralela continua. También presenta fracturas que cortan la Laminación las cuales se encuentran rellenas principalmente de albita y en menor proporción pirita.
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Lodolita alterada por procesos de albitización y piritización, presenta poca materia orgánica y dolomita. A pesar de los procesos de alteración hidrotermal, aun conserva sus estructuras sedimentarias (laminación). También presenta fracturas que cortan la laminación rellenas principalmente de albita y en menor proporción pirita. la albitización consiste de albita diseminada y también de agregados en bandas o lentes que son paralelos a la laminación, las diferencias entre estos tipos de albita además de la disposición en la roca, radica también en el tamaño de los individuos que componen a estos agregados.
<b>OBSERVACIONES</b>

Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados.



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 012	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 012	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos con un tamaño entre 2 - 5cm. La brecha presenta pirita y albita diseminada de tamaño cristalino medio y cristales de yeso fibroso acicular de tamaño cristalino medio. Clastos de lodolita presenta estructuras de disolución.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos de lodolita albitizados, alterada por fluidos meteoricos, ya que se aprecian una gran cantidad de oquedades, tal vez ocupados antes por carbonatos, quedando tan solo la albita y pirita, que constituyan y constituyen el cemento y matriz de la brecha, esto se evidencia por la forma que poseen estos espacios vacíos.

**Selección:** Moderada.

**% de granos del armazón:** 78.22%

**Redondez promedio:** Angular a subangular.

**% de matriz:** 21.78%

**Esfericidad promedio:** Subelongado a elongado

**Tamaño de grano promedio de la roca:**

**Contacto entre granos:** Flotante

**MINERALES**

**Minerales autigenicos:**

**Albita(67%):** Agregados compuesto por individuos de tamaño entre cristalino medio a fino, de forma subhedral a euhedral. Esta en contacto neto con la pirita, y la moscovita.

**Pirita(31%):** Individuos de tamaño entre cristalino grueso a fino de forma subhedral a euhedral. Presenta oxidación (hematita?). Esta en contacto neto con la albita y la moscovita.

**Moscovita (2%):** Individuos distribuidos aleatoriamente, de tamaños entre cristalino medio a fino se forma tabular, subhedral a euhedral. Se encuentra asociado a la albita y la pirita con los que esta en contacto neto. En algunas zonas de la sección pareciere que la moscovita estuviese incluida en la albita (?).

**Tipo de cemento:**

**Tipo de Matriz:**

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha.

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Brecha tectónica hidrotermal de albita y pirita.

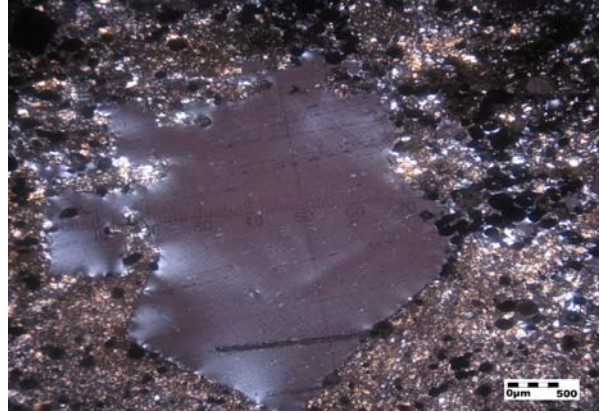
### ESTRUCTURAS

Estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita albitizada de forma subangular a angular, la laminación de estos fragmentos o se aprecia con claridad, tal vez destruida por el proceso hidrotermal de albitización. Generación de porosidad secundaria por la disolución de los carbonatos.

### DESCRIPCION DE LA ROCA

Brecha tectónica hidrotermal constituida por fragmentos de lodolita albitizados angulares a subangulares, alterada por fluidos meteoricos, ya que se aprecian una gran cantidad de oquedades, tal vez ocupados antes por carbonatos, quedando tan solo la albita y pirita, que constituían y constituyen el cemento y matriz de la brecha, esto se evidencia por la forma que poseen estos espacios vacíos.

### OBSERVACIONES



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**  
**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 013	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 013	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: <b>X</b>

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

**Tipo de roca:** Lodolita carbonosa shale (en afloramiento corresponde a fragmentos de una Brecha tectónica hidrotermal)

**Textura - Composición:** Lodosa. Presenta cristales de albíta y yeso diseminados en la roca de tamaño arena fina a muy fina. Qz = 10%. M.O = 30%. Micas = 20%. Minerales arcillosos = 20%. Albíta = 10%. Py = 10%

**Color:** Negro (N1)

**Laminación:** Laminación delgada ondulosa paralela discontinua. Físil. Presenta estriaciones en planos de estratificación

**Grado de bioturbación:**

Nulo, laminas irregulares

**Grado de meteorización:**

Roca fresca

**Partición:**

Juntas

**Reacción al HCl:** Si: No: X

**Prueba de fosfatos:** Positiva: Negativa: X



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**TEXTURA**

**Homogeneidad:** Lodolita carbonosa con laminación delgada plana paralela discontinua en laminas irregulares, la cuales unas son mas ricas en minerales arcillosos (se aprecian en nicoles cruzados y paralelos como laminas mas claras) y otras mas ricas en materia orgánica (e aprecian en nicoles cruzados y paralelos como laminas mas oscuras). Presenta fracturamiento paralelo y subparalelo a la Laminación, también fracturamiento que la corta sin presentar ningún tipo de relleno mineral. se aprecia también desarrollo parcial de albitización, por la presencia de albíta diseminada en la roca.

**Rango de tamaños:** limo medio a arena muy fina.

**Selección:** moderada

**Redondez promedio:** subredondeado

**Esfericidad promedio:** subesferico

<b>GRAVA:</b> 0%	<b>ARENA:</b> 8.34%	<b>LODO:</b> 91.66%	
<b>Tamaño promedio:</b>	<b>Tamaño promedio:</b> arena muy fina	<b>Arcilla:</b>	<b>Limo:</b> 91.66%
		<b>Tamaño promedio de la fracción limo:</b>	
<b>Redondez:</b>	<b>Redondez:</b> subredondeado	limo medio a grueso	
<b>Esfericidad:</b>	<b>Esfericidad:</b> subelongado		

**CONTACTO ENTRE GRANOS**

**Flotante:** 53.56% **Tangencial:** **Longitudinal:** 46.34%

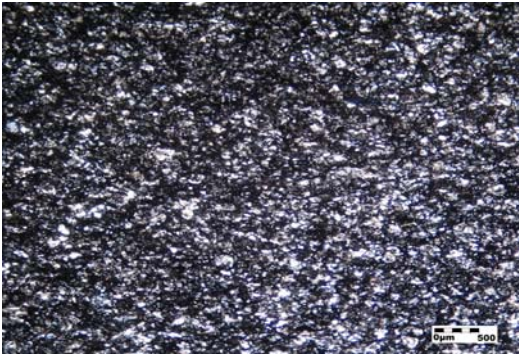

**Cóncavo - Convexo:** **Suturado:**

**ESTRUCTURAS**

laminación muy delgada plana paralela. Presenta fracturamiento paralelo y subparalelo a la laminación, también fracturamiento que la corta sin presentar ningún tipo de relleno mineral.

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)**

Lodolita arenosa

<b>COMPOSICION</b>	
<b>TERRIGENOS</b>	
<b>Cuarzo:</b> 16.53%	
Monocristalino: subredondeados a redondeados de tamaño arena muy fina a limo medio. En contacto flotante con la materia orgánica y los minerales arcillosos y en contacto longitudinal con la albita	
Policristalino:	
Chert:	
<b>Feldespato:</b>	
Potasico:	
Sodico - Calcico:	
<b>Líticos (Granito - Neis):</b>	
<b>Micas:</b>	
<b>Opacos:</b>	
<b>Minerales arcillosos:</b> 19.61%	
Mezcla de cuarzo y caolinita de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo mas gruesos.	
<b>ALOQUIMICOS</b>	
<b>LITICOS</b>	
<b>MATERIA ORGANICA</b>	
Materia orgánica amorfa dispuesta dentro de los terrígenos formando laminas	
<b>CEMENTO</b>	
Carbonoso (40.20%)	
<b>ORTOQUIMICOS</b>	
<b>POROSIDAD</b>	
Primaria: Escasa <1%	
Secundaria:	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)</b>	
lodolita carbonosa	
<b>CLASIFICACION</b>	
Lodolita arenosa, compuesta principalmente por cuarzo y materia orgánica, albitizada por la acción de fluidos hidrotermales. presenta laminación muy delgada plana paralela discontinua en laminas irregulares. Estas laminas se presentan como laminas que son mas ricas en minerales arcillosos (se aprecian en nicoles cruzados y paralelos como laminas mas claras) y otras mas ricas en materia orgánica (e aprecian en nicoles cruzados y paralelos como laminas mas oscuras).	
<b>DIAGENESIS</b>	
proceso de parcial de en la roca albitizaciónel cual consta de individuos de albita (19.70%) de forma sunhedral a anhedral de tamaño cristalino fino a muy fino, introducidos a la roca por acción de fluidos hidrotermales.	
	
Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados	Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles paralelos



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 030 014I	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
N° de campo: COR 030 014I	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Fragmento de lodolita con laminación muy delgada plana paralela discontinua en laminas regulares, con pirita dispuesta paralela a la laminación y en un agregado masivo. Corresponde a un fragmento de Brecha tectónica hidrotermal.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Lodolita albitizada, con laminación muy delgada plana paralela discontinua en laminas regulares, con pirita dispuesta paralela a la laminación y en agregados masivos. Presenta oquedades con bordes irregulares distribuidos aleatoriamente.

**Selección:**

**% de granos del armazón:** 79.73%

**Redondez promedio:**

**% de matriz:** 20.27%

**Esfericidad promedio:**

**Tamaño de grano promedio de la roca:**

**Contacto entre granos:** Longitudinal - cóncavo-convexo

**MINERALES**

**Minerales principales:**

**Minerales arcillosos (13.27%):** de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los cristales de albita y pirita.

**Materia orgánica (7%):** Se presenta formando laminas.

**Albita(53.03%):** Agregados compuesto por individuos tabulares subhedrales a anhedrales de tamaño cristalino medio a fino. Se presenta masivamente en la roca, principalmente paralelo a la Laminación. La albita presentan fracturamiento intenso y rasgos de alteración (caolinitización?).

**Pirita(26.7%):** Agregados e individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino extremado grueso a fino. Se presenta como individuos distribuidos paralelo a la laminación y como agregados masivos

**Tipo de cemento:**

silíceo

**Tipo de Matriz:**

Arcilloso

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Lodolita

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Lodolita albitizada con pirita paralela a la laminación y en agregados masivos

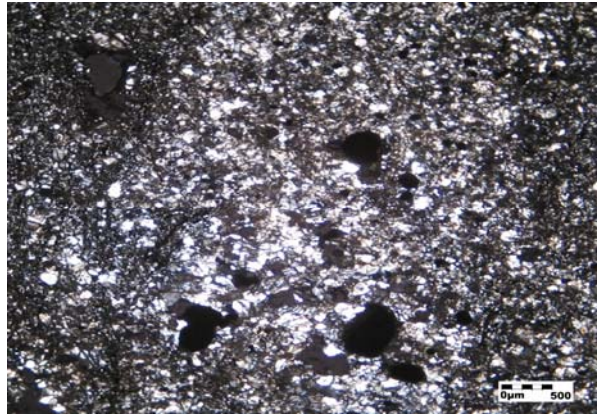
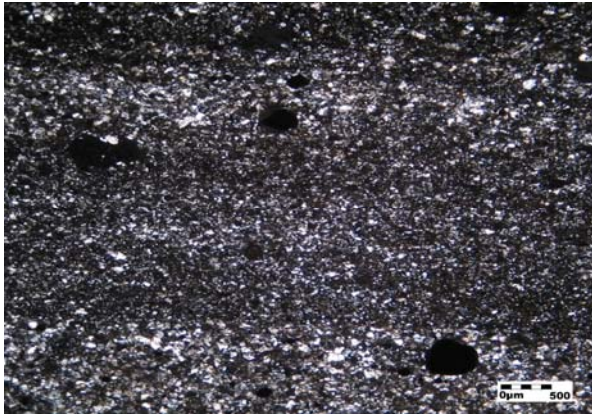
**ESTRUCTURAS**

Lodolita con laminación muy delgada plana paralela discontinua en laminas regulares, definida por la orientación de los minerales arcillosos y la materia orgánica. Paralela a esta se disponen individuos de pirita.

**DESCRIPCION DE LA ROCA**

Lodolita albitizada con pirita dispuesta paralela a la laminación y en agregados masivos, sin ninguna relación a la laminación. Presenta oquedades con bordes irregulares distribuidos aleatoriamente.

**OBSERVACIONES**



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 030 014II	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
N° de campo: COR 030 014II	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

material friable compuesto principalmente de albita, pirita y fragmentos de lodolita albitizados.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

Homogeneidad de la roca: Brecha tectónica hidrotermal compuesta por clastos de lodolita albitizada de tamaño arena gruesa a muy gruesa, redondeados a subredondeados, en una matriz de albita y pirita. No presenta ningún tipo de material cementate (material friable).

**Selección:**

% de granos del armazón: 7%	Redondez promedio: redondeado a subredondeado
% de matriz: 97%.	Esfericidad promedio:
Tamaño de grano promedio de la roca: Arena gruesa a muy gruesa.	Contacto entre granos: flotante

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos:</b>
<b>Materia orgánica (2%):</b> diseminado en los fragmentos de lodolita albitizada.	<b>Albita(51%):</b> Agregados e individuos de tamaño cristalino extremado grueso a fino. Se encuentra como agregados en los clastos de lodolita como proceso de albitización y como individuos diseminados (matriz). frecuentemente se aprecia fracturado y alteración moderada. Se encuentra asociado a la pirita, pues se presenta incluido en este.
	<b>Pirita(47%):</b> Individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino.
<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
Ninguno	albita, pirita

**NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):**

Brecha

**NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):**

Brecha de albita y pirita.

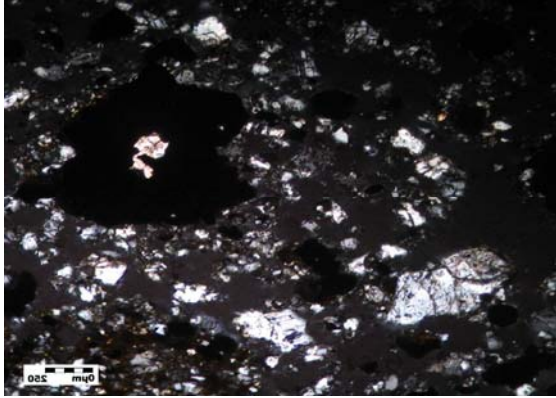
### ESTRUCTURAS

Estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita albitizada redondeados a subredondeados.

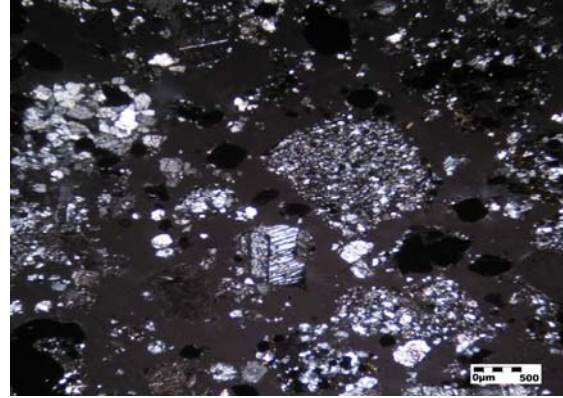
### DESCRIPCION DE LA ROCA

Brecha tectónica hidrotermal compuesta por clastos de lodolita carbonosa albitizada de tamaño arena gruesa a muy gruesa en una matriz de albita y pirita. No presenta ningún tipo de material cementate.

### OBSERVACIONES



Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 10x en nicoles cruzados



Microfotografía: Oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 015	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 015	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Lodolita carbonosa con desarrollo de Albitización y piritización. Laminación delgada plana paralela continua. No Físil. Albitas y piritas paralelas a la estratificación así como también diseminadas. Presenta oquedades que pueden corresponder a de estructuras de disolución.



**ANALISIS MICROSCOPICO**

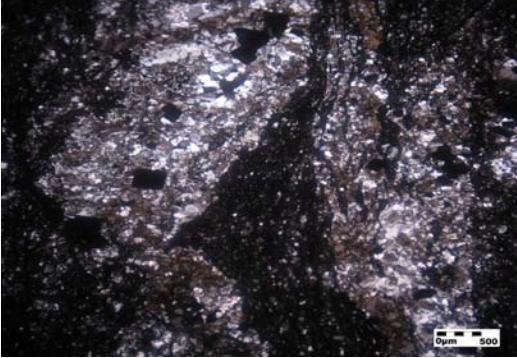
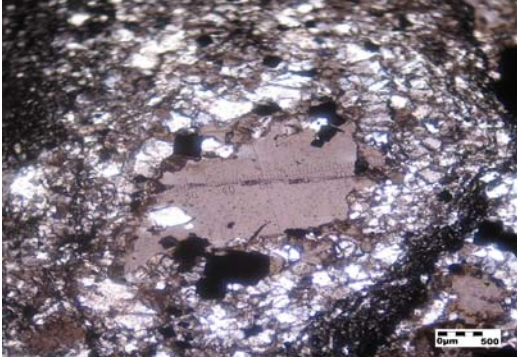
**Homogeneidad de la roca:** Zona de fracturamiento con desarrollo de brechificación. Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulosos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada con laminación plana paralela discontinua en laminas regulares, en ocasiones plegada por paso del fluido hidrotermal. Los espacios entre los fragmentos (cemento/matriz), se encuentran rellenos por albita y pirita. También se aprecian oquedades estas son en forma de rombo, puede haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato.

**Selección:**

% de granos del armazón: 30%	Redondez promedio: subangular a angular
% de matriz: 70%	Esfericidad promedio: subesferico a subelongado
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos: flotante.

**MINERALES**

<b>Minerales principales:</b>	<b>Minerales autigenicos:</b>
<b>Materia orgánica (24%):</b> Se encuentra entre los minerales terrigenos formando laminas.	<b>Albita (53%):</b> Agregados e individuos que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes: 1. Albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia orgánica, cuyos tamaños oscilan entre cristalino fino hasta afanocristalino, son de forma subhedral-anhedral. 2. Como agregados en bandas paralelos a la laminación de los fragmentos de lodolita carbonosa. Estas bandas están compuestas por individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino fino a medio. Las bandas de albita están asociadas con pirita un poco oxidada. 3. agregados en dispuestos en venas, compuestos por individuos subhedrales-euhedrales cristalino medio a fino. Estos agregados se encuentran rodeando a los fragmentos de lodolita carbonosa (cemento/matriz de la brecha) asociado con la pirita que esta incluida en estos agregados. La albita en general muestra algunos rasgos de alteración.
<b>Minerales arcillosos (5%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.	
<b>Moscovita (1%):</b> De tamaño limo grueso a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.	<b>Pirita (17%):</b> Individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino. Se encuentra principalmente en el cemento/matriz de la brecha, asociado con la albita, aunque también se encuentra diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa. La pirita en algunas zonas muestra rasgos de oxidación en sus bordes.

<b>Tipo de cemento:</b> Albita y pirita	<b>Tipo de Matriz:</b> Albita y pirita
<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b> Brecha	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b> Brecha de Albita y pirita.	
<b>ESTRUCTURAS</b>	
Venas compuestas por albita y pirita. Estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa. de forma subangular a angular.	
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>	
Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa parcialmente albitizada con laminación plana paralela discontinua en laminas regulares, en ocasiones plegada por paso del fluido hidrotermal. los espacios entre los fragmentos (cemento/matriz), se encuentran rellenos por venas de albita y pirita. También se aprecian oquedades las cuales presentan forma de rombo, la cual puede haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato.	
<b>OBSERVACIONES</b>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	
Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados	




**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 030 017	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
N° de campo: COR 030 017	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

<p>Lodolita carbonosa shale con laminación delgada y albitizada. Presenta desarrollo de sulfosales diseminados en toda la roca.</p>	
---	--

**ANALISIS MICROSCOPICO**

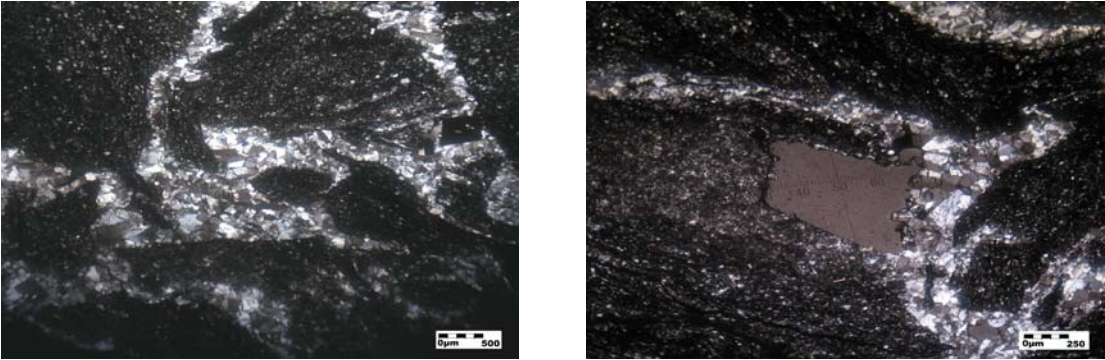
**Homogeneidad de la roca:** Zona de fracturamiento con desarrollo de brechificación. Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulosos de lodolita carbonosa parcialmente albitizada con Laminación plana paralela discontinua en laminas regulares, en ocasiones plegada por paso del fluido hidrotermal. los espacios entre los fragmentos (cemento/matriz), se encuentran rellenos por albita y piritita. También se aprecian oquedades estas son en forma de rombo, puede haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b> 33%	<b>Redondez promedio:</b> Subangular a angular
<b>% de matriz:</b> 67%	<b>Esfericidad promedio:</b> Subesferico a subelongado
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b> Flotante a longitudinal.

**MINERALES**

<p><b>Minerales principales:</b></p> <p><b>Materia orgánica (24%):</b> Se encuentra entre los minerales terrígenos formando laminas.</p> <p><b>Minerales arcillosos (5%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.</p> <p><b>Moscovita (3%):</b> De tamaño limo grueso a fino, de forma tabular cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.</p>	<p><b>Minerales de introducción:</b></p> <p><b>Albita (57%):</b> Agregados e individuos que se presentan de 3 maneras y tamaños diferentes: 1. albita diseminada en el cuerpo rocoso en contacto flotante con la materia organica , cuyos tamaños oscilan entre cristalino fino hasta afanocristalino, son de forma subhedral a anhedral. 2. Como agregados granulares de albita, dispuestas en bandas paralelas a la laminacion de los fragmentos de lodolita carbonosa. Estas bandas estan compuestas por individuos subhedrales-anhedrales de tamaño cristalino fino a muy fino. Las bandas de albita estan asociadas con piritita en oxidacion. 3. Agregados dispuestos en venas, compuestos por individuos subhedrales-euhedrales cristalino medio a fino. Estos agregados se encuentran rodeando o cruzando (cortando la laminación) a los fragmentos de lodolita carbonosa (cemento/matriz de la brecha), ocasionalmente esta asociado con la piritita incluido en estos agregados. La albita en general muestra algunos rasgos de alteracion.</p> <p><b>Piritita (10%):</b> Individuos subhedrales-euhedrales de tamaño cristalino grueso a fino. Se encuentra ocasionalmente cemento/matriz de la brecha, asociado con la albita, aunque también se encuentra diseminado en los fragmentos de lodolita carbonosa. La piritita en algunas zonas muestra rasgos de oxidación.</p>
<b>Tipo de cemento:</b> Albita y piritita	<b>Tipo de Matriz:</b> Albita y piritita

<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>
Brecha
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>
Brecha de Albita y pirita.
<b>ESTRUCTURAS</b>
Venas compuestas por albita y pirita. Estructura brechoide definida por la presencia de clastos de lodolita carbonosa. de forma subangular a angular.
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>
Brecha tectónica hidrotermal compuesta por fragmentos angulares a subangulares de lodolita carbonosa parcialmente albitizada con laminación plana paralela discontinua en láminas regulares, en ocasiones plegada por paso del fluido hidrotermal. Los fragmentos de lodolita carbonosa se encuentran rodeados y cortados (cruzando la laminación) por venas compuestas por agregados de albita y pirita. También se aprecian oquedades estas son en forma de rombo, puede haberse originado por la disolución de algún tipo de carbonato.
<b>OBSERVACIONES</b>

Microfotografías: Izquierda y centro: oculares 10x, objetivo 5x en nicoles cruzados. Derecha: oculares 10x, objetivo 10x en nicoles cruzados



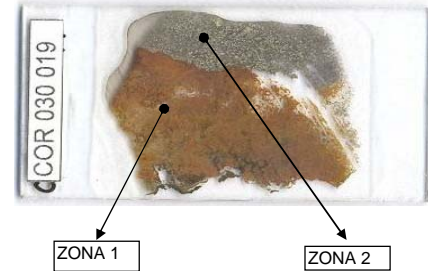
**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

Nº COR 030 019	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
Nº de campo: COR 030 019	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

Brecha tectónica hidrotermal de óxidos de Fe y albita



**ANALISIS MICROSCOPICO**

**Homogeneidad de la roca:** Zona con alta oxidación. Muestra dos zonas: Zona A. Zona con pirita dominante y albita. Zona muy porosa. Las piritas muestran rasgos redondeados, puede ser por procesos de disolución (oxidación), mientras que los individuos de albita se muestran bastante fracturados y en un parcial estado de alteración. Zona B. Patinas de goethita, que se muestra como una gran mancha roja escarlata masiva sin extinción en toda esta zona, en la cual la albita se encuentra embebida. en el contacto entre estas dos zonas se aprecia la disolución de las piritas, razón por la cual no existe pirita en la zona B.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b> nula
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b> nula
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

**Minerales autigenicos**

Zona 1:	Zona 2:
Albita(%): individuos subhedrales-anhedrales, de tamaño cristalino medio a fino. Se presenta muy fracturada y con signos de alteración.	Albita(%): individuos subhedrales-anhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino en contacto flotante con otros cristales de albita. Se presenta muy fracturada y con signos de alteración.
Pirita(%): Agregados compuesto por individuos subhedrales-euhedrales, de tamaño cristalino grueso a fino. Presenta rasgos de redondeo, tal vez por proceso incipientes de oxidación.	Goethita(%): Se presenta como patinas, distribuidas en toda la zona. Su coloración es rojo escarlata y no presenta extinción.
<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>

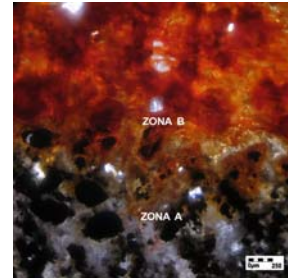
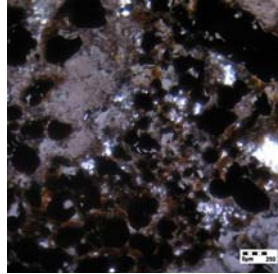
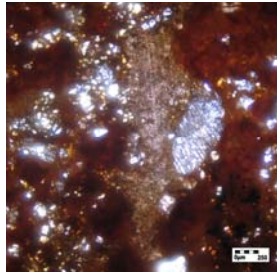
### ESTRUCTURAS

No se reconoce ninguna estructura, muy seguramente se perdió las estructuras por la alta oxidación que presenta la muestra.

### DESCRIPCION DE LA ROCA

Zona de alta oxidación. Muestra dos zonas: Zona A. Zona con pirita dominante y albita, muy porosa. Las piritas muestran rasgos redondeados, puede ser por procesos de disolución (oxidación), mientras que los individuos de albita se muestran bastante fracturados y en un parcial estado de alteración. Zona B. Patinas de goethita, que se muestra como una gran mancha roja escarlata masiva sin extinción en toda esta zona, en la cual la albita se encuentra embebida en el contacto entre estas dos zonas se aprecia la disolución de las piritas, razón por la cual no existe pirita en la zona B.

### OBSERVACIONES



Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 10x en nicoles cruzados



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

**REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA**

N° COR 030 020	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1026810 Y: 1076620
N° de campo: COR 030 020	Origen:	Describió: Cesar A. Tarazona Velasquez
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Batá	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 030	Sección delgada:	Sección delg. pulida: X

**DESCRIPCION MACROSCOPICA**

<p>Brecha tectónica hidrotermal (alterada por meteorización) de albita y pirita, constituida por fragmentos de lodolita de 1 - 3cm con piritohedros diseminados de tamaño cristalino grueso.</p>	
--	--

**ANALISIS MICROSCOPICO**

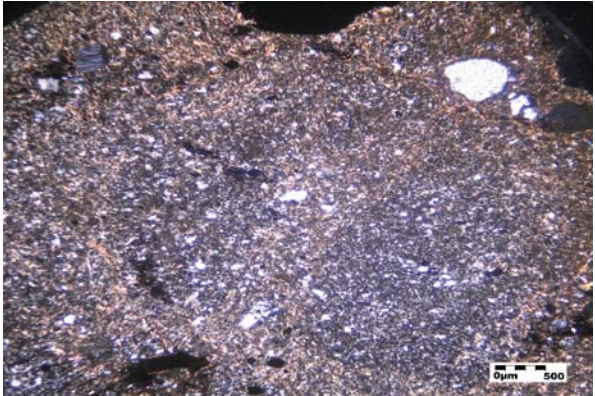
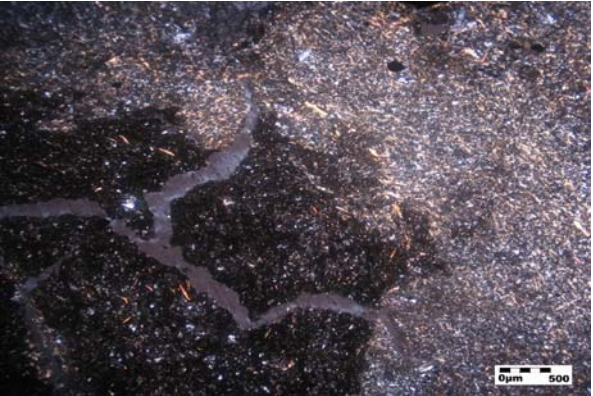
**Homogeneidad de la roca:** Brecha tectónica hidrotermal, alterada por fluidos meteoricos. se presentan 2 zonas. Zona I: Zona que presenta gran abundancia de moscovita autigenica, bordeando a agregados granulares de albita y cuarzo, al parecer podrían corresponder a fragmentos de lodolita albitizada. Zona 2: Lodolita carbonosa con laminación plana paralela continua. presenta estructura brechoide.

**Selección:**

<b>% de granos del armazón:</b>	<b>Redondez promedio:</b> Angular a subangular (Zona 2).
<b>% de matriz:</b>	<b>Esfericidad promedio:</b> Subesferico a subelongado.
<b>Tamaño de grano promedio de la roca:</b>	<b>Contacto entre granos:</b>

**MINERALES**

<p><b>Minerales principales:</b></p> <p><b>Materia orgánica (16%):</b> e encuentra entre los minerales terrigenos formando laminas.</p> <p><b>Moscovita (10%):</b> De tamaño limo grueso a fino, de forma tabular, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección de la laminación.</p> <p><b>Cuarzo (6%):</b> de tamaño limo medio a muy grueso, en contacto flotante con la materia orgánica, y en contacto longitudinal a flotante con la albita, moscovita y minerales arcillosos.</p> <p><b>Minerales arcillosos (4%):</b> Mezclados con cuarzo, de tamaño limo muy fino a arcilla, dispuesta entre los granos de cuarzo y albita.</p>	<p><b>Minerales autigenicos:</b></p> <p><b>Moscovita(25%):</b> Agregados compuesto por individuos de forma tabular, subhedral. Presentan tamaños de cristalino medio a fino en algunas ocasiones orientados alrededor de agregados granulares de albita y cuarzo (estructura fluidal).</p> <p><b>Albita (14%):</b> Individuos tabulares, subhedral-euhedrales, maclados según la ley de la albita. Presentan tamaños entre cristalino grueso a fino. Se encuentra asociado al cuarzo y la moscovita en contacto neto. Se presenta también incluido en la Pirita. La ocurrencia de la albita esta principalmente dada en agregados granulares junto con el cuarzo, aunque también se observa un poco de albita diseminada en la lodolita carbonosa.</p> <p><b>Pirita (7%):</b> Individuos en forma cúbica, subhedral-euhedral de tamaño cristalino grueso a medio distribuidos al azar en la muestra. Algunos individuos muestran rasgos de oxidación.</p> <p><b>Cuarzo (14%):</b> Individuos subhedral-anhedrales de tamaño cristalino grueso a fino en contacto neto con la albita, la pirita y la moscovita. Ocurre principalmente en agregados granulares acompañando a la albita.</p>
--	---

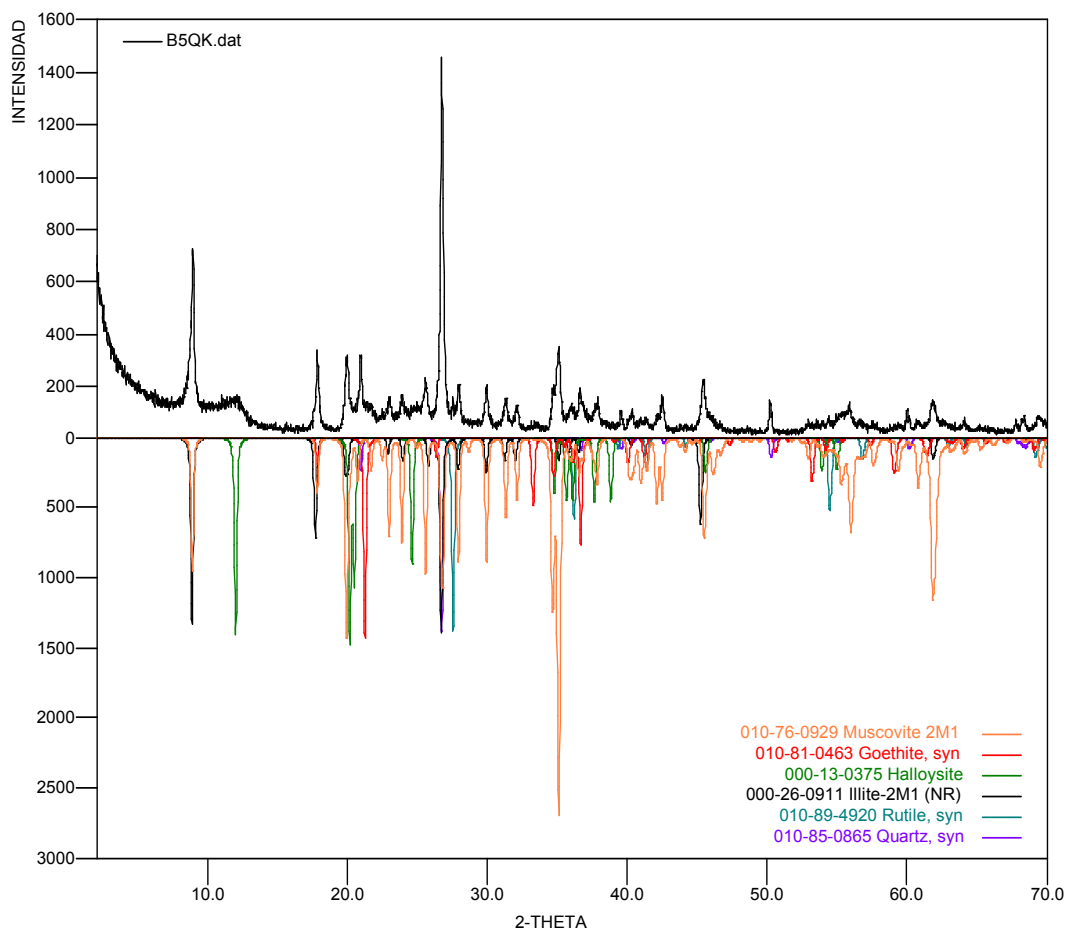
<b>Tipo de cemento:</b>	<b>Tipo de Matriz:</b>
<b>NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):</b>	
Brecha	
<b>NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):</b>	
Brecha conformada por fragmentos de lodolita carbonosa y lodolita albitizada, en una matriz de albita, piritita y moscovita.	
<b>ESTRUCTURAS</b>	
Zona 1: Estructura fluidal definida por la orientación de individuos tabulares de moscovita alrededor de agregados granulares de albita y cuarzo. Zona 2: Estructura brechoide, definida por fragmentos de lodolita carbonosa de forma angular a subangular.	
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA</b>	
Brecha tectónica hidrotermal; se presentan 2 zonas. Zona I: Zona que presenta gran abundancia de moscovita tabular en estructura fluidal, bordeando a agregados granulares de albita y cuarzo, al parecer podrían corresponder a fragmentos de lodolita albitizada. Zona 2: Lodolita carbonosa con laminación plana paralela continua. presenta estructura brechoide.	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	
Microfotografías: Oculares 10x, objetivo 5x en nicols cruzados	

**ANEXO 3. DIFRACTOGRAMAS DE ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.**

- COR-015-01 (B5QK)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	000-13-0375	Haloisita
	$\text{FeO}(\text{OH})$	010-81-0463	Goetita
	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita
	$\text{TiO}_2$	010-89-4920	Rutilo
	$\text{SiO}_2$	010-85-0865	Cuarzo
	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	010-76-0929	Moscovita

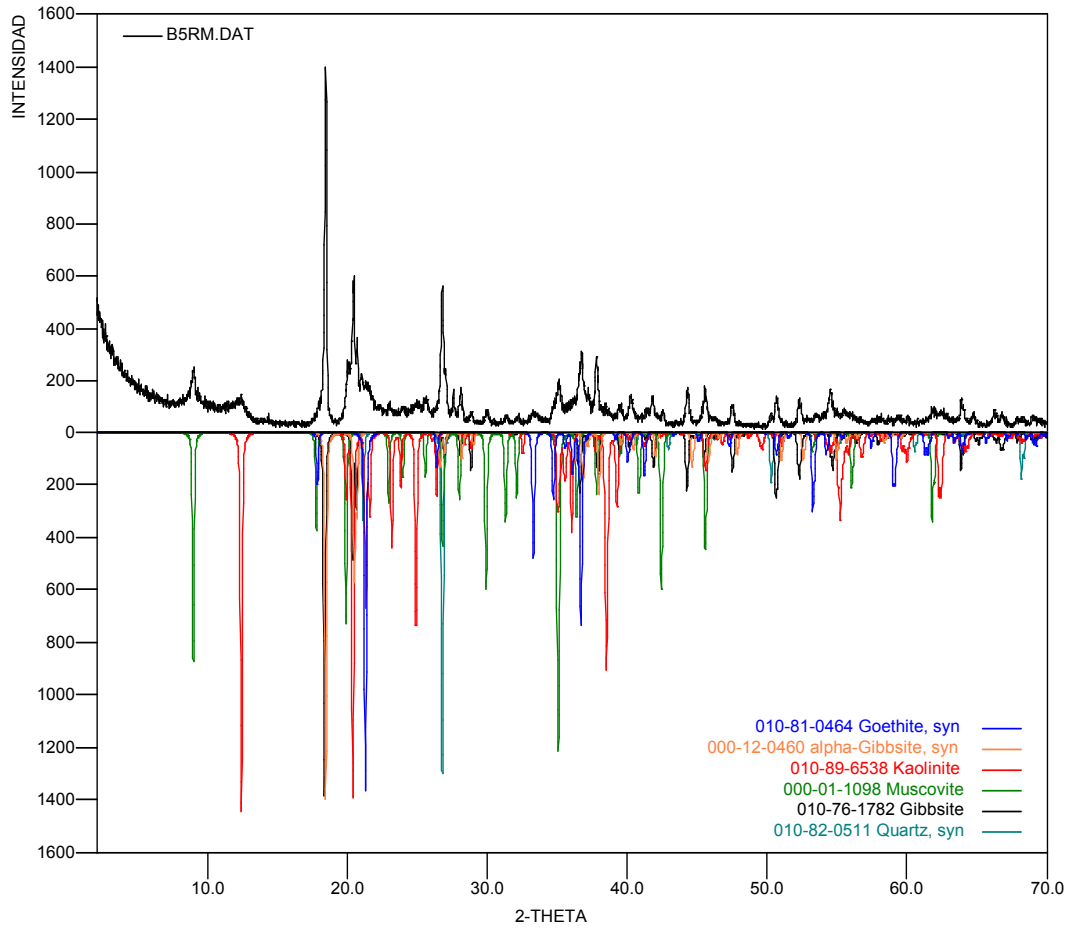
**COR-015-01**



- COR-015-02 (B5RM)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe O ( OH )	010-81-0464	Goetita
	( K, H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	010-76-1782	Gibbsite
	( K, H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-12-0460	α-Gibbsite
	Al <sub>2</sub> ( Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ( OH ) <sub>4</sub>	010-89-6538	Kaolinita
	Si O <sub>2</sub>	010-82-1782	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-01-1098	Moscovita

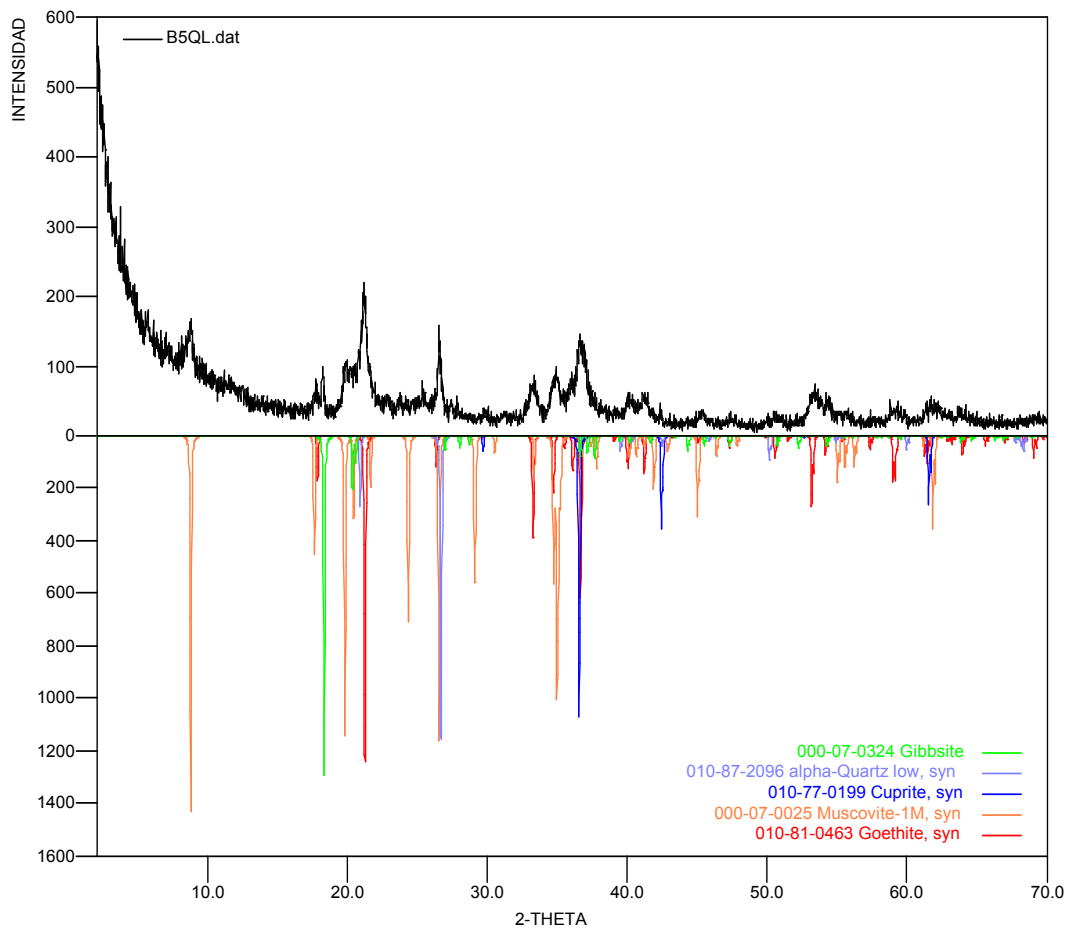
**COR-015-02**



- COR-015-03 (B5QL)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe O ( OH )	010-81-463	Goetita
	( K, H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-07-0324	Gibbsite
	Cu <sub>2</sub> O	010-77-0199	Cuprita
	Si O <sub>2</sub>	010-87-2096	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-07-0025	Moscovita

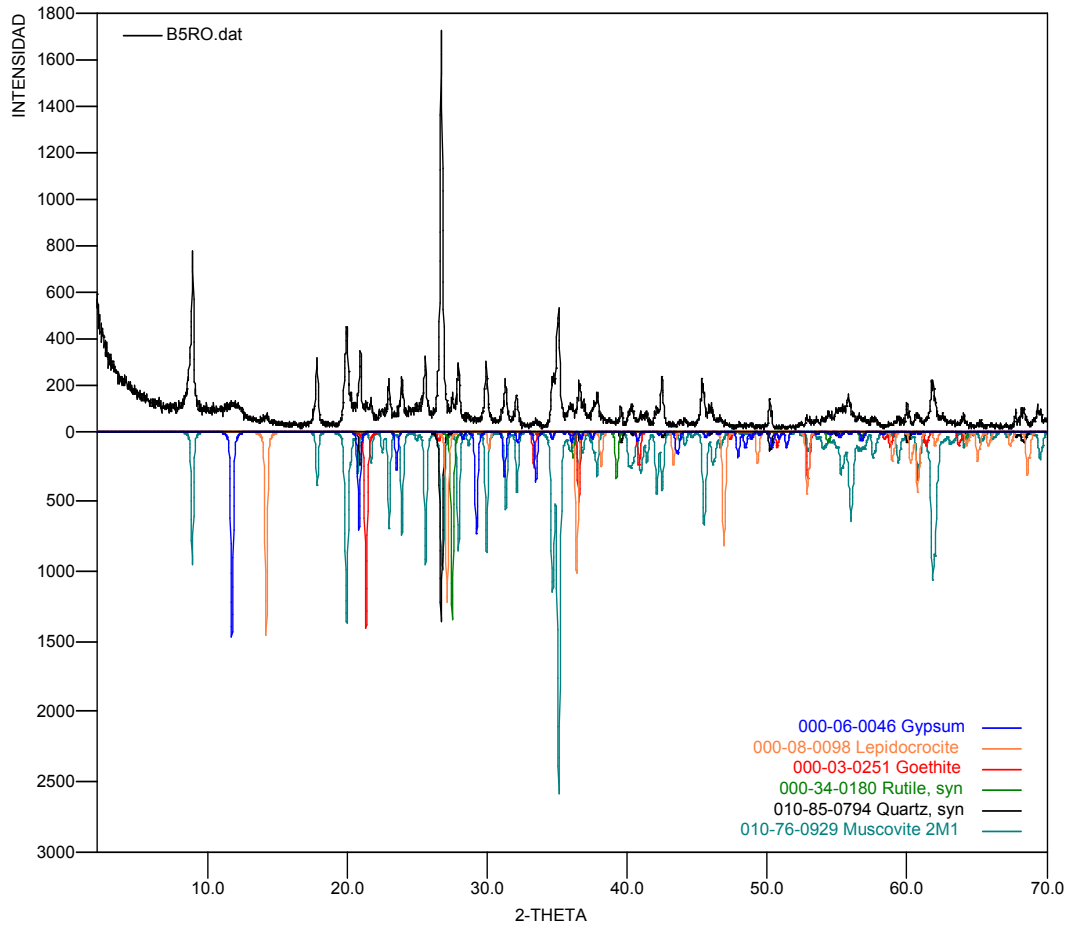
**COR-015-03**



• COR-015-04 (B5RO)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe O ( OH )	000-030-0251	Goetita
	Ti O <sub>2</sub>	000-34-0180	Rutilo
	Ca SO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	000-06-0046	Gypsum
	Fe O ( OH )	000-08-0098	Lepidocrocita
	Si O <sub>2</sub>	010-85-0794	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	010-76-0929	Moscovita

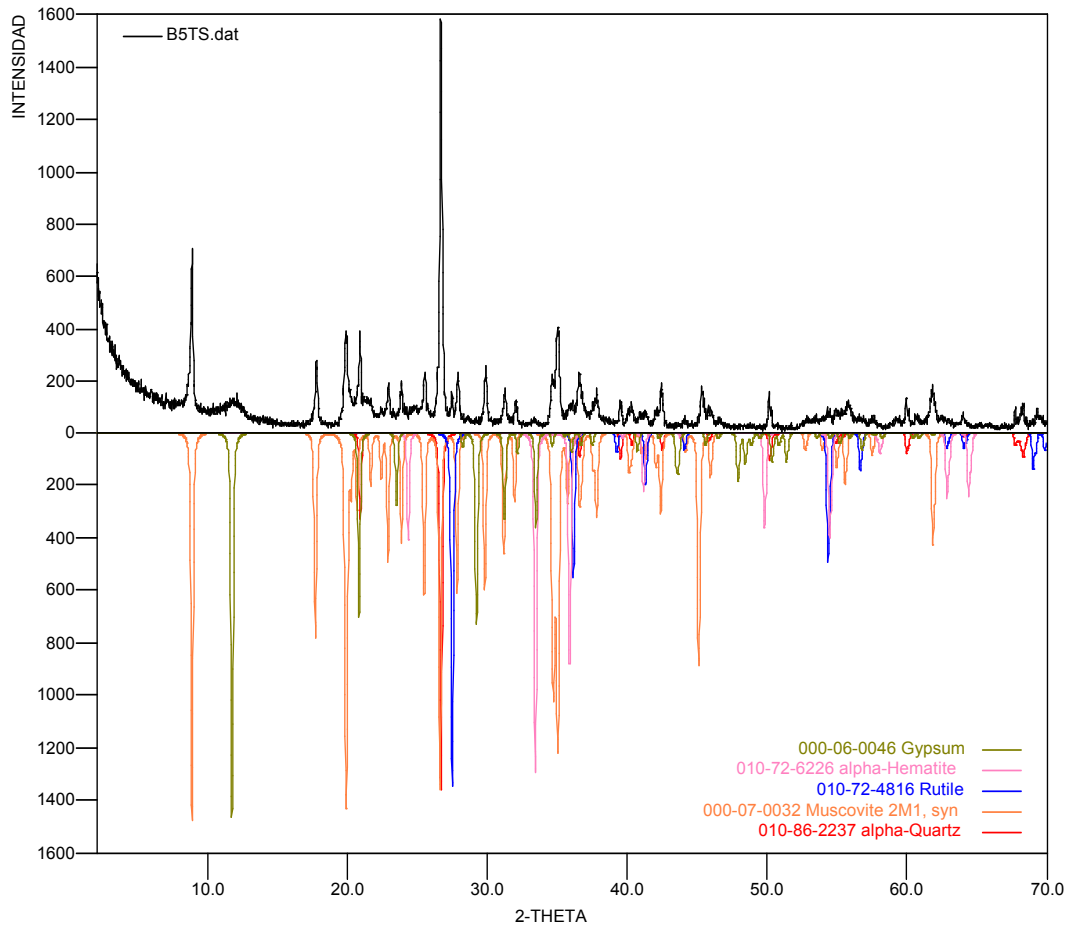
COR-015-04



- COR-015-05 (B5TS)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	010-72-6226	Hematita
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-06-0046	Gypsum
	$\text{TiO}_2$	010-72-4816	Rutilo
	$\text{SiO}_2$	010-86-2237	Cuarzo
	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita

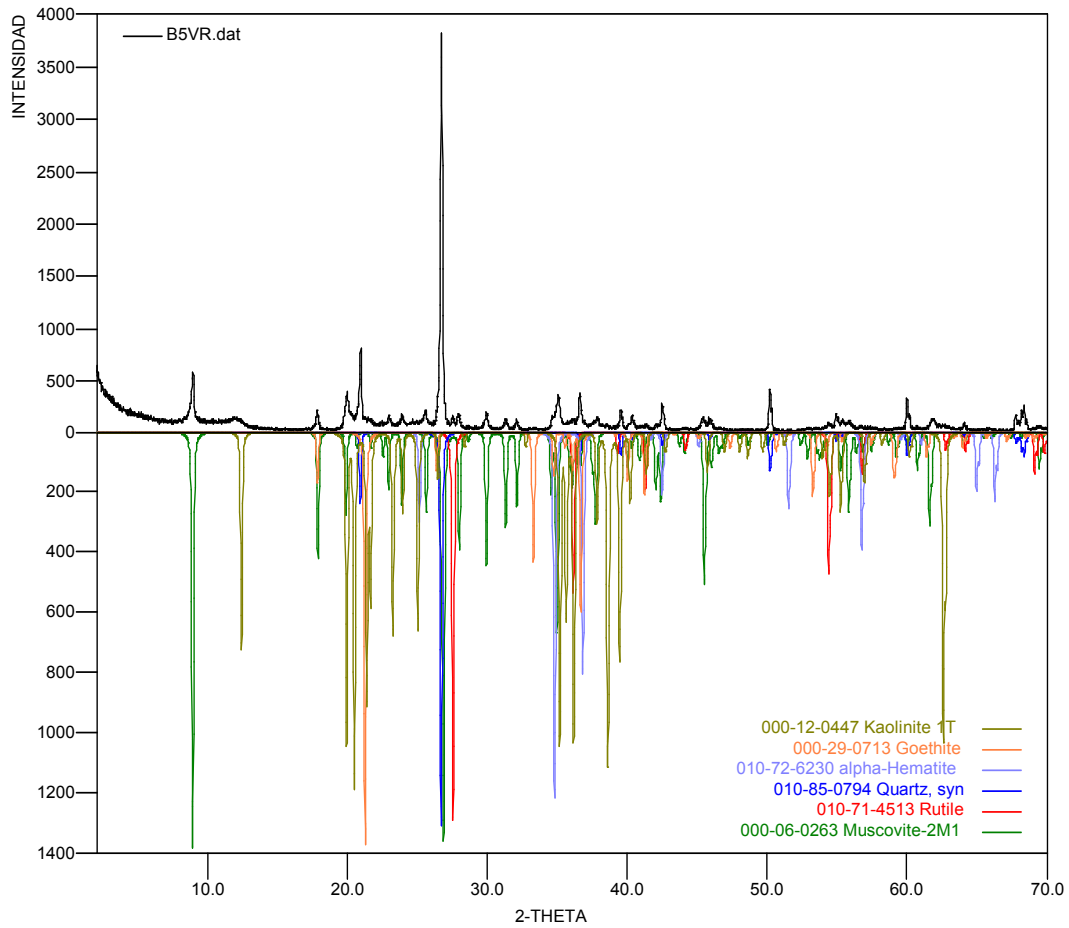
**COR-015-05**



• COR-015-06 (B5VR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	000-12-0447	Kaolinita
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	010-72-6230	Hematita
	$\text{FeO}(\text{OH})$	000-29-0713	Goetita
	$\text{TiO}_2$	010-71-4513	Rutilo
	$\text{SiO}_2$	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita

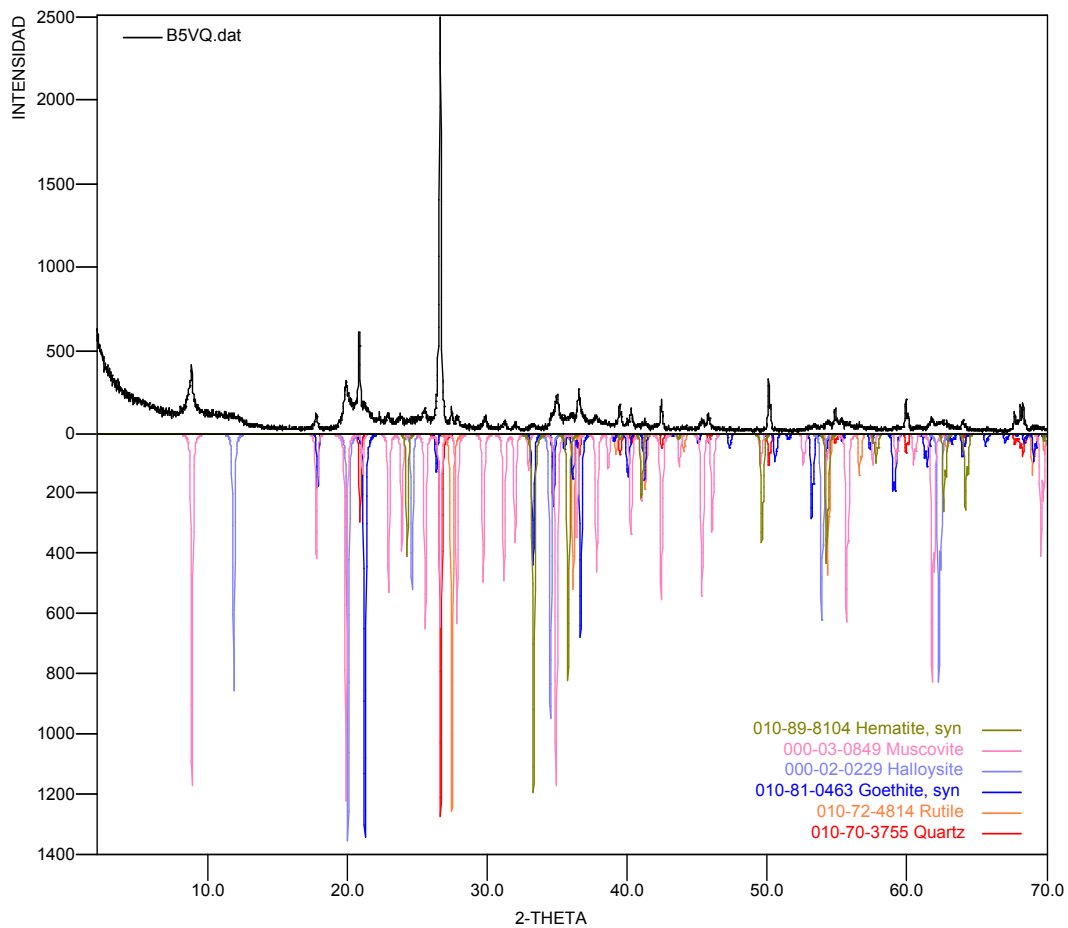
COR-015-06



- COR-015-07 (B5VQ)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	000-02-0229	Haloisita
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	010-89-8104	Hematita
	$\text{FeO}(\text{OH})$	010-81-0463	Goetita
	$\text{TiO}_2$	010-72-4814	Rutilo
	$\text{SiO}_2$	010-70-3755	Cuarzo
	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-03-0849	Moscovita

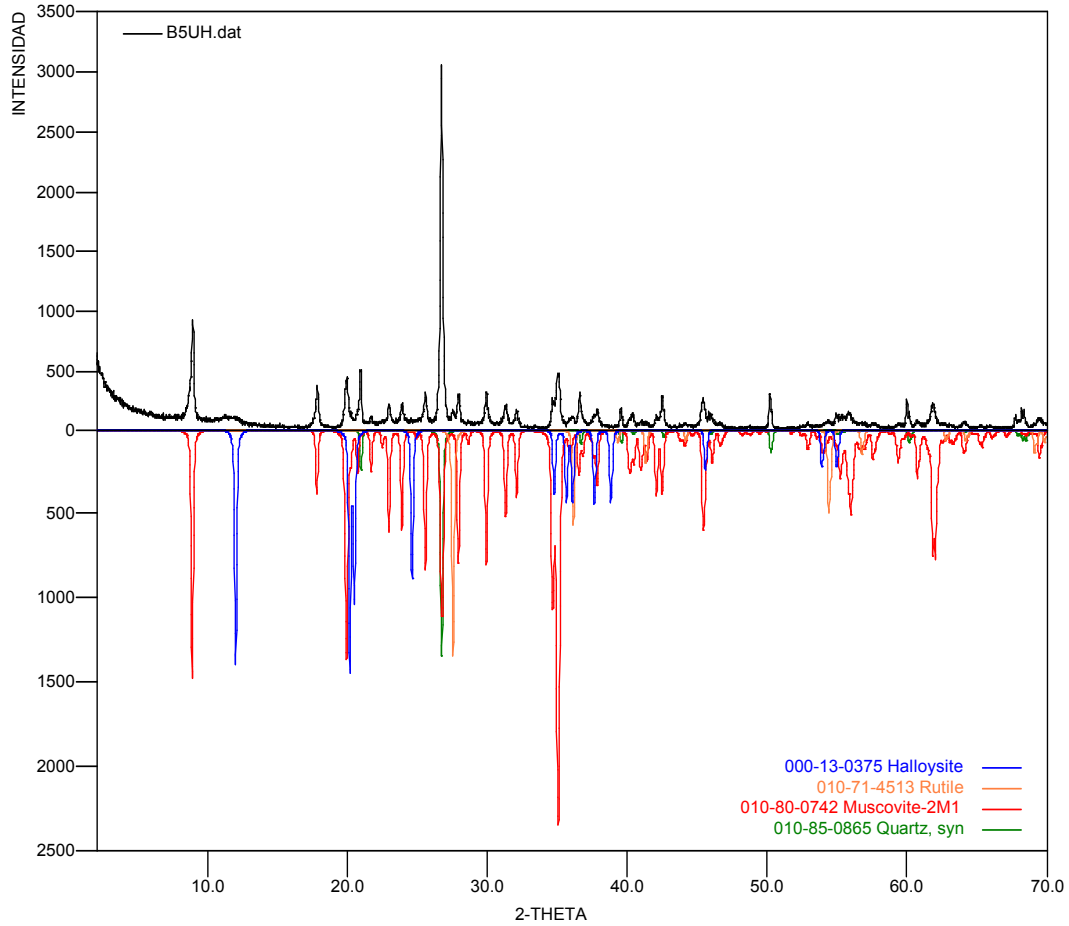
**COR-015-07**



- COR-015-08 (B5UH)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-13-0375	Haloisita
	$\text{Ti O}_2$	010-71-4513	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	010-85-0865	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-80-0742	Moscovita

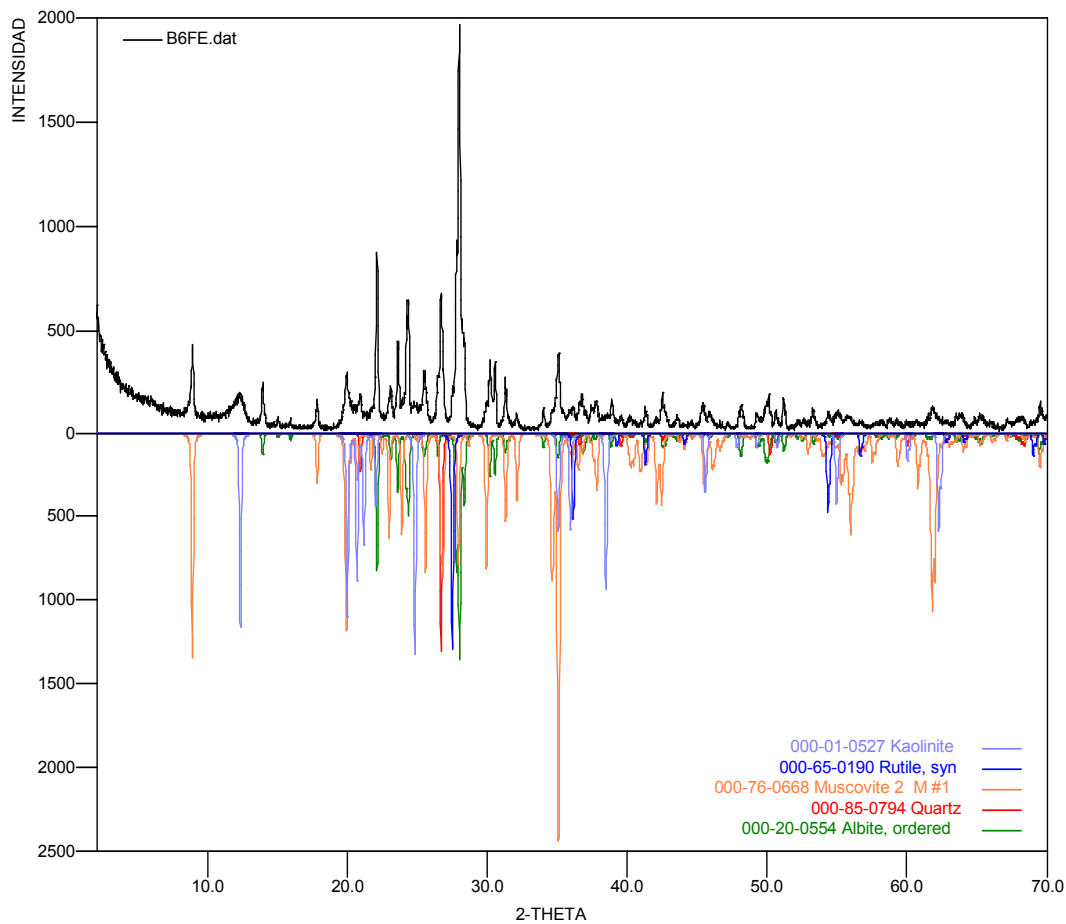
**COR-015-08**



- COR-016-01 (B6FE)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-76-0668	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ti O_2$	000-65-0190	Rutilo
	$Al_2 Si_2 O_5 ( OH )_4$	000-01-0527	Caolinita
	$Si O_2$	000-85-0794	Cuarzo

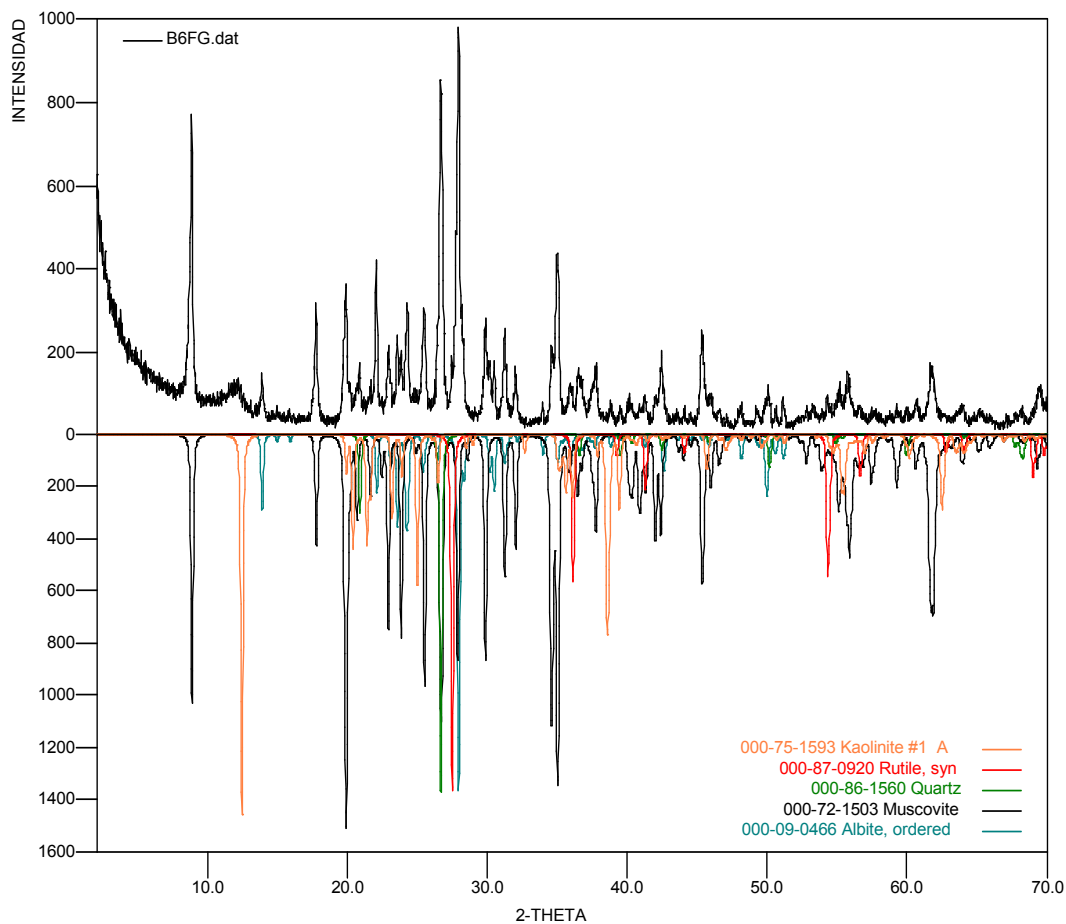
**COR-016-001**



- COR-016-02 (B6FG)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-72-1503	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-09-0466	Albita
	$Ti O_2$	000-87-0920	Rutilo
	$Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$	000-75-1593	Caolinita
	$Si O_2$	000-86-1560	Cuarzo

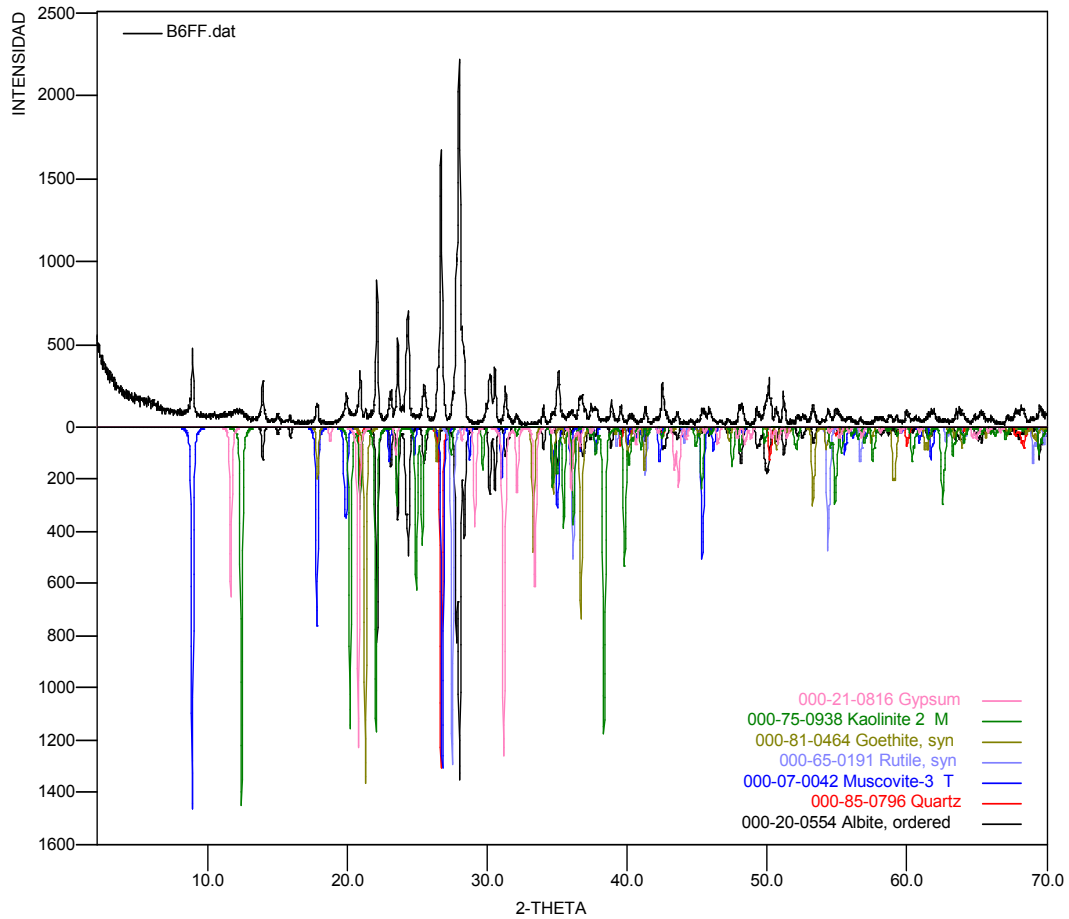
**COR-016-002**



- COR-016-03 (B6FF)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-07-0042	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Si O_2$	000-85-0796	Cuarzo
	$Fe O ( OH )$	000-81-0464	Goetita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-21-0816	Gypsum
	$Al_2 Si_2 O_5 ( OH )_4$	000-75-0938	Caolinita
	$Ti O_2$	000-65-0191	Rutilo

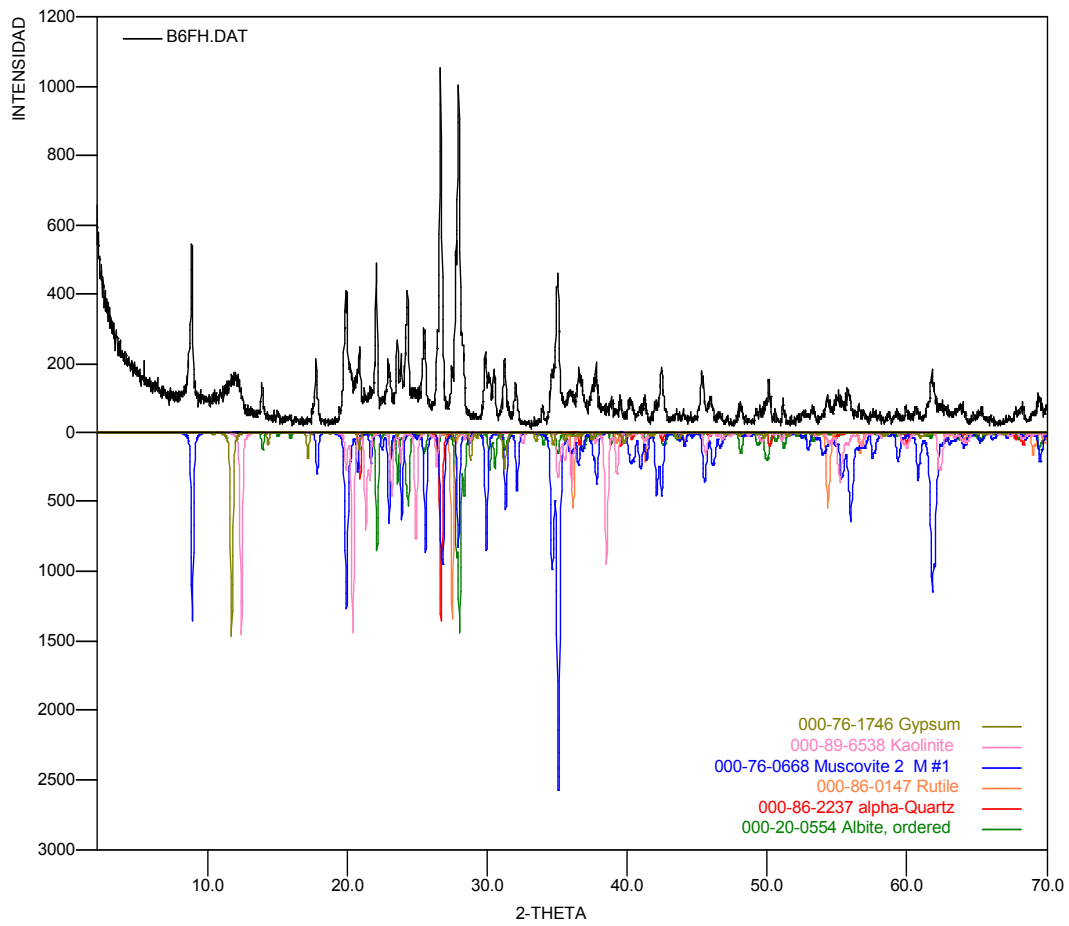
**COR-016-003**



• COR-016-05 (B6FH)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-76-0668	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ti O_2$	000-86-0147	Rutilo
	$Al_2 Si_2 O_5 ( OH )_4$	000-89-6538	Caolinita
	$Si O_2$	000-86-2237	Cuarzo
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-76-1746	Gypsum

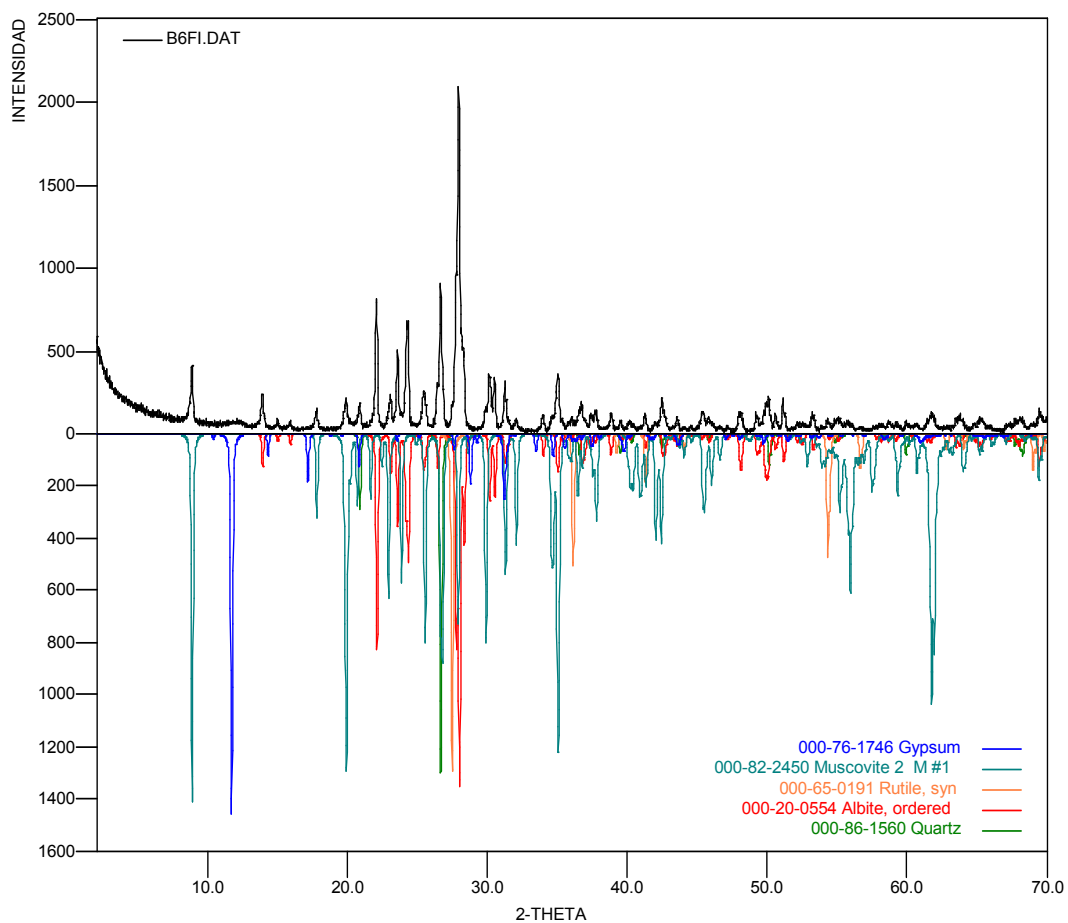
COR-016-005



- COR-016-06 (B6FI)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-82-2450	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ti O_2$	000-65-0191	Rutilo
	$Si O_2$	000-85-1560	Cuarzo
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-76-1746	Gypsum

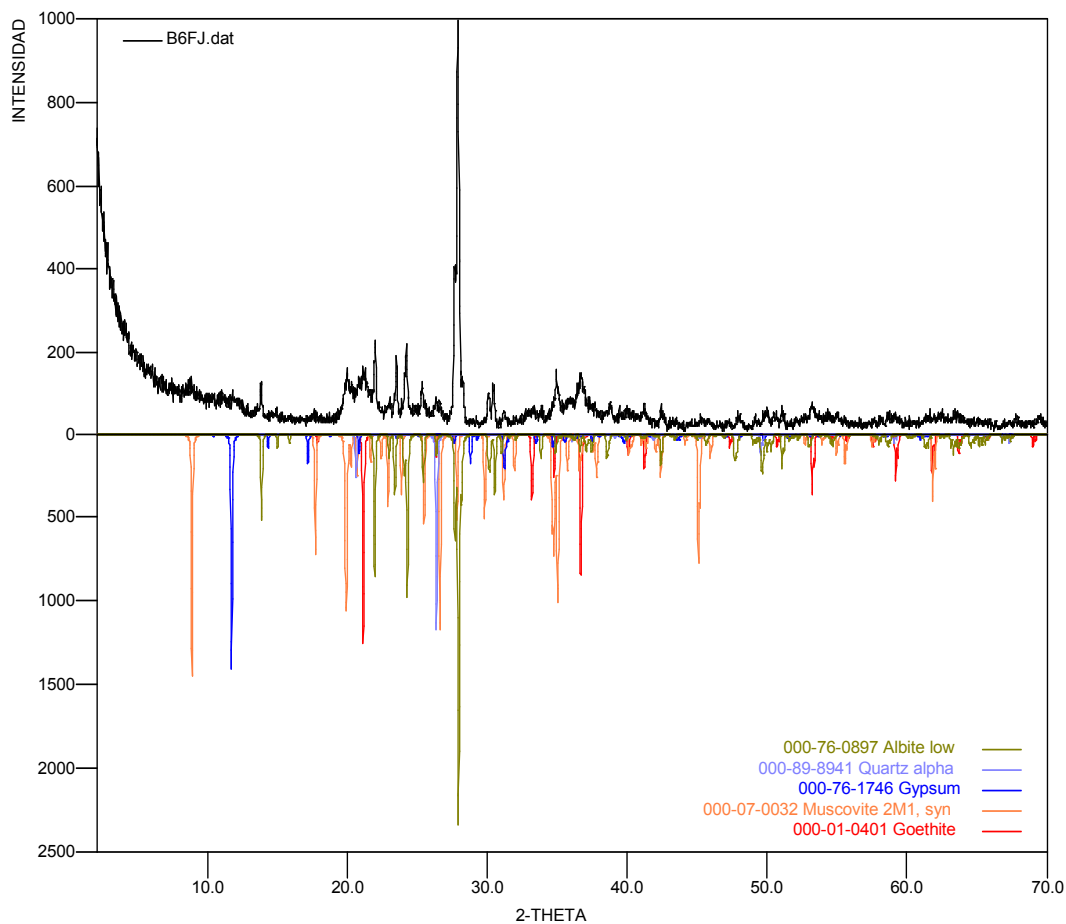
**COR-016-006**



- COR-016-07 (B6FJ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-07-0042	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-76-0897	Albita
	$Fe O ( OH )$	000-01-0401	Goetita
	$Si O_2$	000-89-8941	Cuarzo
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-76-1746	Gypsum

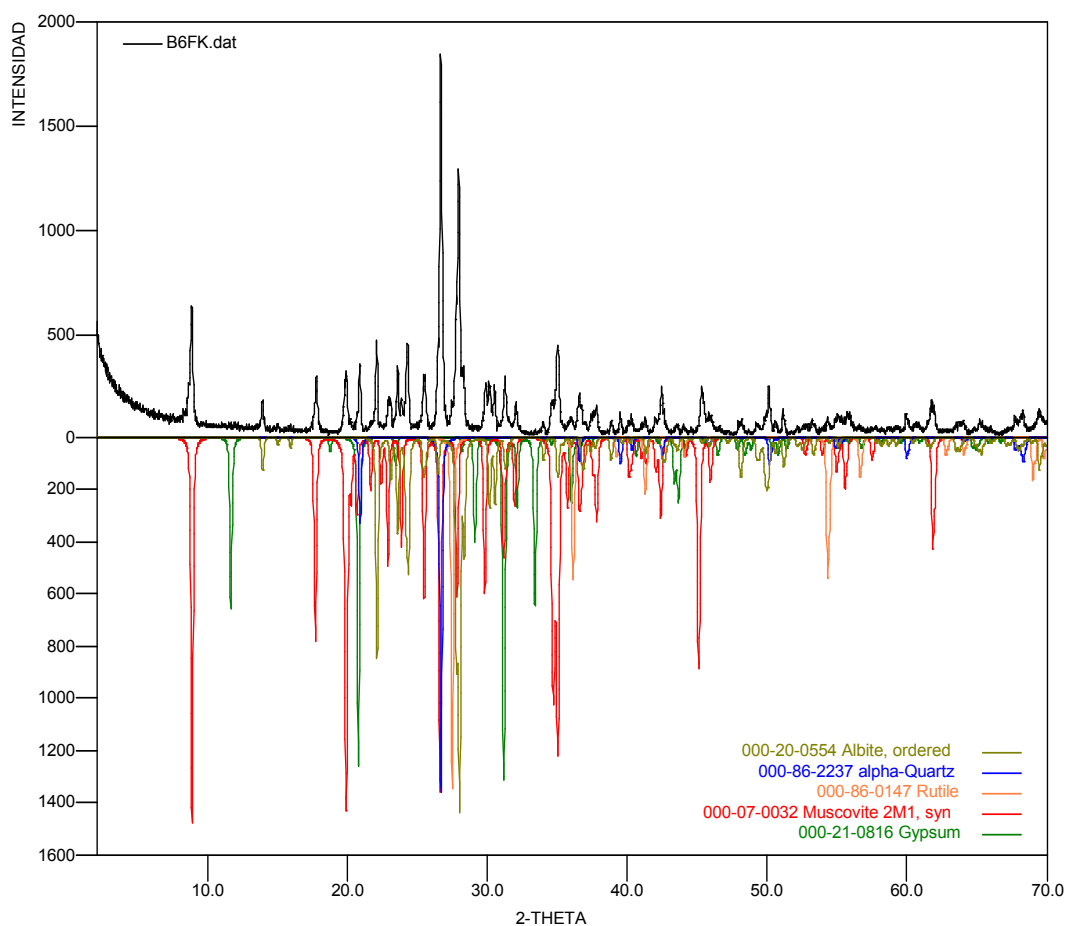
**COR-016-007**



- COR-016-08 (B6FK)

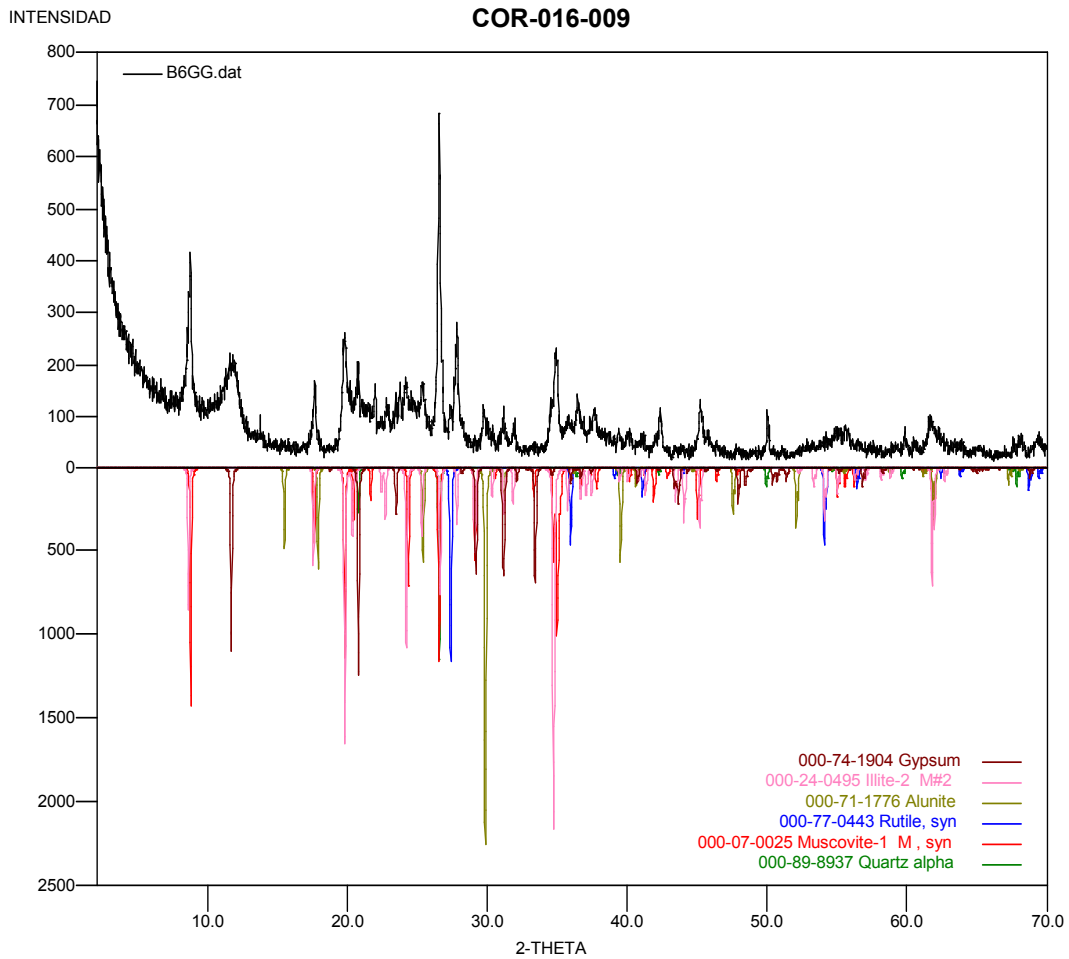
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} ( OH )_2$	000-07-0032	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ti O_2$	000-86-0147	Rutilo
	$Si O_2$	000-86-2237	Cuarzo
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-21-0816	Gypsum

**COR-016-008**



• COR-016-09 (B6GG)

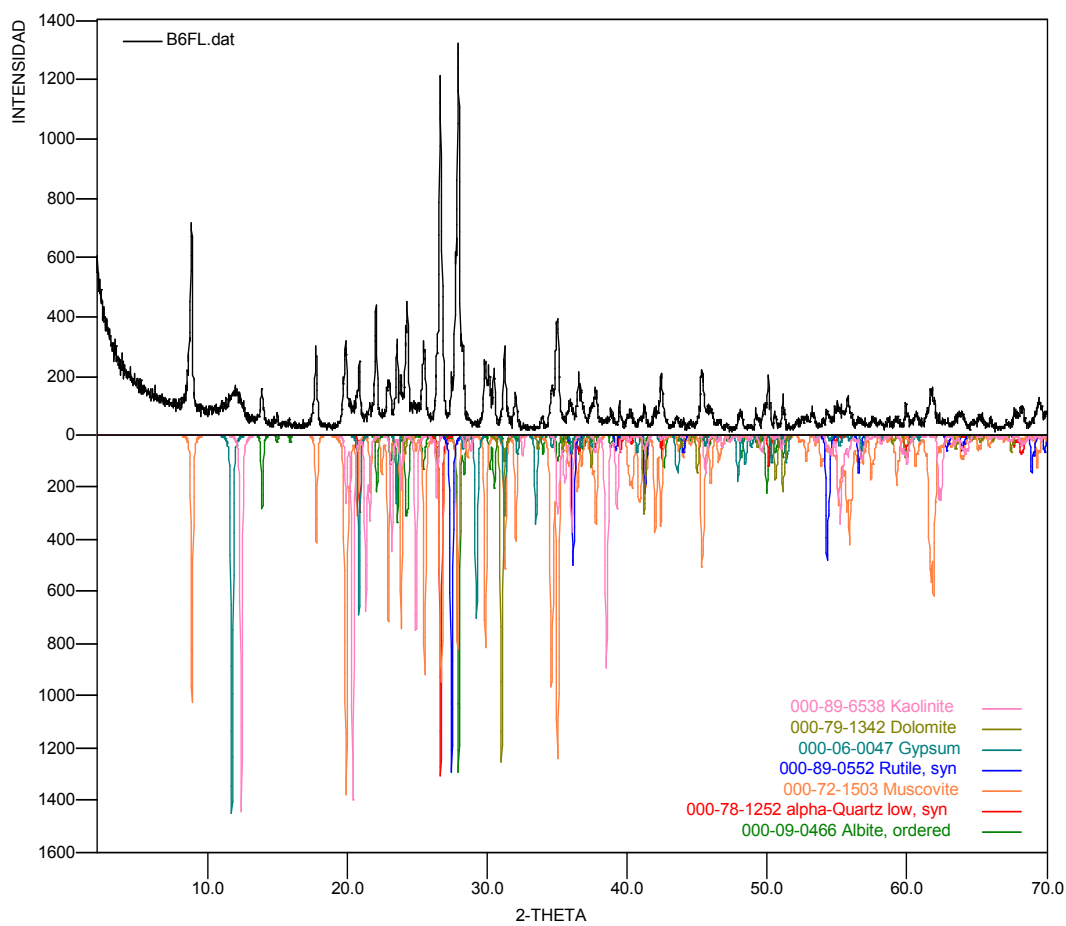
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-83-1609	Albita
	$\text{K ( Al}_3\text{ ( SO}_4\text{ )}_2\text{ ( OH )}_6\text{ )}$	000-71-1776	Alunita
	$\text{( K, H}_3\text{O ) Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10}\text{ ( OH )}_2$	000-24-0495	Illita
	$\text{K Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10}\text{ ( OH )}_2$	000-84-1303	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-77-0443	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	000-89-8937	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4\text{ 2H}_2\text{O}$	000-74-1905	Gypsum



• COR-016-010 (B6FL)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ti O}_2$	000-89-0552	Rutilo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-06-0047	Gypsum
	$\text{Ca ( Mg, Fe ) ( CO}_3)_2$	000-79-1342	Dolomita
	$\text{Al}_2\text{ Si}_2\text{ O}_5 (\text{ OH})_4$	000-89-6538	Caolinita
	$\text{K Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10} (\text{ OH})_2$	000-72-1503	Moscovita
	$\text{Si O}_2$	000-78-1252	Cuarzo

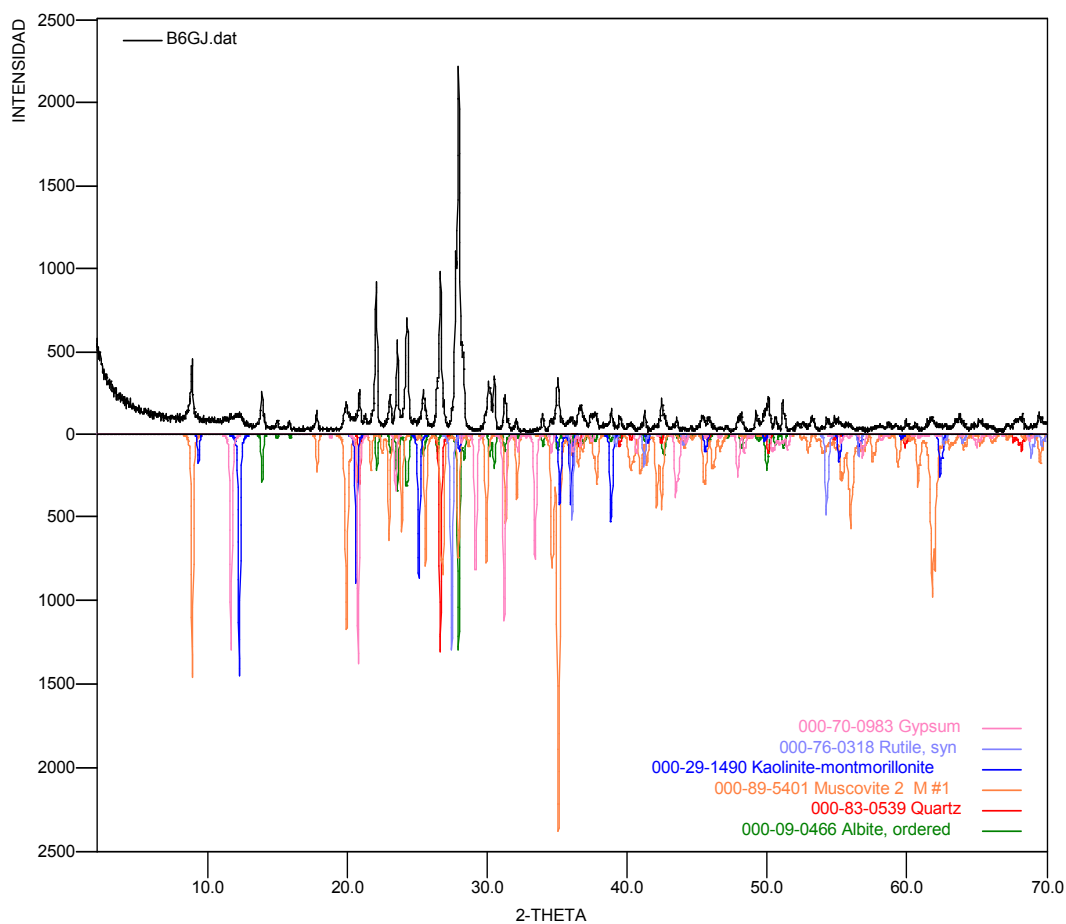
COR-016-010



• COR-016-011 (B6GJ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-70-0983	Gypsum
	$\text{Si O}_2$	000-83-0539	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-89-5401	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-76-0318	Rutilo
	$\text{Na}_{0.3}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15} (\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	000-29-1490	Caolinita

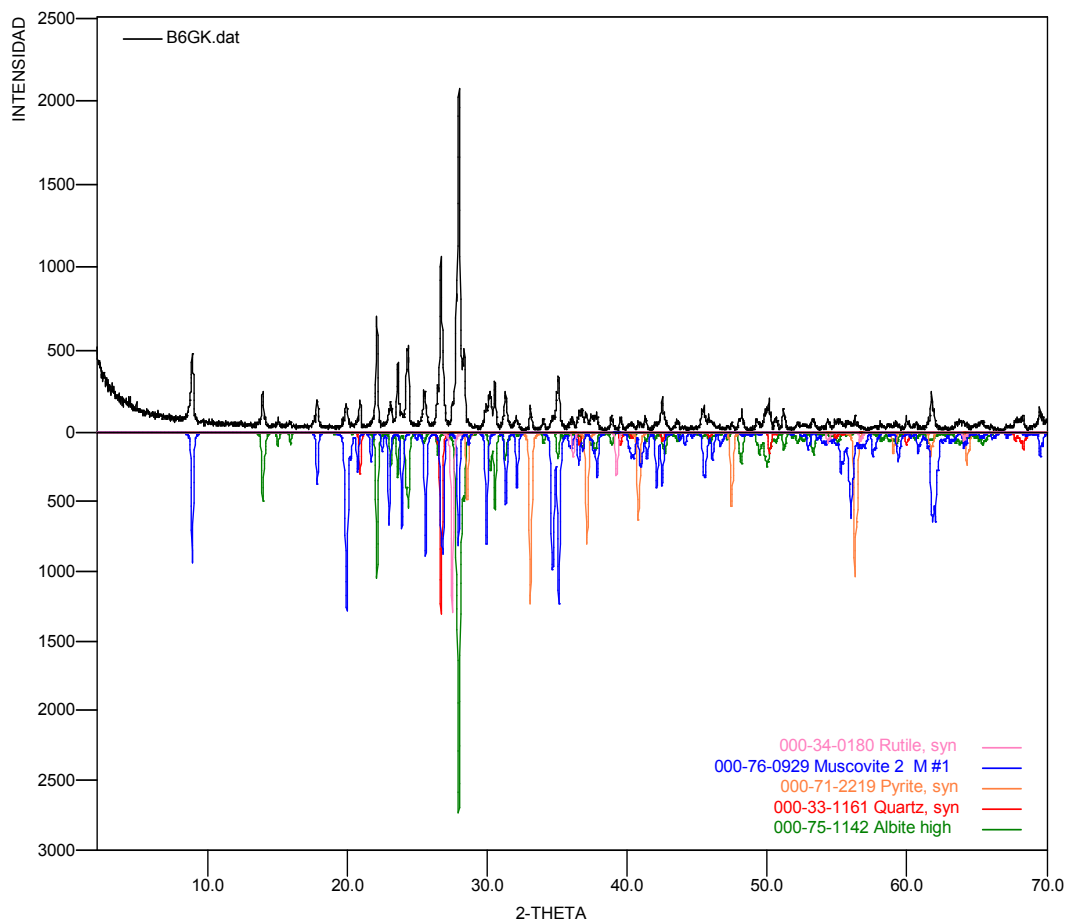
COR-016-011



- COR-016-014 (B6GK)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-75-1142	Albita
	$\text{Fe S}_2$	000-71-2219	Pirita
	$\text{Si O}_2$	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-76-0929	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-34-0180	Rutilo

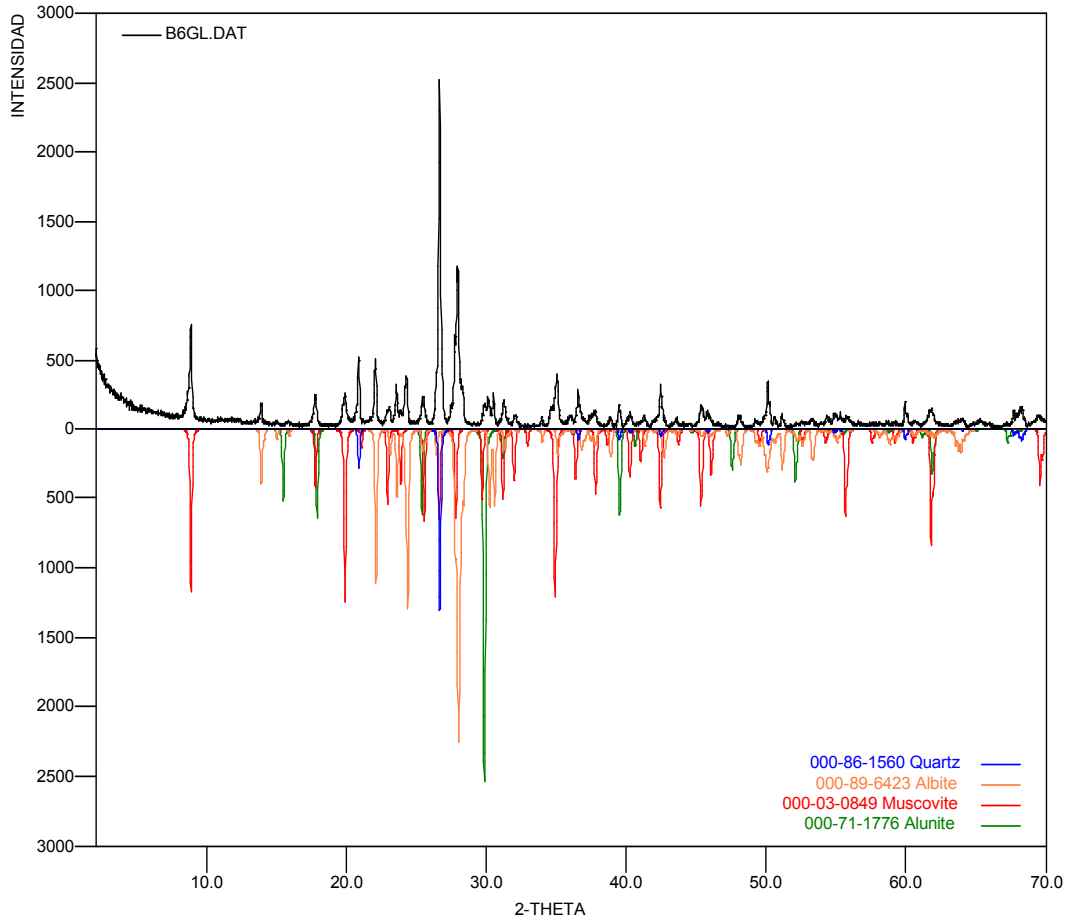
**COR-016-014**



- COR-016-016 (B6GL)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-89-6423	Albita
	$\text{Si O}_2$	000-86-1560	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-03-0849	Moscovita
	$\text{K} (\text{Al}_3 (\text{SO}_4)_2) (\text{OH})_6$	000-71-1776	Alunita

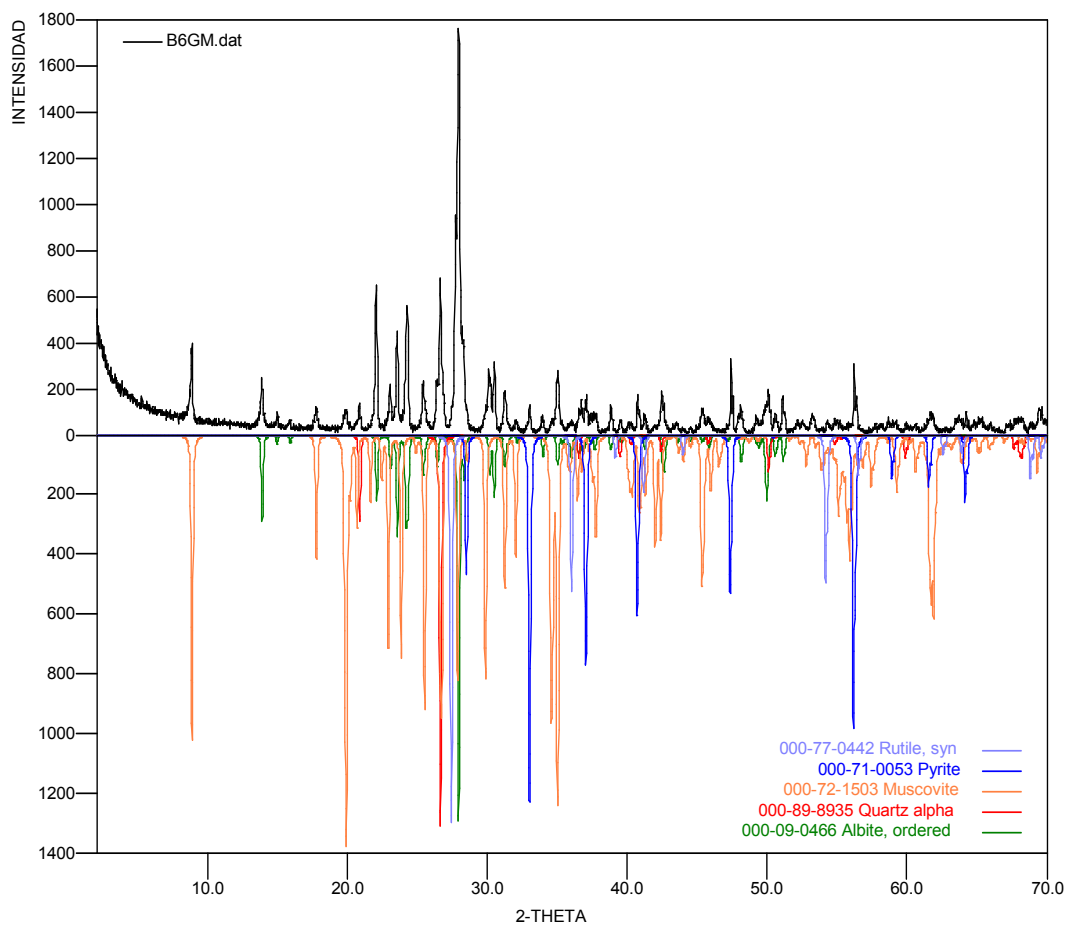
**COR-016-016**



• COR-016-017 (B6GM)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Fe S}_2$	000-71-0053	Pirita
	$\text{Si O}_2$	000-89-8935	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-72-1503	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-77-0442	Rutilo

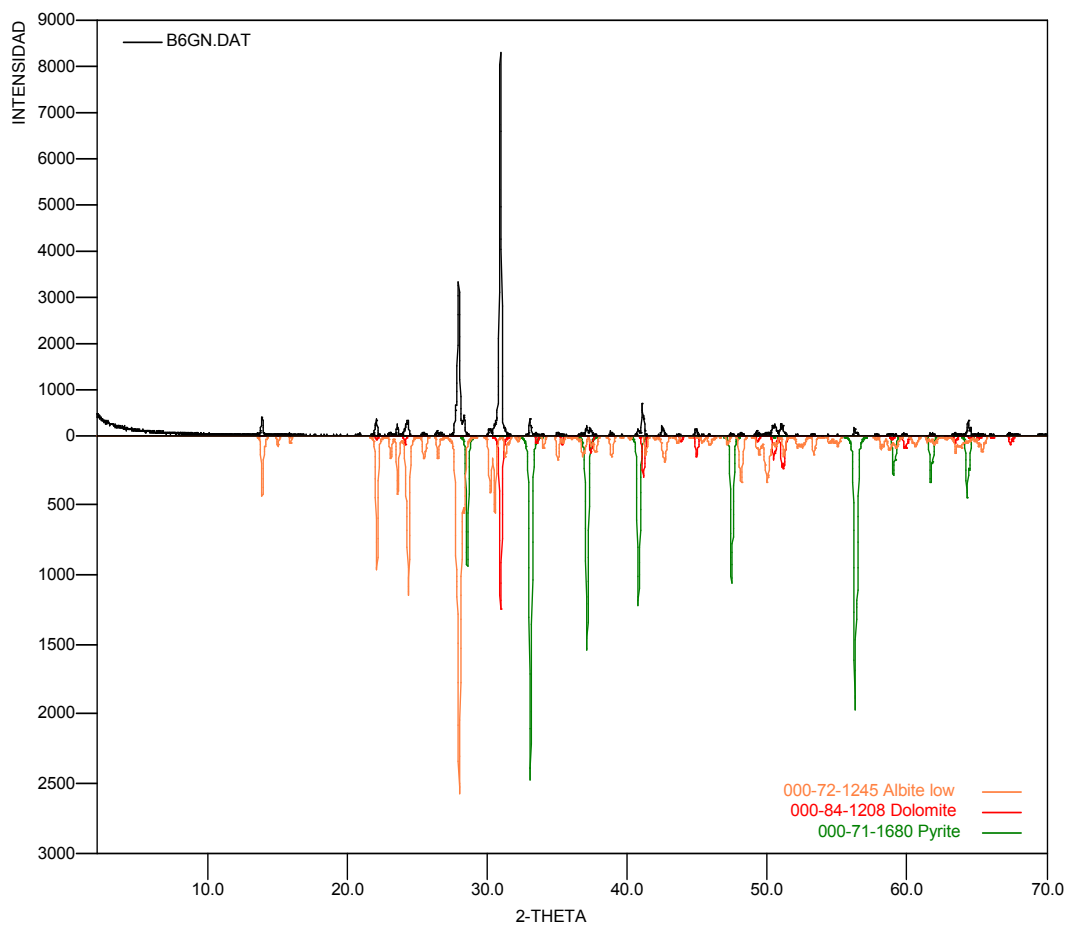
COR-016-017



• COR-016-019 (B6GN)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	000-72-1245	Albita
	Fe S <sub>2</sub>	000-71-1680	Pirita
	Ca Mg ( CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	000-84-1208	Dolomita

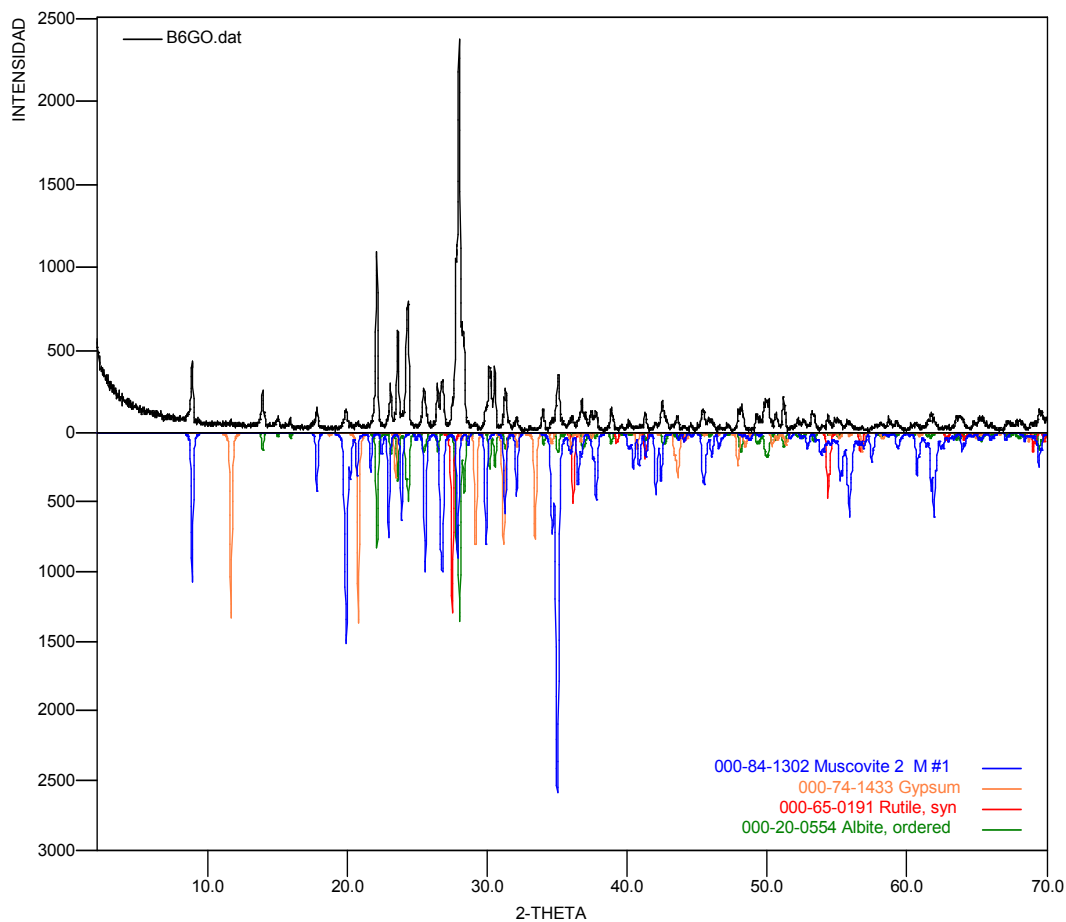
COR-016-019



- **COR-016-021 (B6GO)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	000-20-0554	Albita
	Ca SO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	000-74-1433	Gypsum
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-84-1302	Moscovita
	Ti O <sub>2</sub>	000-65-0191	Rutilo

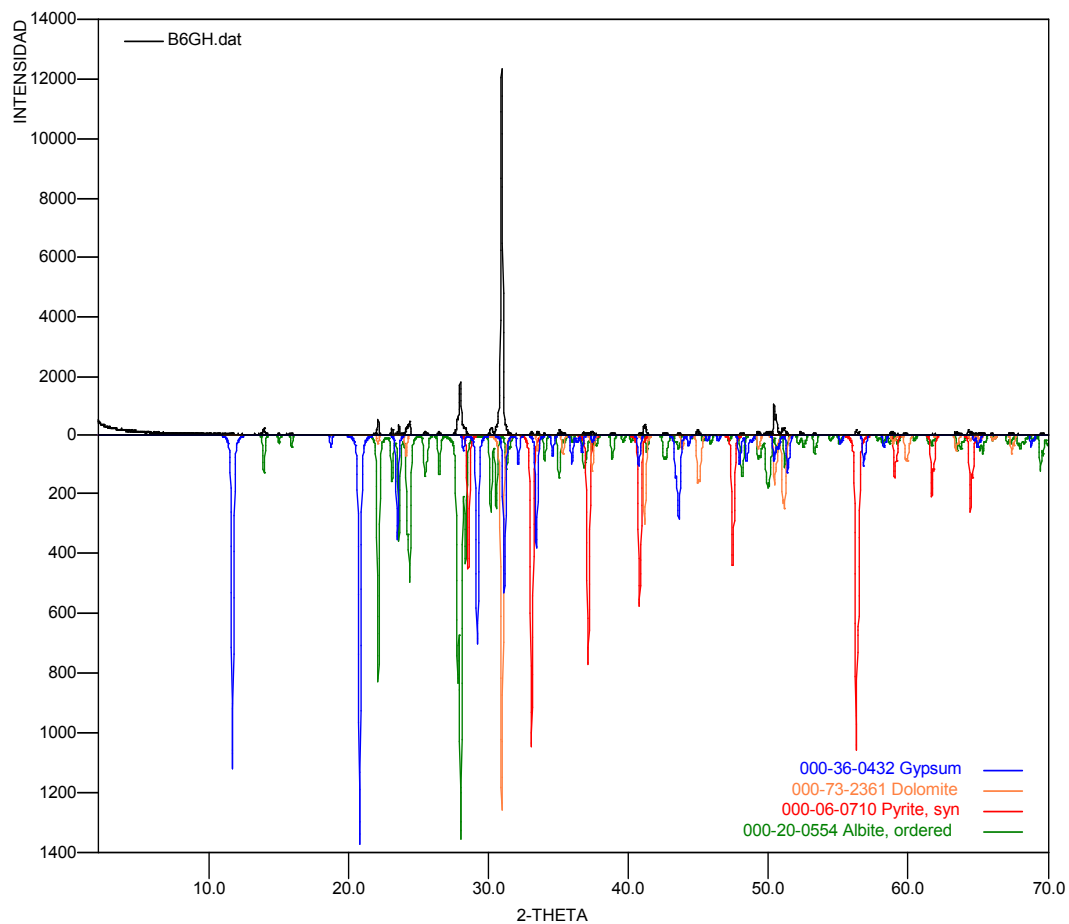
**COR-016-021**



- COR-016-021A (B6GH)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-36-0432	Gypsum
	$\text{Fe S}_2$	000-06-0710	Pirita
	$\text{Ca ( Mg, Fe ) ( CO}_3)_2$	000-73-2361	Dolomita

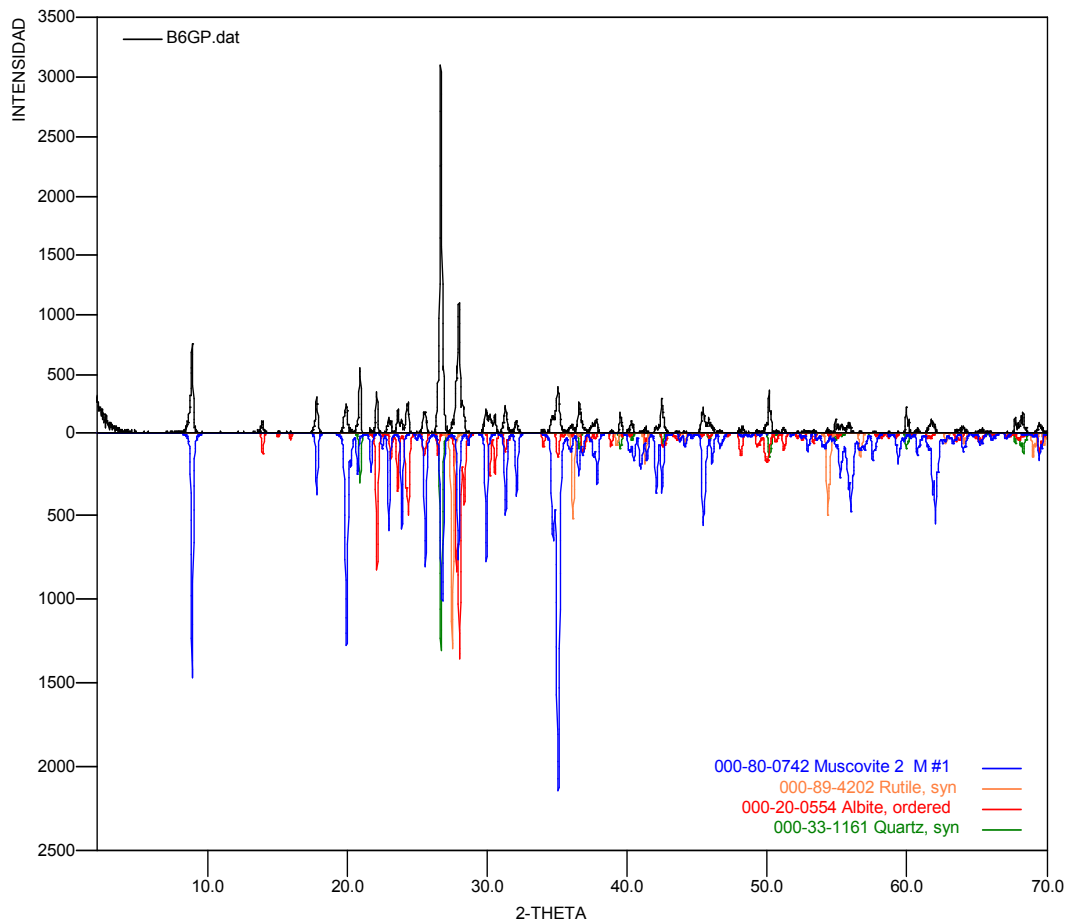
**COR-016-021A**



- **COR-016-022 (B6GP)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Si O}_2$	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-80-0742	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-89-4202	Rutilo

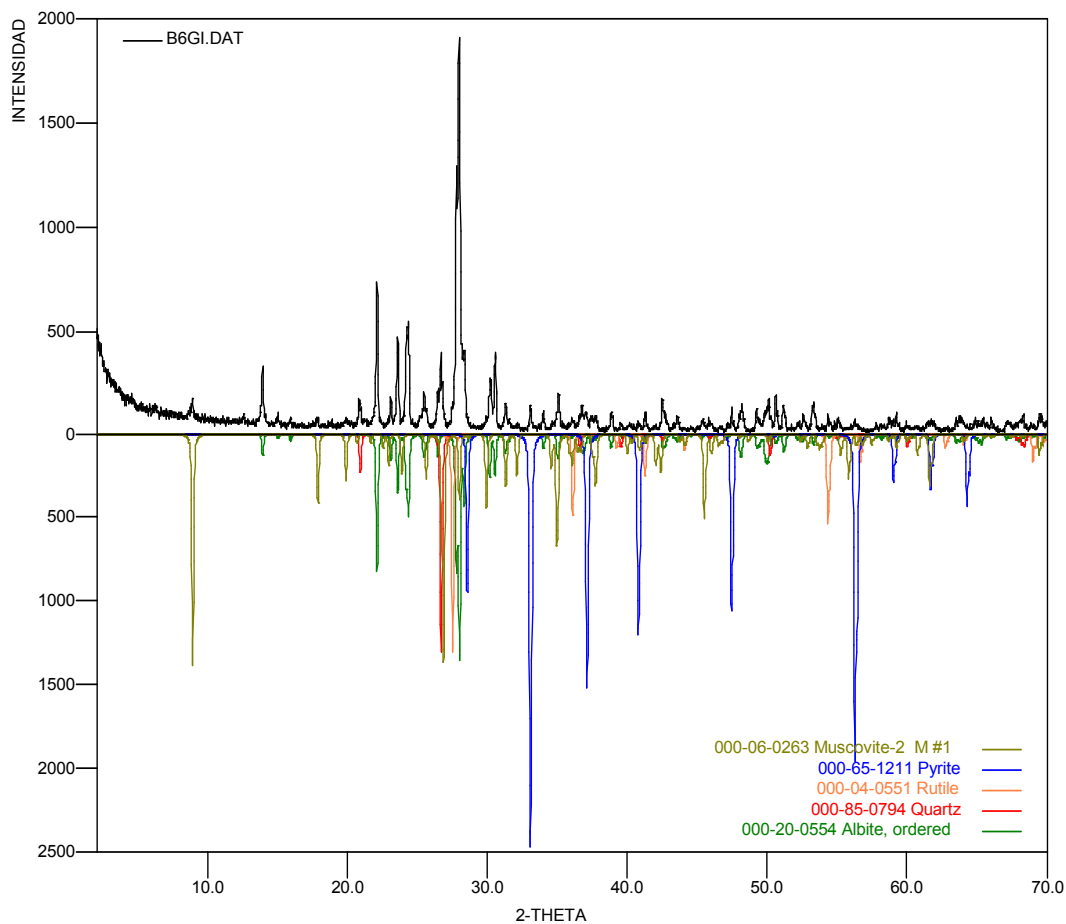
**COR-016-022**



- COR-016-023 (B6GI)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Fe S}_2$	000-65-1211	Pirita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	000-04-0551	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	000-85-0794	Cuarzo

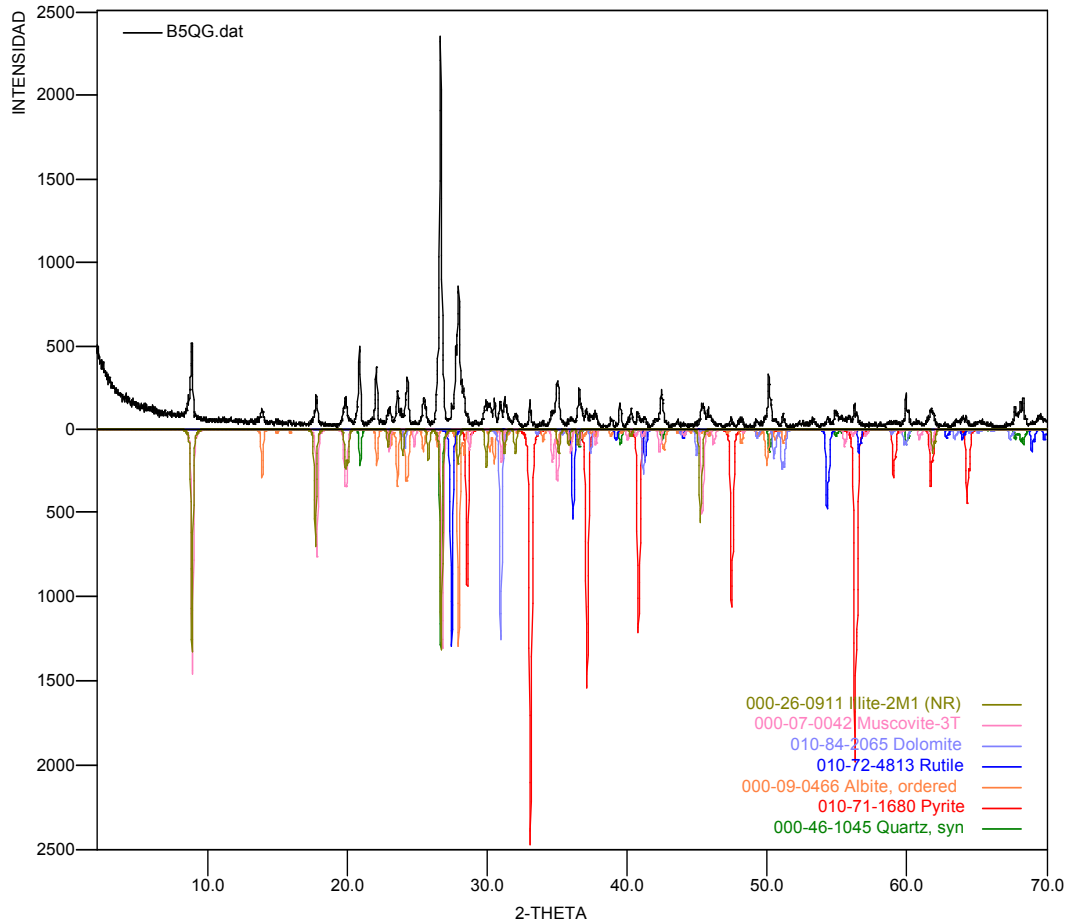
**COR-016-023**



- COR-030-01 (B5QG)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Fe S}_2$	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca ( Mg, Fe ) ( CO}_3 \text{ )}_2$	010-84-2065	Dolomita
	$( \text{K, H}_3\text{O} ) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} ( \text{OH} )_2$	000-26-0911	Illita
	$\text{Ti O}_2$	010-72-4813	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	000-46-1045	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} ( \text{OH} )_2$	000-07-0042	Moscovita

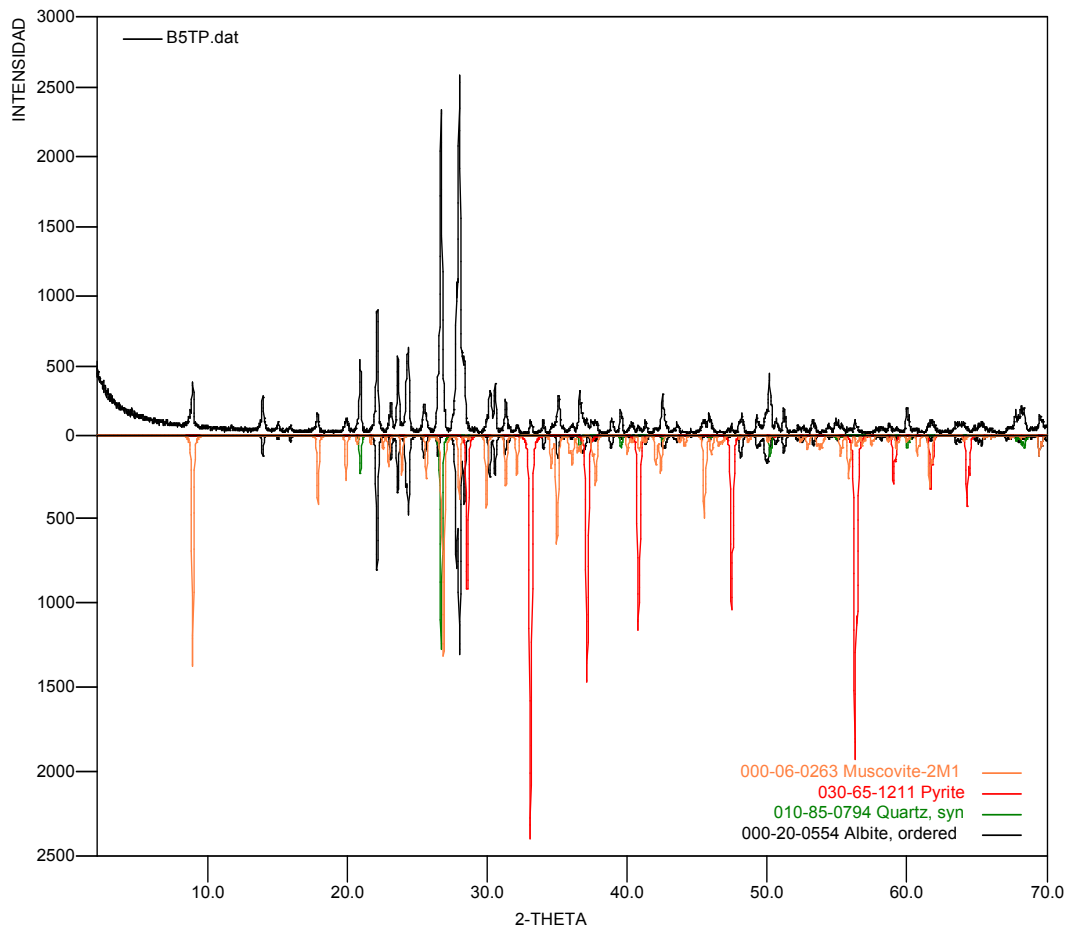
**COR-030-01**



- COR-030-02 (B5TP)**

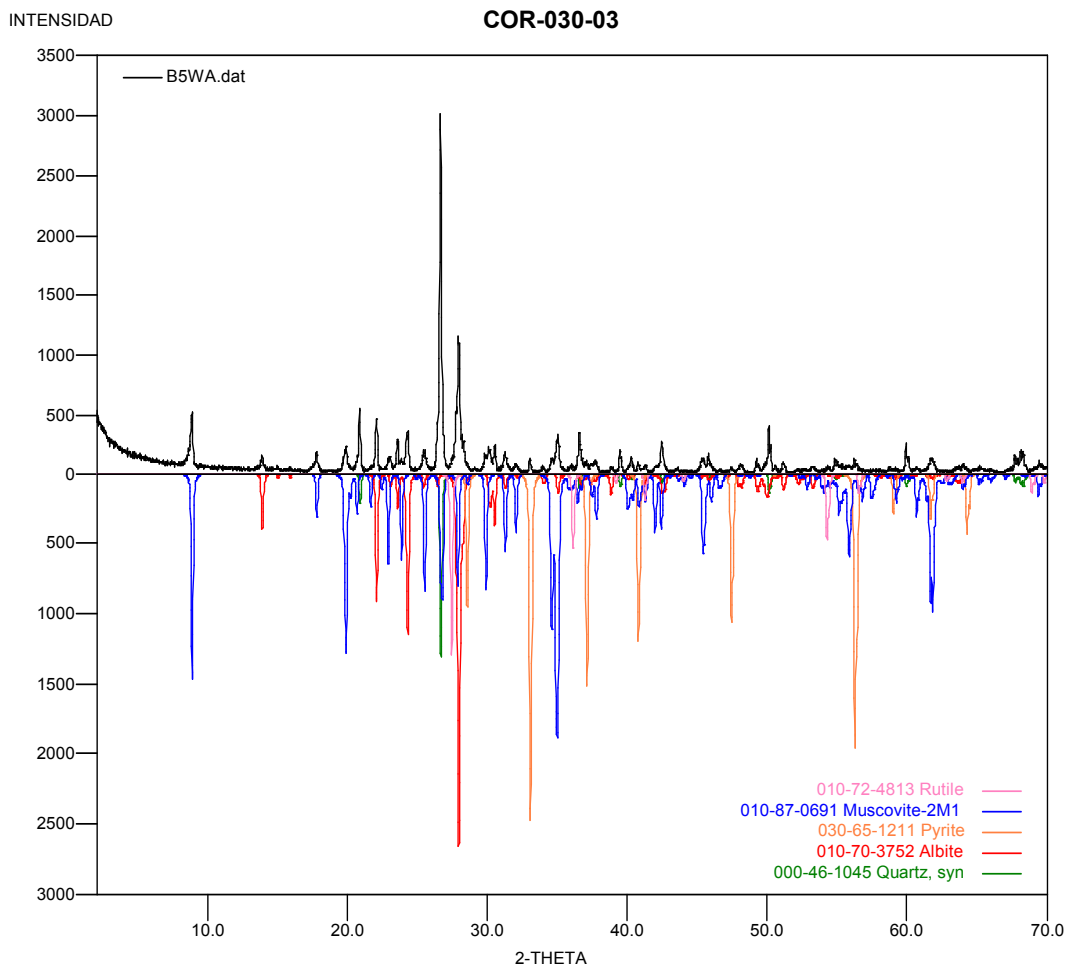
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Fe S}_2$	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Si O}_2$	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita

**COR-030-02**



- COR-030-03 (B5WA)**

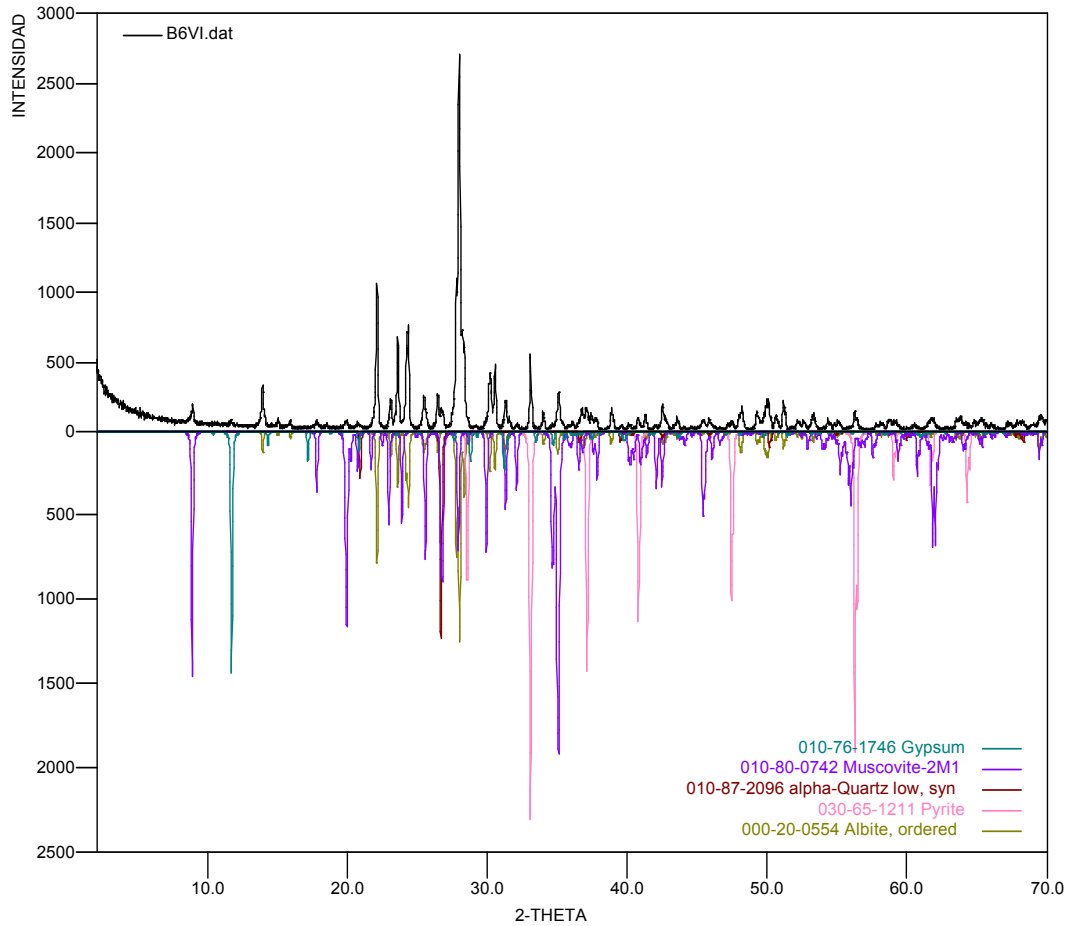
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe S <sub>2</sub>	030-65-1211	Pirita
	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	010-70-3752	Albita
	Ti O <sub>2</sub>	010-72-813	Rutilo
	Si O <sub>2</sub>	000-46-1045	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	010-87-0691	Moscovita



- COR-030-04 (B6VI)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O <sub>2</sub>	010-87-2096	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	010-80-0742	Moscovita
	Ca SO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	010-76-1746	Gypsum
	Fe S <sub>2</sub>	030-65-1211	Pirita
	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	000-20-0554	Albita

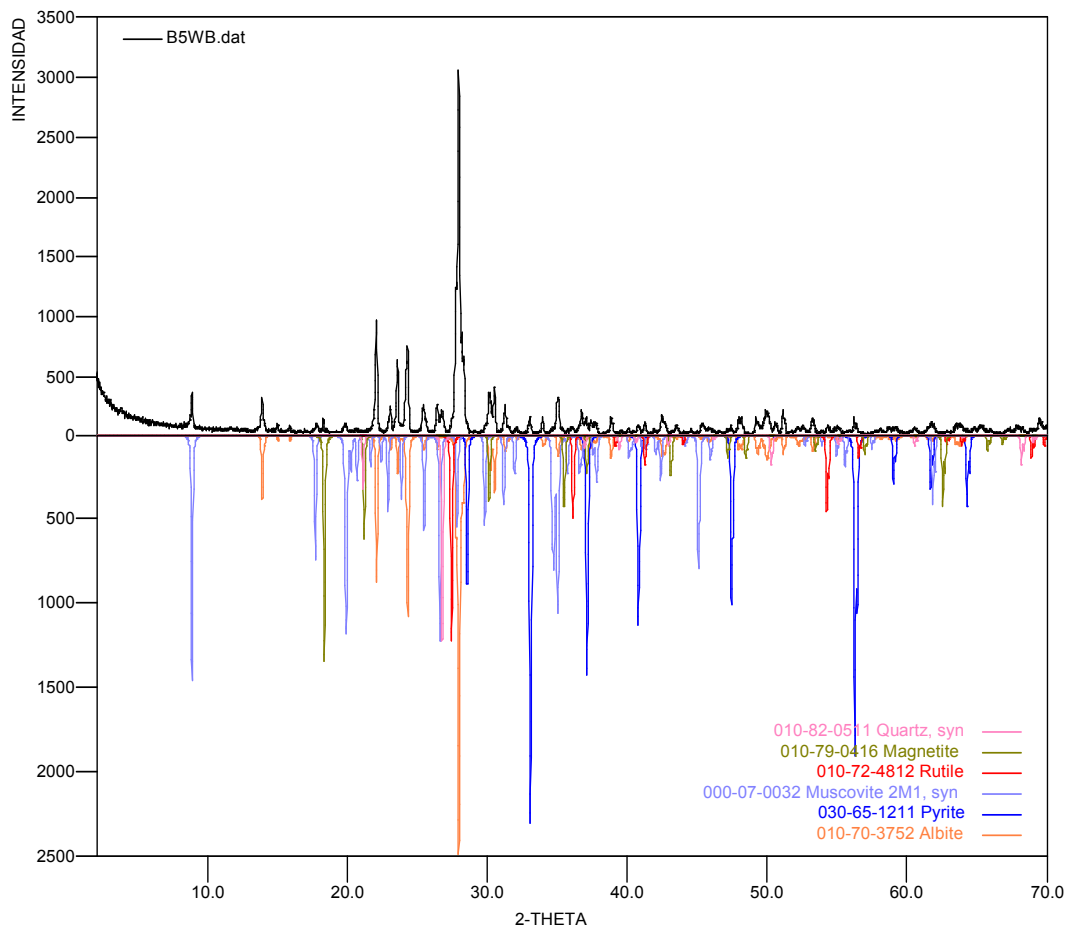
**COR-030-004**



- COR-030-05 (B5WB)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe S <sub>2</sub>	030-65-1211	Pirita
	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	010-70-3752	Albita
	Ti O <sub>2</sub>	010-72-4812	Rutilo
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	010-79-0416	Magnetita
	Si O <sub>2</sub>	010-82-0511	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-07-3752	Moscovita

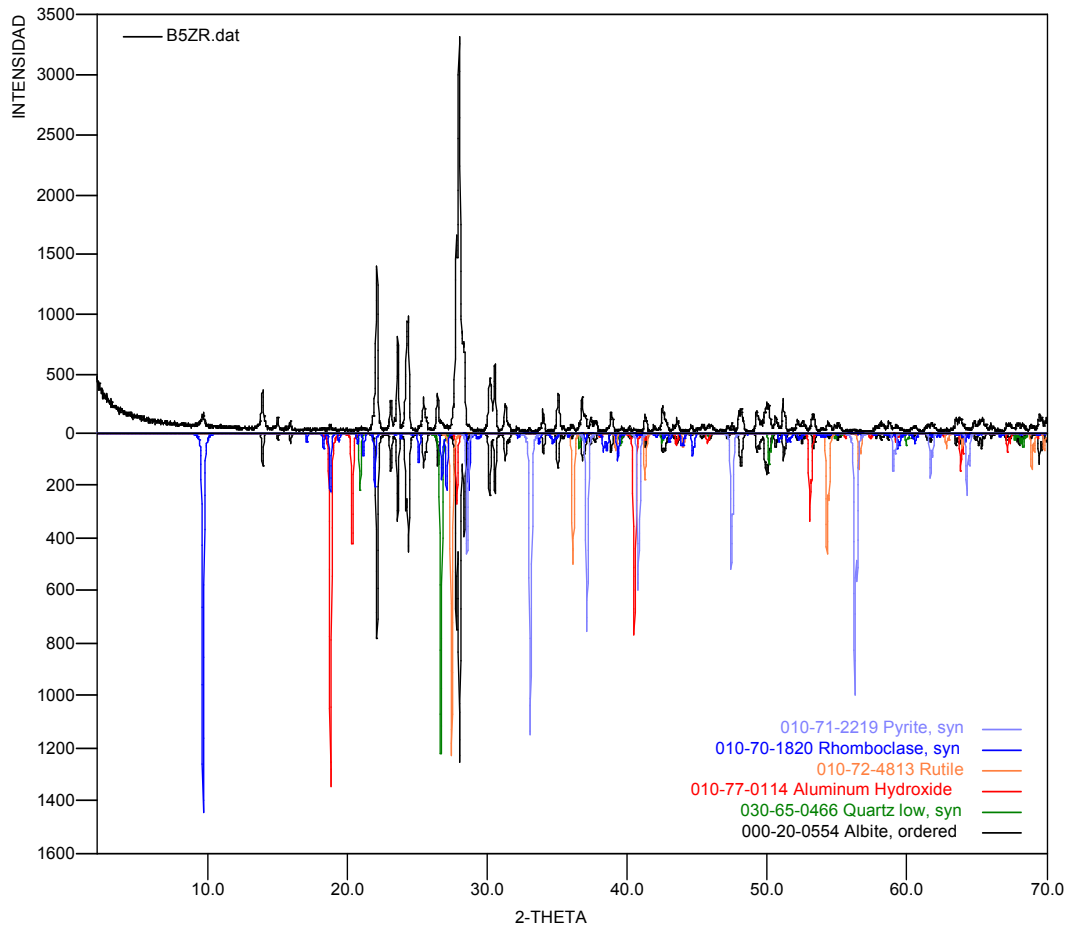
**COR-030-05**



• COR-030-06 (B5ZR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Fe S}_2$	010-71-2219	Pirita
	$\text{Al ( OH )}_3$	010-77-0114	Hidróxido de Aluminio
	$( \text{H}_5 \text{ O}_2 ) \text{ Fe ( SO}_4 )_2 ( \text{H}_2\text{O} )_2$	010-70-1820	Romboclasa
	$\text{Ti O}_2$	010-72-4813	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	030-65-0466	Cuarzo

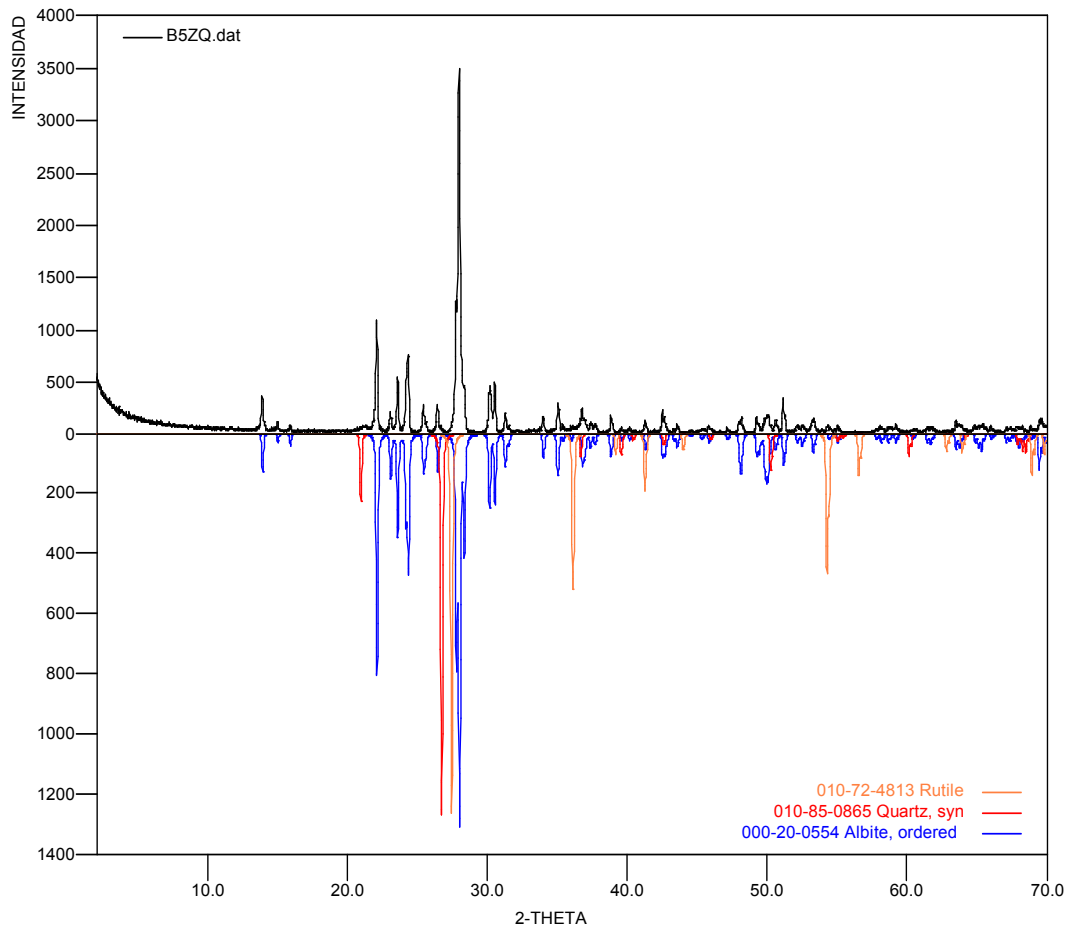
COR-030-006



- COR-030-07 (B5ZQ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	000-20-0554	Albita
	Si O <sub>2</sub>	010-85-0865	Cuarzo
	Ti O <sub>2</sub>	010-72-4813	Rutilo

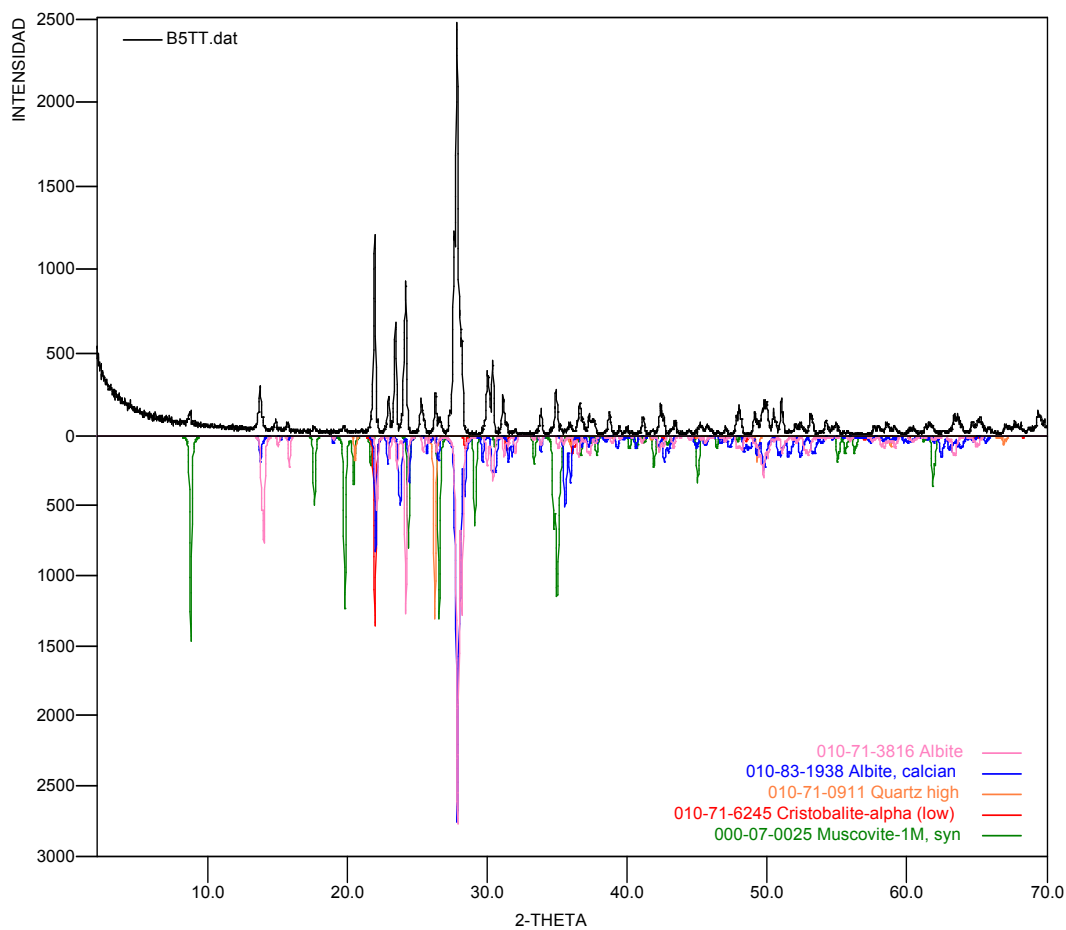
**COR-030-007**



• COR-030-08 (B5TT)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-71-3816	Albita
	$\text{Si O}_2$	010-71-6245	Cristobalita
	$\text{Na}_{0.622} \text{Ca}_{0.368} \text{Al}_{1.29} \text{Si}_{2.71} \text{O}_8$	010-83-1938	Albita Calcica
	$\text{Si O}_2$	010-71-0911	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0025	Moscovita

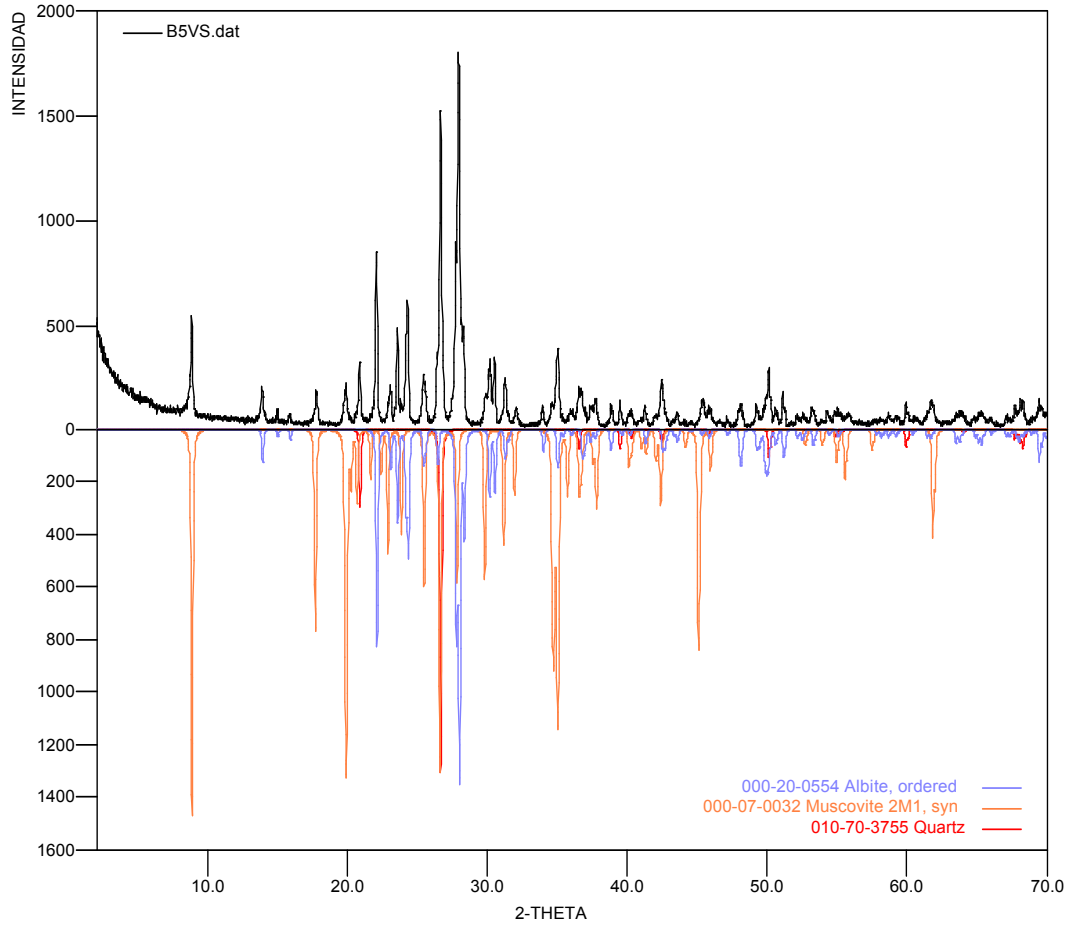
COR-030-08



- COR-030-09 (B5VS)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Si O}_2$	010-70-3755	Cuarzo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita

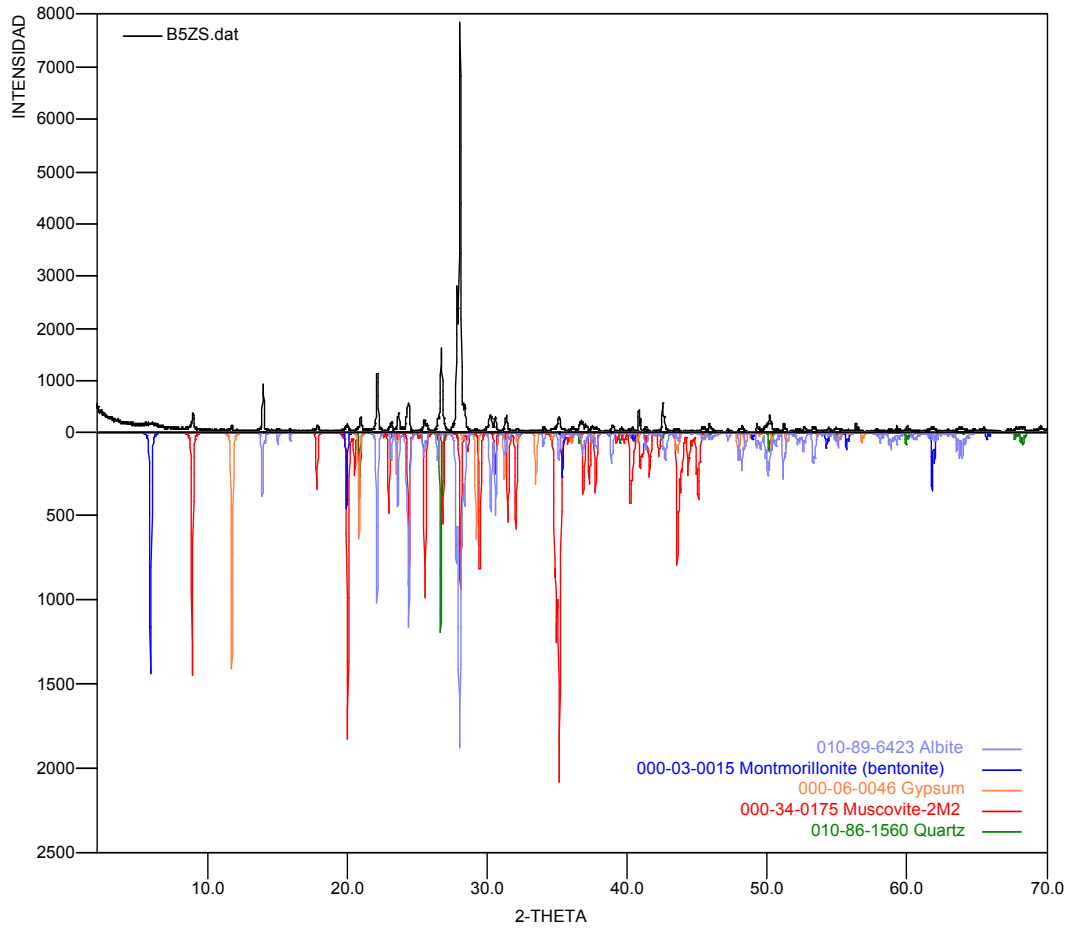
**COR-030-09**



- COR-030-010 (B5ZS)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-89-6423	Albita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-34-0175	Moscovita
	$\text{Si O}_2$	010-86-1560	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-06-0046	Gypsum
	$(\text{Na, Ca})_{0.3}(\text{Al, Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot X\text{H}_2\text{O}$	000-03-0015	Montmorillonita

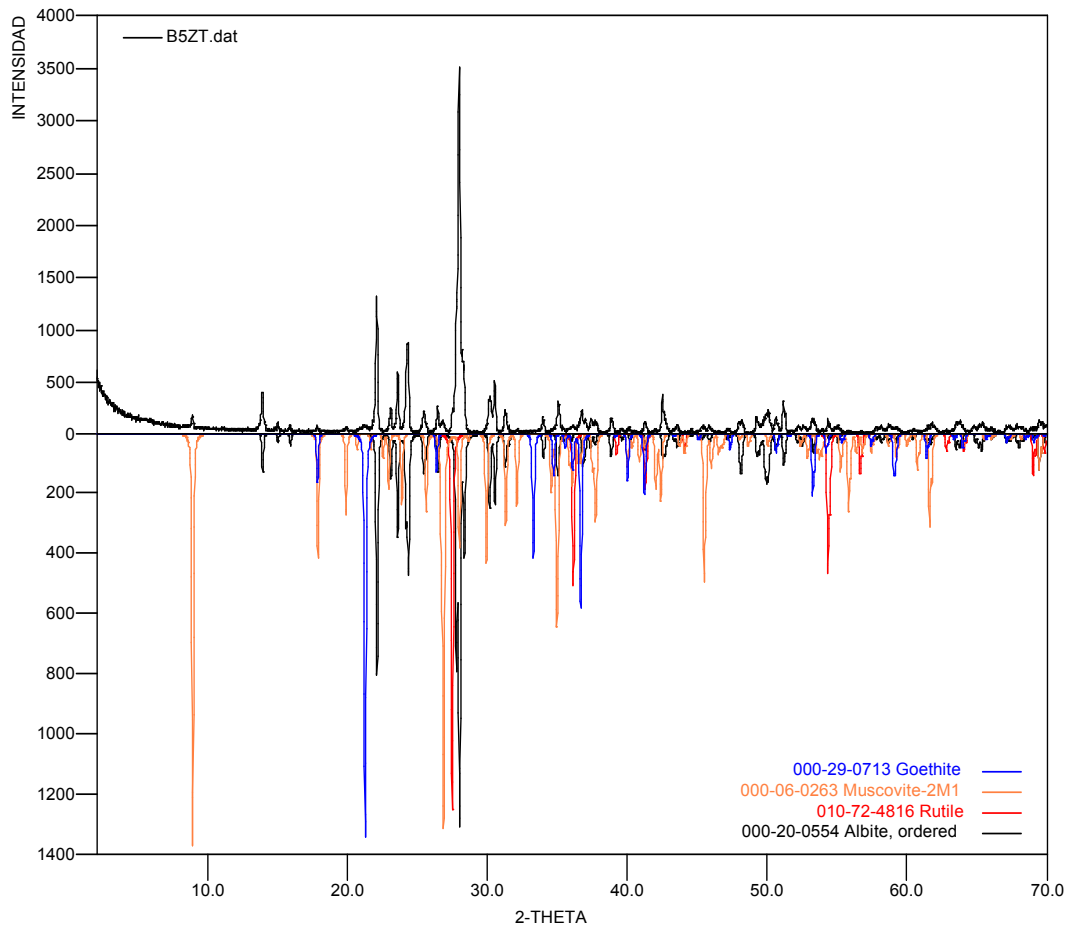
**COR-030-010**



- COR-030-011 (B5ZT)

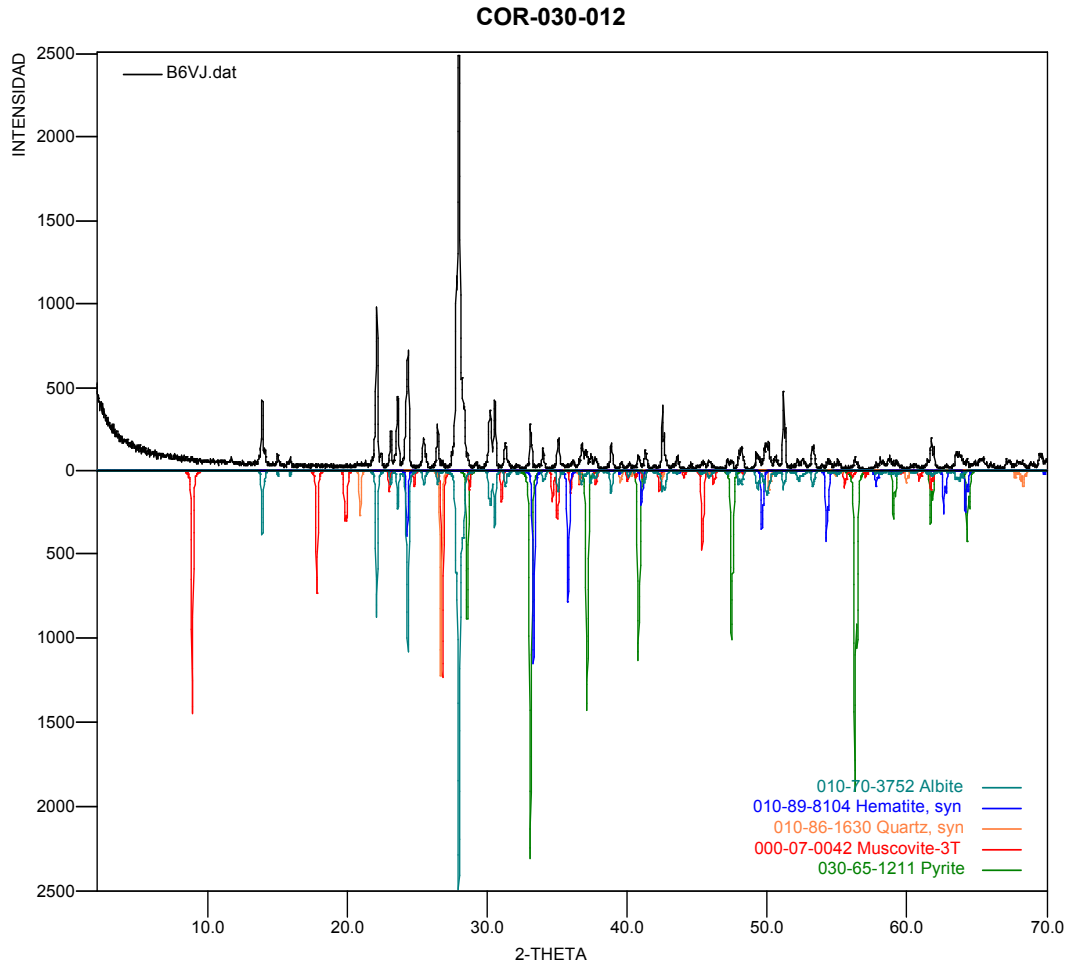
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Fe O ( OH )}$	000-29-0713	Goetita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	$\text{Ti O}_2$	010-72-4816	Rutilo

**COR-030-011**



- COR-030-012 (B6VJ)

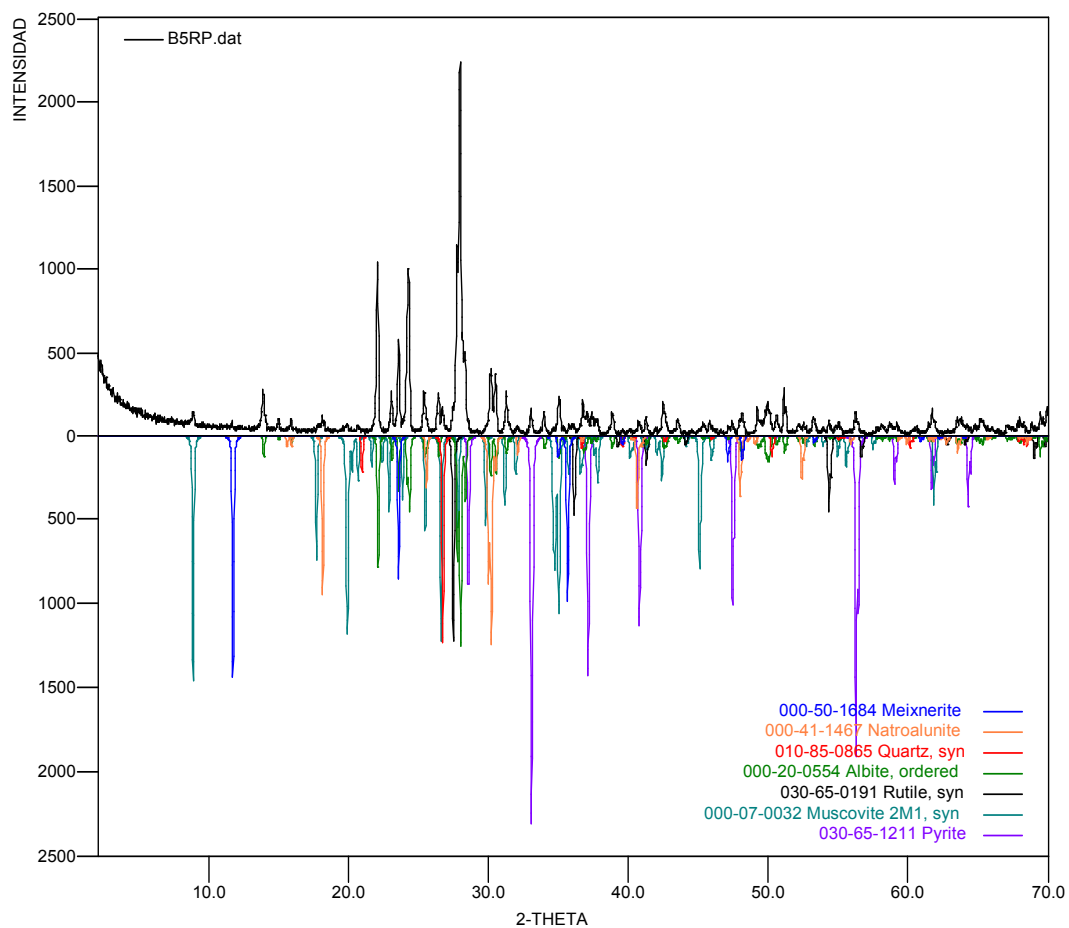
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O <sub>2</sub>	010-86-1630	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-07-0042	Moscovita
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	010-89-8104	Hematita
	Fe S <sub>2</sub>	030-65-1211	Pirita
	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	010-70-3752	Albita



- COR-030-013 (B5RP)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Na Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	000-41-1467	Natroalunita
	$(\text{Mg}_5 \text{Al}_3 (\text{OH})_{16}) ((\text{OH})_3 (\text{H}_2\text{O})_4)$	000-50-1684	Meixnerita
	$\text{Fe S}_2$	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ti O}_2$	030-65-0191	Rutilo
	$\text{Si O}_2$	010-85-0865	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita

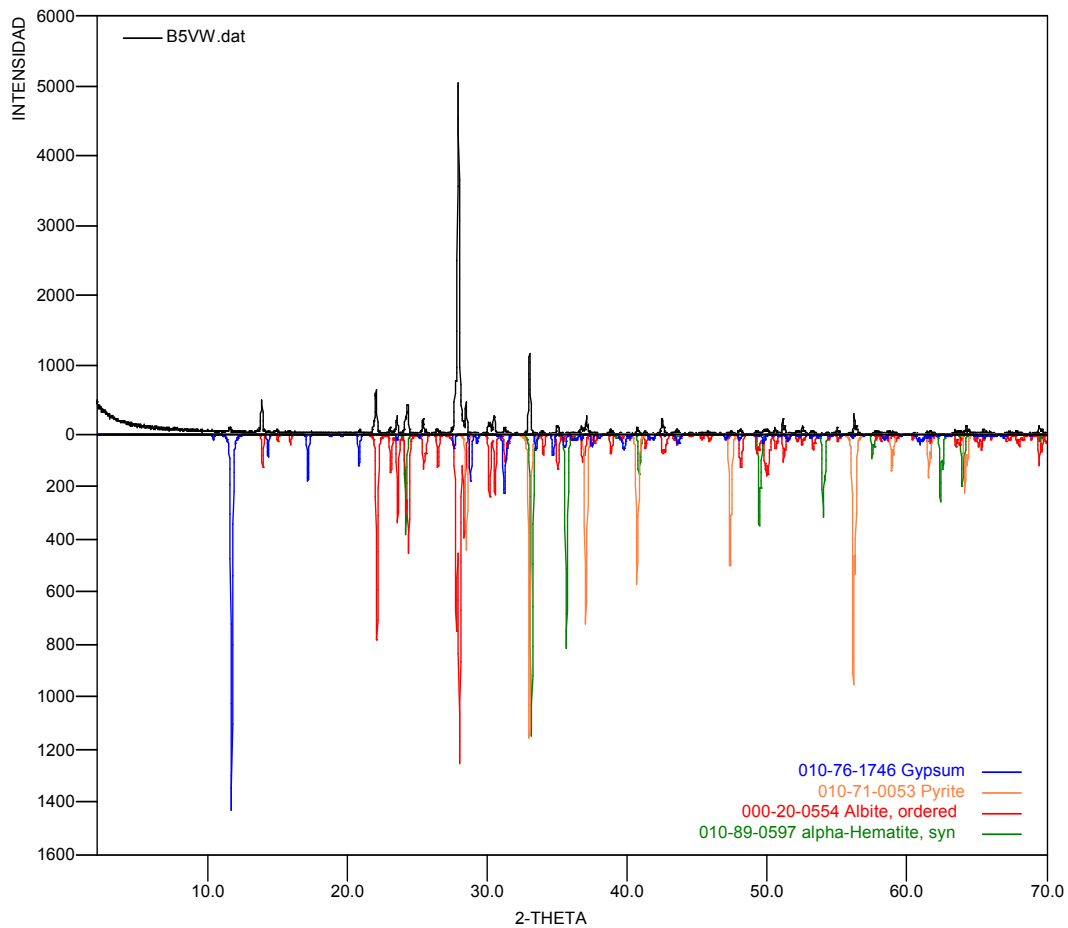
**COR-030-013**



- COR-030-014 (B5VW)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	010-89-0597	Hematita
	$\text{Fe S}_2$	010-71-0053	Pirita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-76-1746	Gypsum

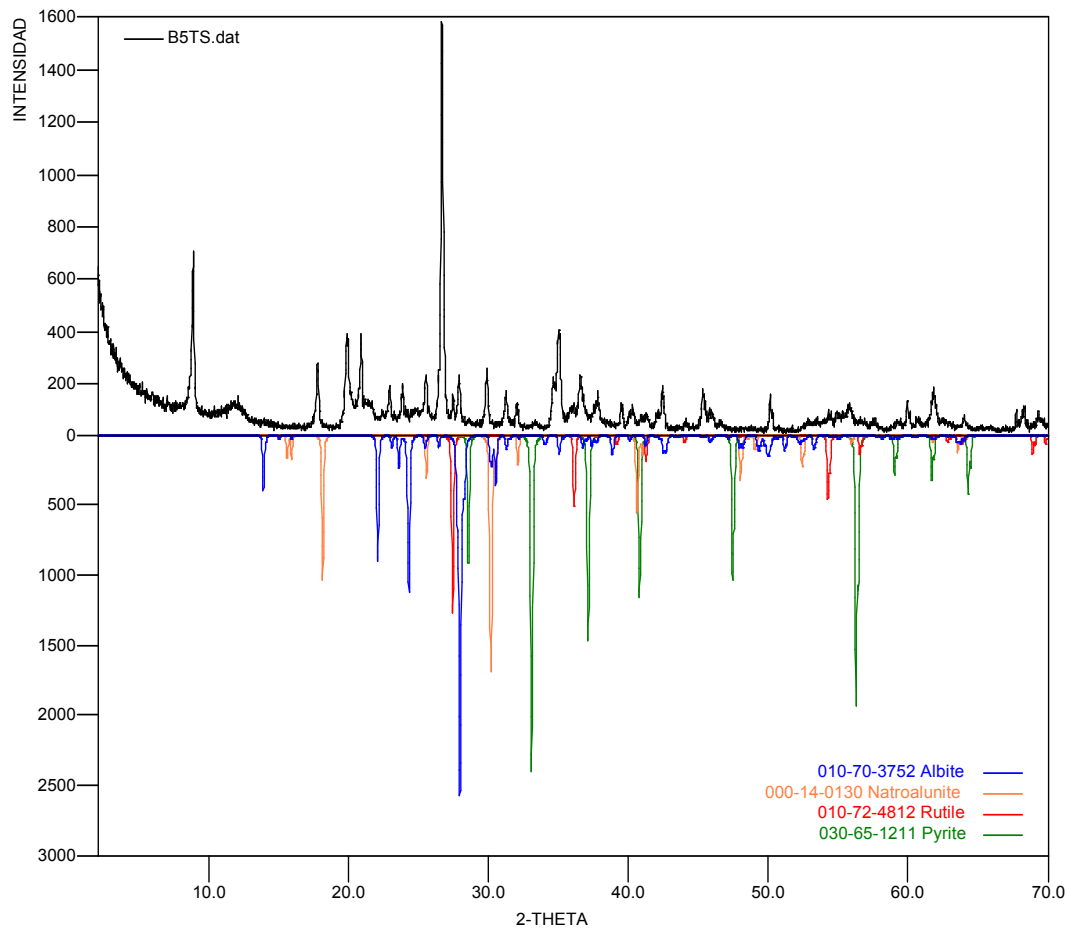
**COR-030-014**



• COR-030-015 (B5TS)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Fe S}_2$	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ti O}_2$	010-72-4812	Rutilo
	$\text{Na Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	000-14-0130	Natroalunita

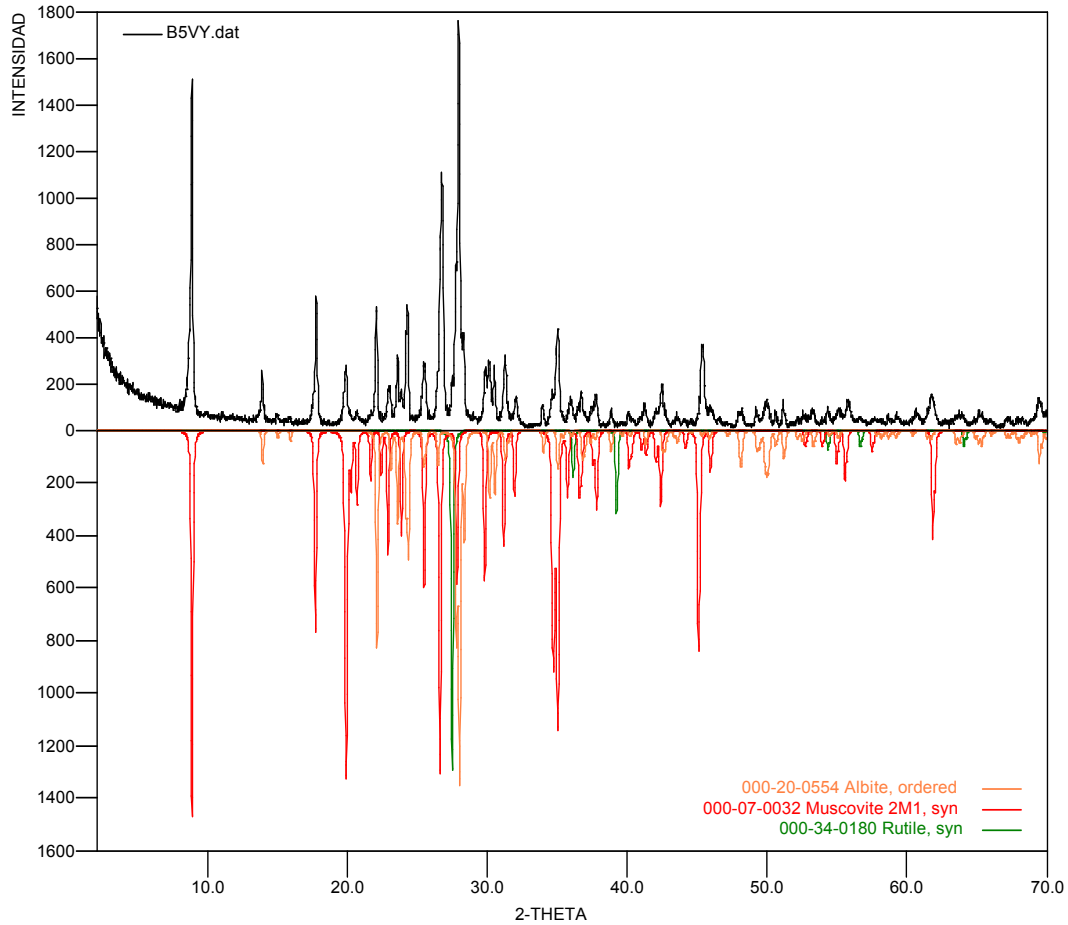
COR-030-015



- COR-030-016 (B5VY)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ti O}_2$	000-34-0180	Rutilo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita

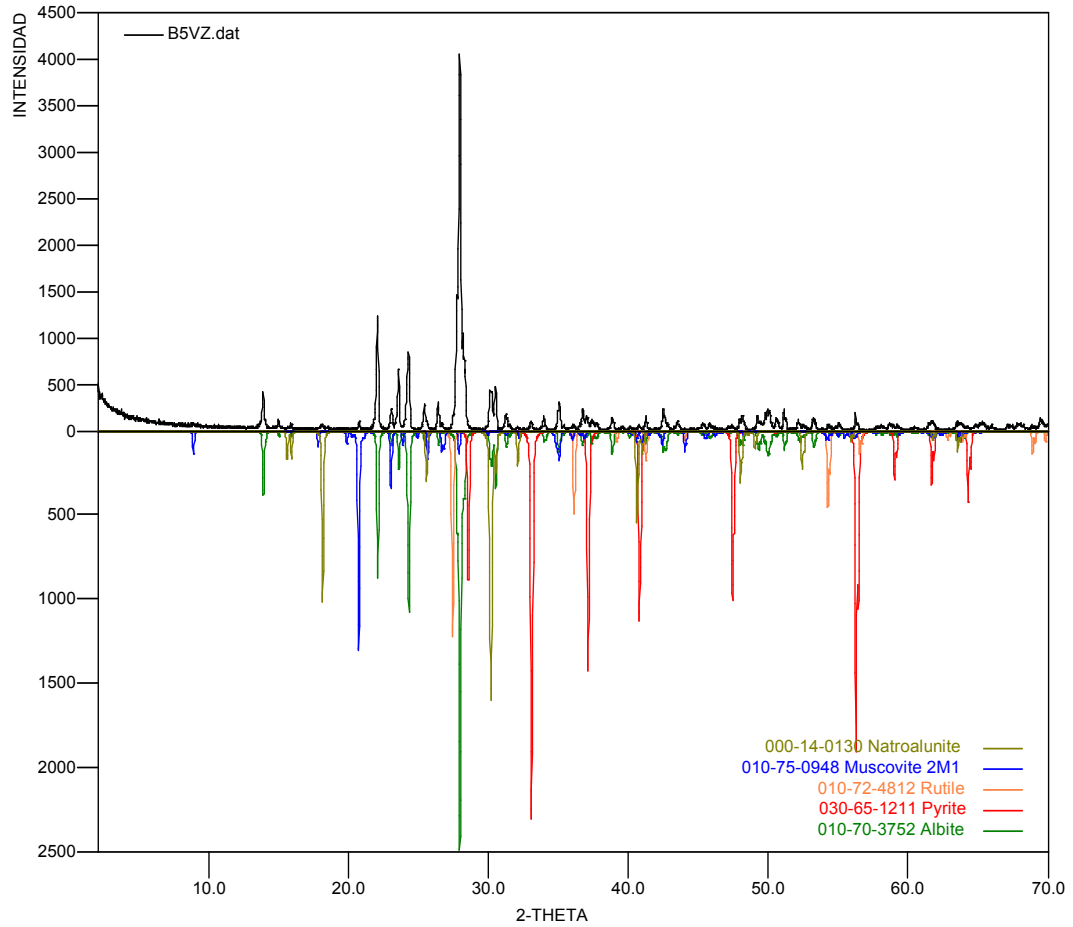
**COR-030-016**



• COR-030-017 (B5VZ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Na Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	000-14-0130	Natroalunita
	$\text{Fe S}_2$	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ti O}_2$	010-72-4812	Rutilo
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-75-0948	Moscovita

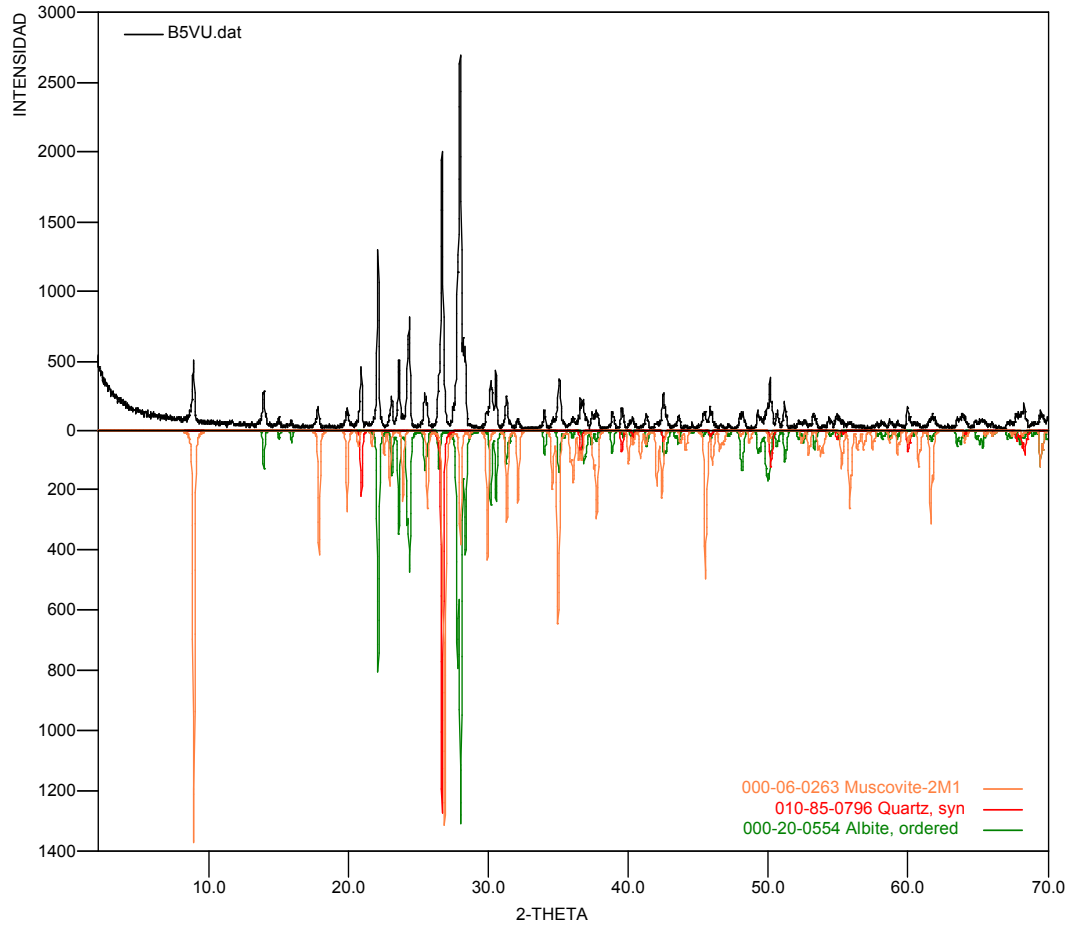
COR-030-017



- COR-030-018 (B5VU)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	$\text{Si O}_2$	010-85-0796	Cuarzo

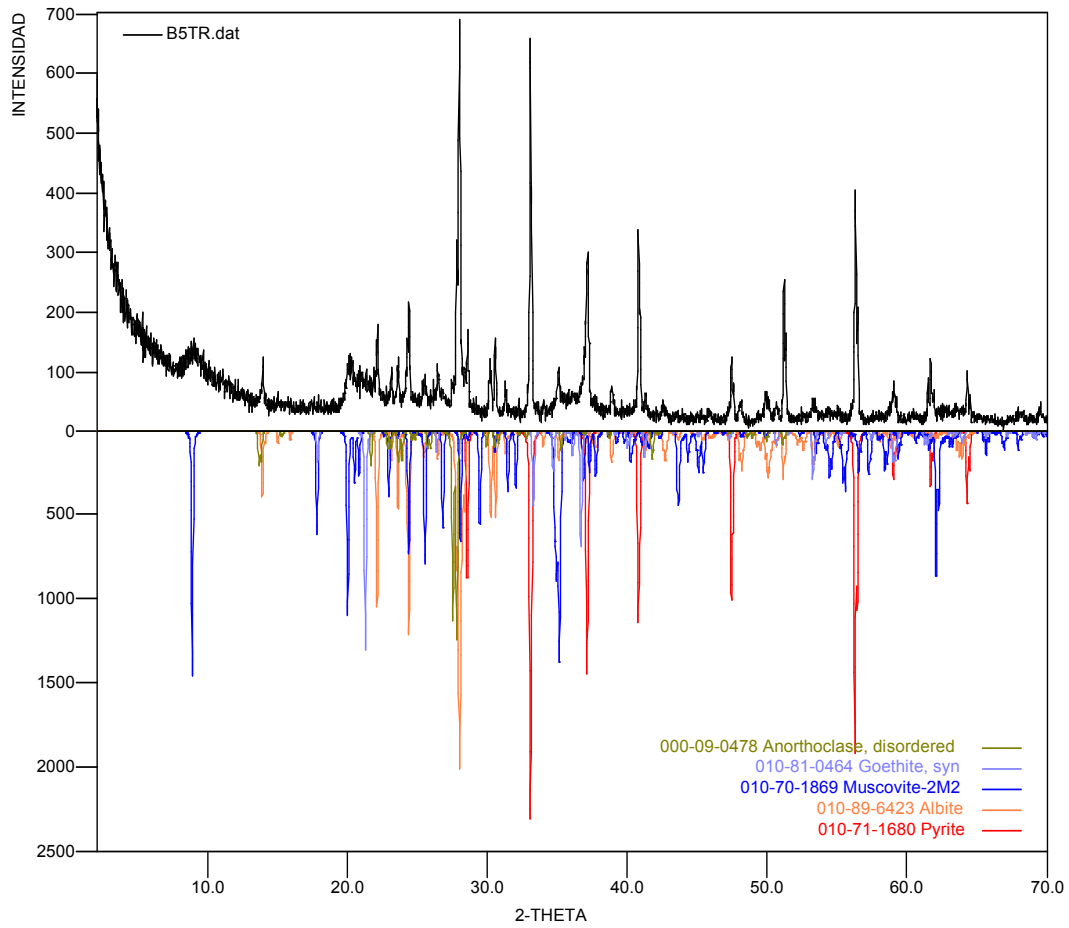
**COR-030-018**



- COR-030-019A (B5TR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-89-6423	Albita
	$\text{Fe O ( OH )}$	010-81-0464	Goetita
	$( \text{Na, K } ) ( \text{Si}_3 \text{ Al } ) \text{O}_8$	000-09-0478	Anortoclasa
	$\text{Fe S}_2$	010-71-1680	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} ( \text{OH } )_2$	010-70-1869	Moscovita

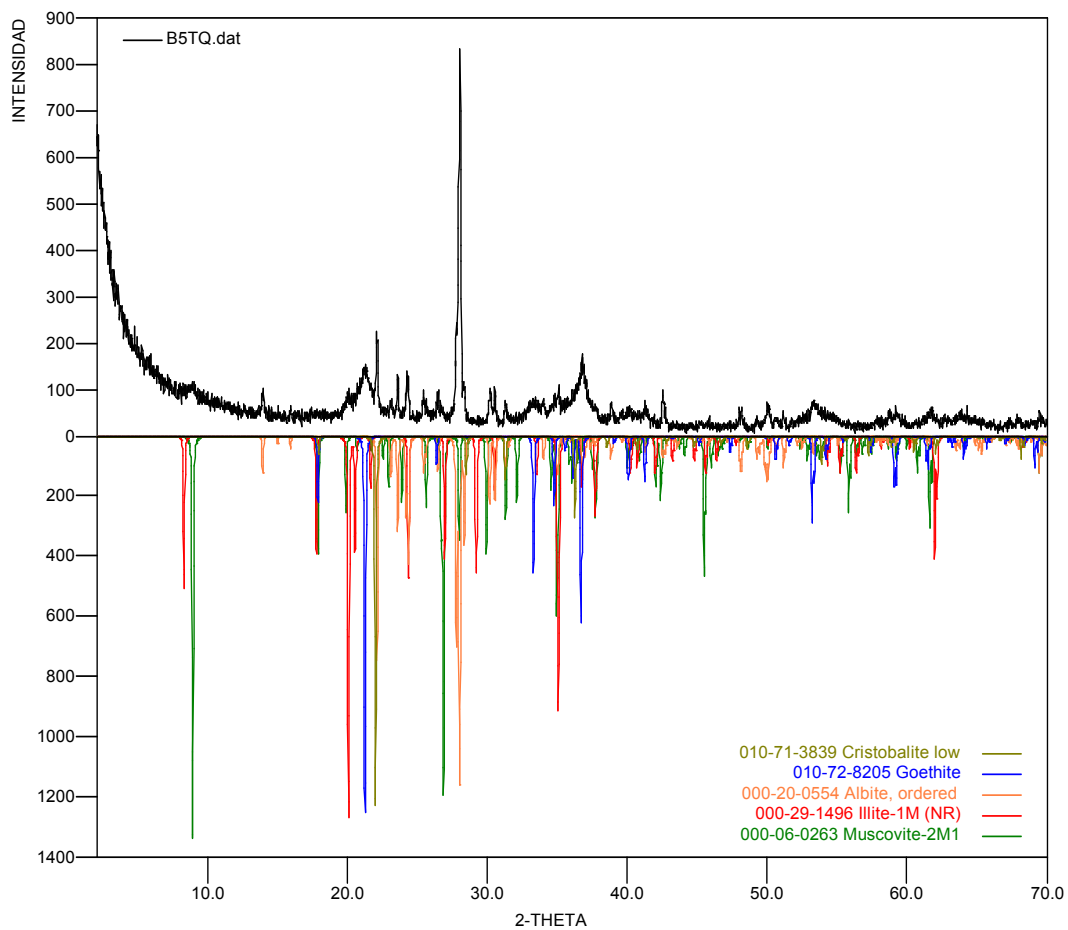
**COR-030-019A**



• COR-030-019B (B5TQ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Fe O ( OH )}$	010-72-8205	Goetita
	$( \text{K, H}_3\text{O} ) \text{ Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} ( \text{ OH } )_2$	000-29-1496	Illita
	$\text{Si O}_2$	010-71-3839	Cristobalita
	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} ( \text{ OH } )_2$	000-06-0263	Moscovita

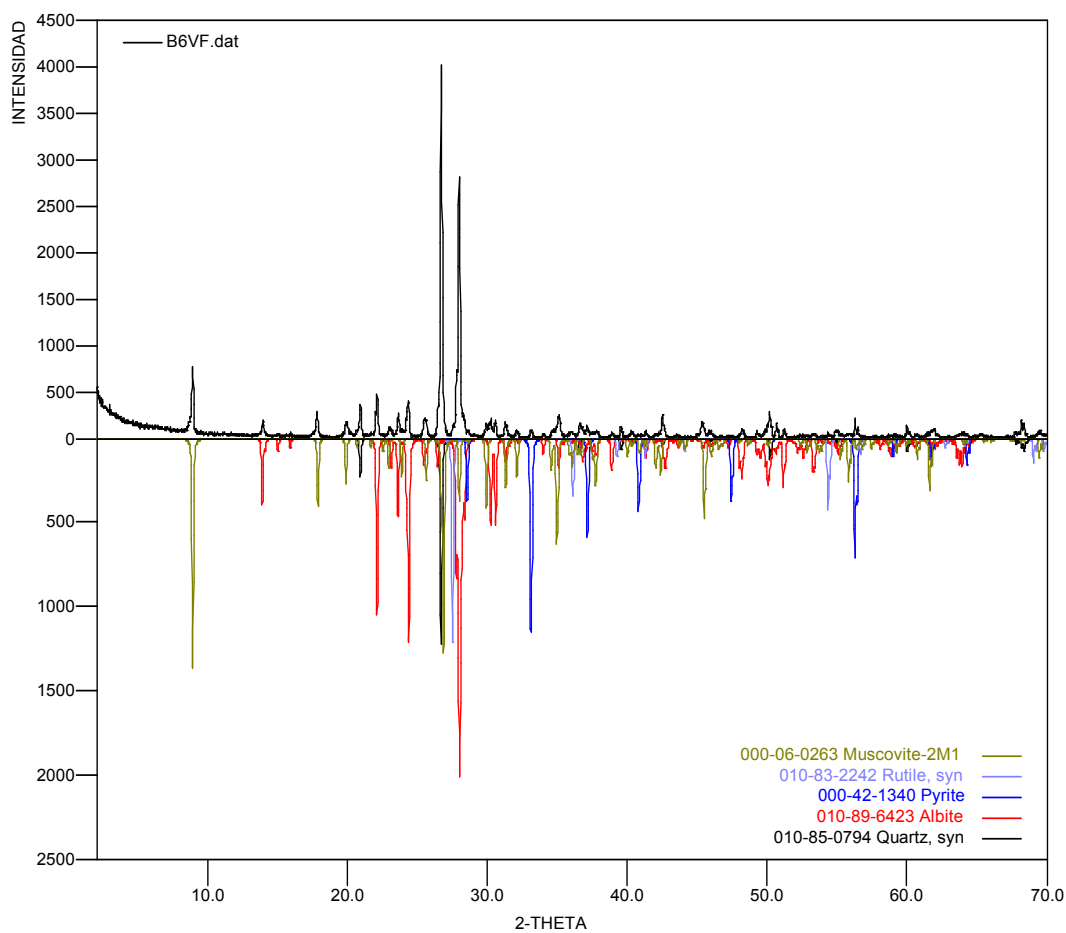
COR-030-019B



- COR-030-020 (B6VF)

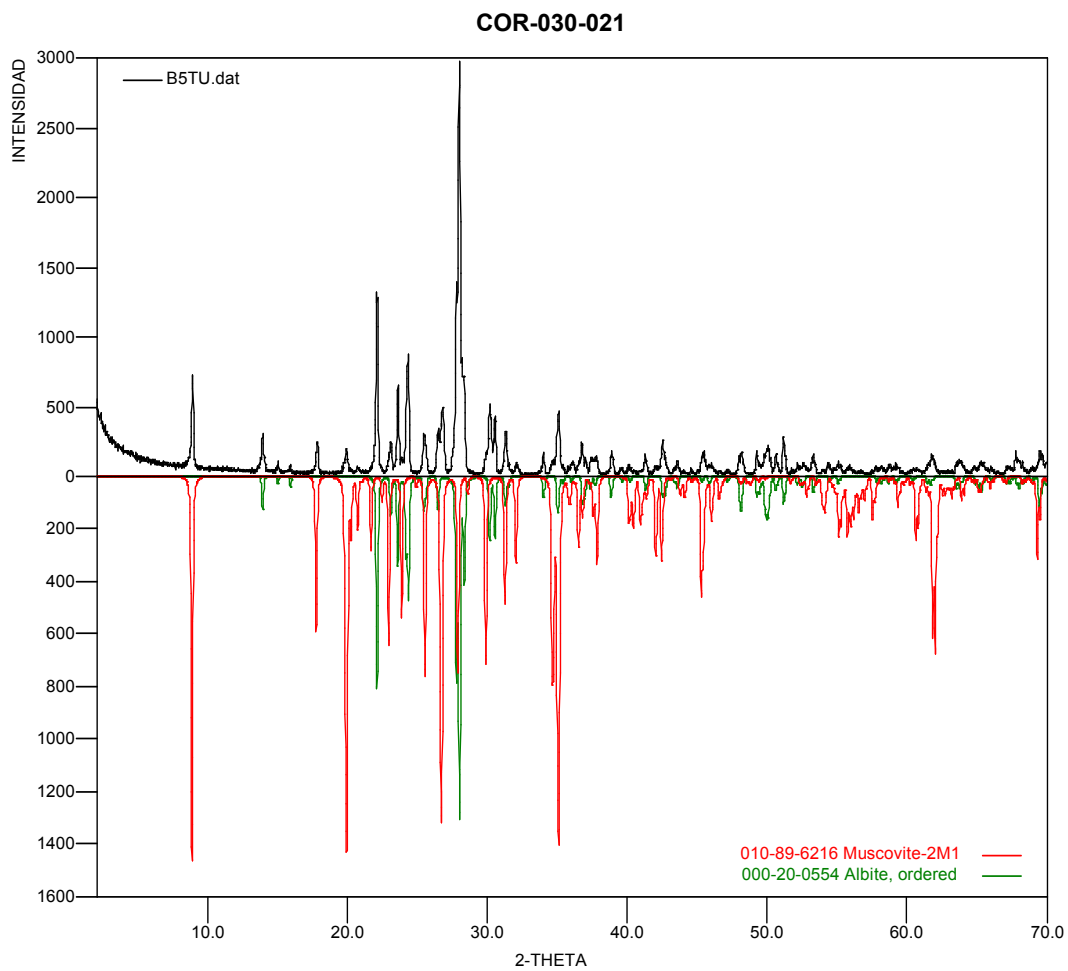
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O <sub>2</sub>	010-85-0794	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	000-06-0263	Moscovita
	Fe S <sub>2</sub>	000-42-1340	Pirita
	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	010-89-6423	Albita
	Ti O <sub>2</sub>	010-83-2242	Rutilo

**COR-030-022**



- COR-030-021 (B5TU)**

	<b>FASE</b>	<b>No. TARJETA PDF-2</b>	<b>NOMBRE</b>
Cristalinos	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	000-20-0554	Albita
	K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>2</sub>	010-89-6216	Moscovita



**ANEXO 4. TABLAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA QUÍMICA  
DE ALBITAS.**

**COR 016 025****Análisis 3**

Oxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8
SiO <sub>2</sub>	66.123	60.080	1.101	1.101	2.201	2.956637101
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.799	101.960	0.204	0.408	0.612	1.096018843
Na <sub>2</sub> O	10.217	62.000	0.165	0.330	0.165	0.885395064
<b>TOTAL</b>					2.978	
<b>Factor O</b>	2.686					

**COR 029 002B****Análisis 1**

Oxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8
SiO <sub>2</sub>	70.255	60.080	1.169	1.169	2.339	3.094070378
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.408	101.960	0.210	0.420	0.630	1.111115328
Na <sub>2</sub> O	3.402	62.000	0.055	0.110	0.055	0.290372504
<b>TOTAL</b>					3.023	
<b>Factor O</b>	2.646					

**Análisis 2**

Oxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8
SiO <sub>2</sub>	67.962	60.080	1.131	1.131	2.262	2.987056729
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.430	101.960	0.200	0.401	0.601	1.058219547
Na <sub>2</sub> O	10.297	62.000	0.166	0.332	0.166	0.877114444
<b>TOTAL</b>					3.030	
<b>Factor O</b>	2.641					

**Análisis 3**

Oxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8
SiO <sub>2</sub>	68.133	60.080	1.134	1.134	2.268	2.982391605
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.184	101.960	0.198	0.396	0.594	1.041224759
Na <sub>2</sub> O	11.160	62.000	0.180	0.360	0.180	0.946759302
<b>TOTAL</b>					3.042	
<b>Factor O</b>	2.630					

<b>Análisis 4</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68.599	60.080	1.142	1.142	2.284	2.979383255
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20.378	101.960	0.200	0.400	0.600	1.043038258
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11.326	62.000	0.183	0.365	0.183	0.953352205
<b>TOTAL</b>					3.066	
<b>Factor O</b>	2.609					

<b>Análisis 5</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67.043	60.080	1.116	1.116	2.232	3.0328486
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19.593	101.960	0.192	0.384	0.576	1.044547809
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	8.383	62.000	0.135	0.270	0.135	0.734962173
<b>TOTAL</b>					2.943	
<b>Factor O</b>	2.718					

<b>Análisis 6</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68.892	60.080	1.147	1.147	2.293	2.993366044
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20.165	101.960	0.198	0.396	0.593	1.032569646
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11.03	62.000	0.178	0.356	0.178	0.928826885
<b>TOTAL</b>					3.065	
<b>Factor O</b>	2.610					

<b>Análisis 7</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68.543	60.080	1.141	1.141	2.282	3.01325574
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19.949	101.960	0.196	0.391	0.587	1.033532427
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	9.934	62.000	0.160	0.320	0.160	0.846379761
<b>TOTAL</b>					3.029	
<b>Factor O</b>	2.641					

<b>Análisis 8</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68.84	60.080	1.146	1.146	2.292	2.995245977
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19.973	101.960	0.196	0.392	0.588	1.024153437
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11.225	62.000	0.181	0.362	0.181	0.94655578
<b>TOTAL</b>					3.060	
<b>Factor O</b>	2.614					

<b>Análisis 9</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67.879	60.080	1.130	1.130	2.260	2.975051375
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20.618	101.960	0.202	0.404	0.607	1.064965803
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	10.653	62.000	0.172	0.344	0.172	0.90489709
<b>TOTAL</b>					3.038	
<b>Factor O</b>	2.633					

<b>Análisis 10</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67.456	60.080	1.123	1.123	2.246	2.978495001
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20.841	101.960	0.204	0.409	0.613	1.084488465
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	9.729	62.000	0.157	0.314	0.157	0.832554599
<b>TOTAL</b>					3.016	
<b>Factor O</b>	2.653					

<b>Análisis 11</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	70.764	60.080	1.178	1.178	2.356	3.052184345
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	21.785	101.960	0.214	0.427	0.641	1.107352891
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	5.613	62.000	0.091	0.181	0.091	0.469203949
<b>TOTAL</b>					3.087	
<b>Factor O</b>	2.591					

**COR 029 02.1B**

<b>Análisis 12</b>						
<b>Oxidos principales</b>	<b>Porcentaje en peso</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Proporción molecular</b>	<b>Proporción catiónica</b>	<b># de oxígenos</b>	<b># de cationes 8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	66.958	60.080	1.114	1.114	2.229	3.064750908
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18.957	101.960	0.186	0.372	0.558	1.022568505
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	7.59	62.000	0.122	0.245	0.122	0.673290855
<b>TOTAL</b>					2.909	
<b>Factor O</b>	2.750					