

**ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO COMPARATIVO ENTRE ROCAS
CRETÁICAS DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, AFLORANTES EN DOS
SECTORES DEL CINTURÓN ESMERALDÍFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL):
QUEBRADA CHIVOR (DPTO. BOYACA) Y BUENAVISTA (DPTO. CUNDINAMARCA)**

BRIAN JAVIER CASTRO MANRIQUE

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

2008

**ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO COMPARATIVO ENTRE ROCAS
CRETÁICAS DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, AFLORANTES EN DOS
SECTORES DEL CINTURÓN ESMERALDÍFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL):
QUEBRADA CHIVOR (DPTO. BOYACA) Y BUENAVISTA (DPTO. CUNDINAMARCA)**

BRIAN JAVIER CASTRO MANRIQUE

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Geólogo**

Director:

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Geólogo Ph. D.

Codirector:

DIANA MARIA MONTOYA ARENAS

Geóloga INGEOMINAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN MINPETGEO
BUCARAMANGA**

2008

***Dedico este trabajo a
mis padres Wilson y Triny,
a mis hermanos Michi y Carlos Andres
y a mi novia Adriana, por su compañía y
apoyo incondicional durante todo
este proceso.***

AGRADECIMIENTOS

Al director de este trabajo, el profesor Luis Carlos Mantilla, por su invaluable colaboración y por darme la oportunidad de hacer parte de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander.

A INGEOMINAS por la financiación de este proyecto y a los geólogos Diana Montoya, Roberto Terraza y Jaime Mojica por su colaboración.

A todos los integrantes del grupo de investigación MINPETGEO, en especial a Alejandro Silva, John Serrano y Jenny Gaviria.

A mis compañeros tesisistas Cesar Tarazona, Marcela Ortigón y Natalia Silva.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1. OBJETIVOS	5
1.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2. METODOLOGÍA	7
2.1 FASE PRE-CAMPO	7
2.2 FASE DE CAMPO	7
2.3 FASE DE LABORATORIO	8
2.3.1 Microscopía óptica	9
2.3.2 Difracción de Rayos X.	10
2.3.3 Microtermometría de inclusiones fluidas (IF)	12
2.3.4 Geoquímica isotópica	13
2.3.5 Microscopía electrónica (SEM)	14
2.4 FASE DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	15
3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	16
3.1 LOCALIZACIÓN	16
3.2 GEOMORFOLOGÍA	16
3.3 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA	17
4. ANTECEDENTES	20
4.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
4.1.1 Formación calizas del guavio	21

4.2	MODELOS DE GÉNESIS DE LAS ESMERALDAS EN EL CEOR (CORDILLERA ORIENTAL).	27
5.	RESULTADOS	32
5.1	RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	32
5.1.1	Rasgos geológicos generales del sector 'Quebrada Chivor'	33
5.1.2	Rasgos geológicos generales del sector de 'Buenavista'	41
5.2	PETROGRAFÍA	46
5.2.1	Petrografía del sector 'Quebrada Chivor'	46
5.2.2	Petrografía del sector 'Buenavista'	50
5.3	ESTUDIO MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	54
5.3.1	Consideraciones previas	54
5.3.2	Análisis de DRX en muestras del sector 'Quebrada Chivor'	56
5.3.3	Análisis de DRX en muestras del sector 'Buenavista'	59
5.4	GEOQUÍMICA ISOTÓPICA	60
5.4.1	Consideraciones previas	60
5.4.1	Datos de composición isotópica de C, O y S	65
5.4.2	Determinación de la composición isotópica del H ₂ O, CO ₂ y H ₂ S	67
5.5	ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF)	76
5.5.1	Consideraciones previas	77
5.5.2	Petrografía de IF	84
5.5.3	Microtermometría de inclusiones fluidas	87
5.5.4	Datos físico-químicos de inclusiones fluidas	89
5.6	ANÁLISIS DE QUÍMICA MINERAL	91
5.6.1	Consideraciones previas	92
5.6.2	Datos obtenidos en plagioclasas	94
5.6.3	Datos obtenidos y clasificación de carbonatos	98
6.	CONCLUSIONES	104
7.	RECOMENDACIONES	108
8.	BIBLIOGRAFÍA	109
	ANEXOS	112

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Aspecto de la lupa estereoscópica *Stemi DV4, Carl Zeiss Jena*. Laboratorio de Arcillas, Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS) 9
- Figura 2. Microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica DS-L1. Laboratorio de Microscopía Óptica. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS) 10
- Figura 3. Aspecto del difractor utilizado en el presente estudio, marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB. Laboratorio de Difracción de Rayos X. Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander (UIS). 11
- Figura 4. Platina de calentamiento-enfriamiento TH600 marca LINKAM adaptada a un microscopio óptico de luz transmitida, marca Nikon Elipse 50i. Escuela de Geología. Sede Guatiguará, UIS. 13
- Figura 5. Láser para Análisis de Sulfuros. Área de Espectrómetros del Servicio General de Isótopos Estables, Universidad de Salamanca. 15
- Figura 6. Mapa político, en el cual se indica la localización general del área seleccionada para el presente estudio. 17
- Figura 7. Imagen satelital, en la cual se indica la localización de los dos sectores objetos del presente estudio, además de la localización de las poblaciones de Chivor y Ubalá y el límite entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. 18
- Figura 8. Mapa vial donde se resalta la vía que comunica la ciudad de Bogotá con el área de estudio. 19

- Figura 9. Esquema geológico del Cinturón Esmeraldífero Oriental de la Cordillera Oriental de Colombia, en el cual se resalta la localización de los dos sectores objetos de este estudio ('Quebrada Chivor' y 'Buenavista'). 21
- Figura 10. Esquema geológico del área de estudio, en el cual se indican las diferentes manifestaciones minerales asociadas a la Formación 'Calizas del Guavio'. 27
- Figura 11. Esquema geológico del Cinturón Esmeraldífero Oriental basado en datos preliminares e inéditos del levantamiento cartográfico que actualmente lleva a cabo INGEOMINAS. En el esquema se resalta la ubicación geológica de los dos sectores objetos de este estudio ('Quebrada Chivor' y 'Buenavista'). 32
- Figura 12. Mapa hidrológico del sector de Chivor, donde se aprecia la ubicación detallada de la Quebrada Chivor, sector sobre el cual se hace este estudio. 33
- Figura 13. Esquema de la Quebrada Chivor con la localización de las muestras tomadas. Se encuentran resaltadas las muestras a las que se les realizó estudio petrográfico. 34
- Figura 14. a y b: Aspecto de la litología perteneciente a la Zona I, compuesta fundamentalmente de lodolitas calcáreas de color negra a gris oscura. 35
- Figura 15. a y b: Aspecto de las rocas incluidas dentro de la zona II, las cuales se caracterizan por haber sufrido una importante deformación, al parecer bajo condiciones dúctiles, considerando la presencia en estas, de estructuras indicadores de fenómenos de flujo. 36
- Figura 16. En las fotografías a y b se observa el marcado replegamiento y las estructuras evaporíticas que caracterizan a la litología de la Zona II. 37
- Figura 17. a y b: Fotografías donde se observa las disposición y morfología de dos de los niveles brechificados que se encuentran en la Zona II. 38
- Figura 18. Fotografía que muestra la brecha característica de la Zona III. 39

- Figura 19. Fotografía panorámica para ilustrar el tamaño y la disposición de la brecha característica de la Zona III. 39
- Figura 20. Distribución esquemática de las diferentes zonas, identificadas en el tramo estudiado de la Quebrada Chivor con base en rasgos geológicos, tales como fabrica y composición, entre otros. 40
- Figura 21. Esquema de la situación estructural de la sección de la Quebrada Chivor. Cabe anotar que la transición de una zona a otra no es tan marcada como se ve en el esquema, de hecho las zonas de transición llegan a medir algunos metros. 41
- Figura 22. Fotografía panorámica donde se distinguen y resaltan las Zonas I y II, identificadas en el afloramiento del sector de Buenavista. 42
- Figura 23. Esquema en donde se muestra con imágenes ampliadas, el contacto entre la Zona I y II. Se puede observar en la imagen de la ampliación, la presencia de venas de calcita, confinadas al contacto entre las zonas. 43
- Figura 24. a. Fotografía donde se aprecia una vena de calcita en la Zona I. Esta vena se presenta cortando la estratificación y en la imagen se puede ver que su espesor es considerable. b. Fotografía donde se aprecia, más de cerca una vena de calcita en la Zona I. Aquí se puede ver su espesor de aproximadamente 10cm y la presencia de pirita en ella. c. Aspecto de una vena de calcita en la Zona I. Esta vena de calcita tiene una dirección de $34^\circ / 65^\circ$ y se encuentra cortando casi perpendicularmente la estratificación. 44
- Figura 25. Aspecto de la brechificación (con alto contenido de albita y carbonatos) relacionada con la Zona II. 45
- Figura 26. Microfotografía de la sección COR022002 en nicoles cruzados, correspondiente a una vena de la Zona I, donde se aprecia el gran tamaño de los cristales de calcita y su contacto con cristales de pirita. 47

Figura 27. Microfotografías en nicoles cruzados, de tres secciones correspondientes a la Zona II, en donde se aprecia la laminación interna de la roca debida a una variación composicional (niveles con una mayor cantidad de albita o pirita). a. Muestra COR 022 011, wackestone carbonoso con una vena de calcita y pirita que corta la laminación interna. b. Muestra COR 022 014, wackestone con una vena de calcita que corta la laminación interna. c. Muestra COR 022 009, wackestone con una vena de calcita paralela a la laminación. 48

Figura 28. Microfotografía de la sección COR 022 006 en nicoles paralelos, correspondiente a una brecha de la Zona II, en donde se resaltan los clastos redondeados compuestos de fragmentos de roca, aun reconocibles dentro de una matriz de esparita. 49

Figura 29. Microfotografía de la sección COR 028 002 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena emplazada paralelamente a la laminación de la roca y en ella se observa la aparición de cristales de Albita sobre el borde de la vena y Calcita en su interior. 51

Figura 30. Microfotografía de la sección COR 028 003 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena de Calcita fibrosa y parte de su roca caja con un alto contenido de materia orgánica 51

Figura 31. Microfotografía de la sección COR 028 008 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena de calcita en agregado fibroso muy fino y parte de su roca caja con un alto contenido de materia orgánica. 52

Figura 32. Microfotografía de la sección COR 028 006 en nicoles cruzados, correspondiente a una brecha de la Zona II. Se aprecian los cristales de Calcita y Dolomita que cementan la brecha. 53

Figura 33. Difracción de Rayos X. 55

- Figura 34. Esquema de la quebrada Chivor n donde se resaltan, con color rojo, las muestras analizadas por Difracción de Rayos X. 57
- Figura 35. Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico del Oxígeno y el H en el ciclo hidrológico. 64
- Figura 36. Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ vs. $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$. 67
- Figura 37. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 009 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 68
- Figura 38. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista. 69
- Figura 39. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 69
- Figura 40. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 70
- Figura 41. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO_2 , según variación de la temperatura, muestra COR 028 009 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 71
- Figura 42. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO_2 , según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita y pirita de la Zona I del sector de Buenavista. 71

Figura 43. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 72

Figura 44. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 003 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista. 72

Figura 45. Fraccionamiento isotópico de pirita en equilibrio isotópico con H₂S, según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita y pirita de la Zona I del sector de Buenavista. 75

Figura 46. Fraccionamiento isotópico de pirita en equilibrio isotópico con H₂S, según variación de la temperatura, muestra COR 028 003 perteneciente a un lente de pirita en un mudstone carbonoso de la Zona I del sector de Buenavista. 75

Figura 47. Representación esquemática mostrando la formación de inclusiones primarias, secundarias y pseudosecundarias durante el crecimiento de un cristal. 78

Figura 48. Clasificación morfológica de IF. 79

Figura 49. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente L = Líquido. V = Vapor. 82

Figura 50. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral. 83

Figura 51. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas secundarias bifásicas encontradas en la muestra COR 022 002, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de la Quebrada Chivor. 85

Figura 52. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas primarias polifásicas encontradas en la muestra COR 028 003, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista. 86

Figura 53. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas secundarias polifásicas encontradas en la muestra COR 028 003, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista. 86

Figura 54. Gráfica de la isócora de las inclusiones fluidas bifásicas de la muestra COR 022 002, que corresponde a una vena de calcita de la Zona I del sector Quebrada Chivor. 90

Figura 55. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una plagioclasa. 95

Figura 56. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 6 sobre una plagioclasa. 95

Figura 57. Microfotografía de la muestra COR 028 009, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una plagioclasa. 96

Figura 58. Microfotografía de la muestra COR 028 001, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una plagioclasa. 97

Figura 59. Microfotografía de la muestra COR 028 002, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 2 y 3 sobre plagioclasas. 97

Figura 60. Microfotografía de la muestra COR 028 011, perteneciente a la Zona II del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 1 y 2 sobre plagioclasas. 98

Figura 61. Microfotografía de la muestra COR 022 003, perteneciente a la Zona I del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación de los análisis 3 y 4 sobre carbonatos (calcita y dolomita respectivamente). 99

Figura 62. Microfotografía de la muestra COR 022 011, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 3 sobre una calcita. 100

Figura 63. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación de los análisis 3, 4 y 5 sobre carbonatos (calcita, dolomita y calcita respectivamente). 100

Figura 64. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 7 sobre una calcita. 101

Figura 65. Microfotografía de la muestra COR 028 011, perteneciente a la Zona II del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 3 y 4 sobre carbonatos (calcita y dolomita respectivamente). 102

Figura 66. Microfotografía de la muestra COR 028 001, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una calcita. 102

Figura 67. Microfotografía de la muestra COR 028 002, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una calcita. 103

Figura 68. Microfotografía de la muestra COR 028 009, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una calcita. 103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de medición de muestras en polvo desorientado.	12
Tabla 2. Resultados de los análisis cualitativos y semi cuantitativos de DRX realizados en las muestras recolectadas en la Quebrada Chivor. En diferentes colores se resaltan los resultados de las 3 zonas diferenciadas anteriormente (Verde para la zona I, azul para la zona II y gris para la zona III).	58
Tabla 3. Resultados de los análisis cualitativos y semi cuantitativos de DRX realizados en muestras del sector Buenavista. Se encuentra también la interpretación semicuantitativa realizada en base a los difractogramas. Se resaltan con diferentes colores los resultados de las muestras de las 2 zonas diferenciadas anteriormente (Verde para la zona I y amarillo para la zona II)	59
Tabla 4. Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas.	61
Tabla 5. Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables.	63
Tabla 6. Muestras analizadas con su respectiva composición isotópica.	66
Tabla 7. Resultados de la composición isotópica $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ del los carbonatos en equilibrio con el agua (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.	73
Tabla 8. Resultados de la composición isotópica $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ del los carbonatos en equilibrio con el CO_2 (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.	73
Tabla 9. Resultados de la composición isotópica $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ del los carbonatos en equilibrio con el H_2S (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.	74

Tabla 10. Tabla con los resultados de la petrografía de inclusiones fluidas.	84
Tabla 11. Tabla con los datos de microtermometría realizada en las muestras COR 028 003 y COR 022 002. T _{pfl} = Temperatura de la primera fusión detectable del liquido, T _{fc} = Temperatura de fusión del clatrate, T _{fhh} = Temperatura de fusión final de la hidrohalita, T _{ffi} = Temperatura de fusión final del hielo, T _{hh} = Temperatura de homogenización de la halita, T _{h-L} = temperatura de homogenización a liquido, T _d = Temperatura de decrepitación.	88
Tabla 12. Tabla donde se consignan los datos arrojados por la gráfica de la isócrona de la muestra COR 022 002, que corresponde a una vena de calcita de la Zona I del sector Quebrada Chivor.	90
Tabla 13. Características del Microscopio Electrónico de Barrido usado en los análisis, marca LEO 1450 VP.	93
Tabla 14. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en plagioclasas en las muestras del sector de la Quebrada Chivor.	94
Tabla 15. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes plagioclasas en las muestras del sector Buenavista.	98
Tabla 16. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en carbonatos del sector de la Quebrada Chivor.	99
Tabla 17. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en carbonatos del sector de Buenavista.	101

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO COMPARATIVO ENTRE ROCAS CRETÁICAS DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, AFLORANTES EN DOS SECTORES DEL CINTURÓN ESMERALDÍFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL): QUEBRADA CHIVOR (DPTO. BOYACA) Y BUENAVISTA (DPTO. CUNDINAMARCA)*.

AUTOR: Brian Javier Castro Manrique **

PALABRAS CLAVES: Esmeralda, petrografía, inclusiones fluidas, hidrotermal, Quebrada Chivor, Buenavista.

DESCRIPCIÓN:

Las áreas objeto del presente estudio se localizan en dos sectores del Cinturón Esmeraldífero Oriental (CEOR) de la Cordillera Oriental Colombiana: Quebrada Chivor (Municipio Chivor, Boyacá) y Buenavista (Municipio Ubalá, Cundinamarca), donde afloran rocas de la formación Calizas del Guavio, considerada como una importante unidad hospedadora de yacimientos de esmeraldas.

Los análisis macroscópicos, petrográficos y de DRX, permitieron identificar en el sector de la Quebrada Chivor, tres zonas: **Zona I**, lodolita calcárea gris oscura a negra; **Zona II**, lodolita gris clara a blanca, algo calcárea con estructuras evaporíticas relícticas y niveles de brecha y; **Zona III**, importante nivel de brecha, cuyos fragmentos presentan carbonatación. En el sector de Buenavista se identificaron dos zonas: **Zona I**, lodolitas calcáreas negras a gris oscuro, con pirita y profusión de venas hidrotermales y; **Zona II**, brechas de arcillolita gris clara albitizada (estructuras evaporíticas relícticas ocasionales) y con una matriz igualmente rica en albita.

En ambos sectores, se identificó la presencia de albita de un tamaño muy fino, la cual parece reemplazar antiguas litologías evaporíticas. Sin embargo, los materiales de relleno de venas son diferentes en ambos sectores: En la Quebrada Chivor, estos se componen fundamentalmente de calcita y sulfuros, mientras que en Buenavista, existen adicionalmente venas de albita-dolomita-calcita-sulfuros.

Los estudios de Inclusiones Fluidas (IF) en materiales de relleno de venas, permitieron establecer otra importante diferencia: En el sector de la Q. Chivor, las IF (secundarias) son fundamentalmente de tipo acuoso salinos (sin sólidos), mientras que las del sector de Buenavista (Primarias y secundarias), son de tipo acuoso salino carbónicas (con sólidos de halita).

Considerando que la presencia de brechas con albitización y de venas hidrotermales con albita-dolomita-sulfuros, se asocian a procesos hidrotermales generadores de esmeraldas, se recomienda considerar al sector de Buenavista, como un sector con potencial esmeraldífero, actualmente desaprovechado.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Geólogo Ph.D. Luis Carlos Mantilla Figueroa, Director.

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGIC AND PETROGRAPHIC COMPARATIVE STUDY BETWEEN CRETACIC ROCKS OF THE 'CALIZAS DEL GUAVIO' FORMATION, OUTCROPPING IN TWO SECTORS OF THE EASTERN EMERALD BELT (EASTERN CORDILLERA): 'QUEBRADA CHIVOR' (BOYACÁ) AND 'BUENAVISTA' (CUNDIAMARCA)*.

AUTHOR: Brian Javier Castro Manrique **

KEY WORDS: Emerald, petrography, fluid inclusions, hydrothermal, *Quebrada Chivor*, *Buenavista*.

DESCRIPTION:

The areas object of the present study, are localized in two different sectors of the Eastern Emerald Belt (CEOR) of the Colombian Eastern Cordillera: '*Quebrada Chivor*' (Municipality of *Chivor*, *Boyacá*) and '*Buenavista*' (Municipality of *Ubalá*, *Cundinamarca*) where outcrops rocks of the '*Calizas del Guavio*' formation, which is considered as an important host unit of emerald deposits.

The macroscopic, petrographic and X-Ray diffraction analyses, identified in the '*Quebrada Chivor*' sector, three different zones: **Zone I**, dark gray to black calcareous mudstone; **Zone II**, light gray to white mudstone with relictic evaporitic structures and breccia levels and; **Zone III**, important breccia level with fragments that show carbonatization. In the other hand, in the '*Buenavista*' sector were identified two zones: **Zone I**, dark gray to black calcareous mudstone, with pyrite and hydrothermal veins and; **Zone II**, formed by breccia composed of fragments of an albitized light gray claystone (occasional relictic evaporite structures) in an equally rich in albite matrix.

In both sectors were identified the presence of a very fine sized albite, which appears to replace old evaporitic lithologies. However, the filling materials of veins in both sectors are different: In '*Quebrada Chivor*', these are composed mainly of calcite and sulphides, and in '*Buenavista*' there are additionally veins of albite-dolomite-calcite-sulphides.

The fluid inclusions (FI) studies in filling materials of veins, allowed to establish another important difference between the two studied sectors: in the '*Quebrada Chivor*' sector, the FI (secondary) are mainly of saline aqueous type (without solids), while in the '*Buenavista*' sector the FI (primary and secondary) are of carbonic saline aqueous type (with halite solids).

Considering that the presence of breccia with albitization and hydrothermal veins with albite-dolomite-sulphides, are related to hydrothermal emerald generating processes, is recommended to consider the '*Buenavista*' sector as one with emerald deposit potential, currently untapped.

* Thesis

** Engineering Physical – Chemistry Faculty, Geology School, Geologist Ph.D. Luis Carlos Mantilla Figueroa, Director.

INTRODUCCIÓN

Las áreas objeto del presente estudio, se localizan en dos diferentes sectores del cinturón esmeraldífero oriental (CEOR) de la Cordillera Oriental de Colombia: Quebrada Chivor (Municipio Chivor, Boyacá) y Buenavista (Municipio Ubalá, Cundinamarca).

Las rocas objeto de estudio, hacen parte de la formación 'Calizas del Guavio' (nombre dado por Ulloa y Rodríguez, 1979). Estudios geológicos recientes (con fines de re-levantamiento cartográfico-geológico) elaborados por INGEOMINAS (2008), apoyados en el contenido fósil, separan al interior de la Formación 'Calizas del Guavio', dos unidades de edad Berriasiano (Cretácico Inferior): una siliciclástica y una secuencia de origen evaporítico.

Considerando que esta unidad estratigráfica es hospedadora de importantes yacimientos de esmeraldas en el área del cinturón esmeraldífero oriental (por ejemplo: en el distrito esmeraldífero de Chivor, Boyacá), se decidió estudiar desde el punto de vista mineralógico-petrográfico, solo la secuencia evaporítica de la Formación Calizas del Guavio (por ser la que hospeda fundamentalmente la mineralización esmeraldífera), aflorantes en dos diferentes sectores del área del CEOR: Quebrada Chivor y Buenavista, tal como se mencionó anteriormente.

La selección de los dos sectores mencionados con fines comparativos, se realizó fundamentalmente teniendo en cuenta que ambos sectores hacen parte de la misma secuencia evaporítica de edad Berriasiano, pero que macroscópicamente parecían mostrar importantes diferencias, en términos del contenido de sus manifestaciones hidrotermales, entre otros rasgos. Por esta razón, se decidió realizar el estudio mencionado, para de esta manera poder igualmente establecer

diferencias y similitudes, relacionadas con la evolución termal e hidrotermal de ésta secuencia evaporítica en los dos sectores de estudio.

Finalmente, es importante resaltar que este estudio hace parte de un proyecto (macroproyecto) de investigación titulado “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”, el cual se desarrolla en el marco de un convenio de cooperación científica entre el INGEOMINAS y la UIS. Por esta razón, los resultados derivados del presente estudio, son igualmente un aporte a los objetivos del macroproyecto mencionado, en el cual se desarrollan paralelamente otras tesis de pregrado ‘Modalidad Investigación’, en donde también se estudian parcial o totalmente rocas de la Formación Calizas del Guavio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio mineralógico y petrográfico comparativo entre rocas Cretácicas de la Formación 'Calizas del Guavio', aflorantes en dos sectores (Quebrada Chivor y Buenavista) del área del cinturón esmeraldífero oriental (cordillera oriental, Colombia)

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Llevar a cabo una revisión bibliográfica de la información geológica existente sobre el área de estudio en general, con un particular énfasis en la geología de la Formación Calizas del Guavio.
- Realizar una salida de campo al área de estudio, con el objetivo de muestrear y documentar la geología de los sectores 'Quebrada Chivor' (Municipio de Chivor, Boyacá) y 'Buenavista' (Municipio de Ubalá, Cundinamarca).
- Describir macroscopicamente las muestras recolectadas en campo.
- Realizar un estudio mineralógico y petrográfico en 16 muestras específicas del total de las recolectadas en campo, en aras de establecer las especies minerales allí presentes y sus características petrográficas.
- Hacer análisis de difracción de rayos X (DRX) en las muestras recolectadas en campo para apoyar la identificación mineralógica de sus componentes y

establecer una posible zonalidad mineralógica asociada a las áreas con evidencias de alteración hidrotermal.

- Realizar análisis petrográficos y microtermométricos en inclusiones fluidas presentes en los materiales de relleno de venas, para identificar los diferentes pulsos paleohidrotermales que han afectado las rocas en los sectores de estudio y poder establecer sus características físico-químicas.
- Llevar a cabo análisis por medio de geoquímica isotópica (isótopos estables de Carbono, Oxígeno y Azufre) en carbonatos y sulfuros presentes a manera de relleno de venas, con el fin de establecer la fuente de los paleofluidos.
- Establecer a la luz de los nuevos datos, un modelo de evolución termal y paleohidrotermal para los sectores estudiados y su relación con el evento generador de esmeraldas.
- Comparar los dos sectores objeto de estudio, en términos de su composición mineralógica y su madurez termal e historia paleohidrotermal. Estas últimas, definidas previamente mediante estudios de inclusiones fluidas y paragénesis mineral.

2. METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos anteriormente planteados se estructuró una metodología que consistió de 4 fases, Pre-campo, Campo, Laboratorio e Interpretación de Resultados y Edición del informe final.

A continuación se describen con más detalle las actividades de las que consta cada una de estas fases anteriormente nombradas.

2.1 FASE PRE-CAMPO

En esta fase inicial, se compiló y analizó la bibliografía existente sobre la geología del área de estudio (mapas geológicos, informes, etc.) y se generó un archivo con información relacionada con las técnicas analíticas que se utilizarían en el presente estudio. Asimismo, durante el desarrollo de ésta fase, se generó un espacio de debate, en el cual se discutieron aspectos geológicos del área de estudio, entre el personal técnico del INGEOMINAS (quienes elaboraron el relevamiento cartográfico-geológico del área de estudio) y los integrantes del proyecto por parte de la UIS.

2.2 FASE DE CAMPO

Durante esta fase, inicialmente se realizaron recorridos por diferentes sectores del cinturón esmeraldífero oriental, en aras de reconocer las unidades estratigráficas y las estructuras más importantes del área de estudio. Posteriormente, se realizó un muestreo de los sectores concretos objetos del presente estudio, en donde

además se tomaron fotografías de afloramientos y panorámicas y se georeferenciaron las estaciones documentadas. Estos trabajos se campo, se apoyaron en la cartografía geológica a escala 1:100.000 (inérita) del INGEOMINAS (2008).

El sector de la Quebrada Chivor documentado, consta de una sección de la Formación Calizas del Guavio, aflorante a lo largo de unos 120 metros de recorrido. Por otro lado, la sección aflorante en el sector de Buenavista, pertenece igualmente a rocas de la misma formación, las cuales afloran en un área en la cual se desarrollaron antiguos trabajos mineros a cielo abierto, y donde evidentemente existe una buena exposición en superficie (Figura 1), razón por la cual se decidió incluirla en el estudio mencionado.

2.3 FASE DE LABORATORIO

En esta fase se llevaron a cabo los siguientes estudios:

- Una descripción macroscópica de las muestras de mano para análisis mineralógico, escogiendo las muestras de interés para la realización de estudios petrográficos y geoquímicos.
- Realización de 16 láminas delgadas pulidas para estudios petrográficos en el laboratorio de pulidos de la escuela de Geología (UIS).
- Realización de 5 secciones delgadas doblemente pulidas para análisis de inclusiones fluidas
- Trituración de muestras para estudios por Difracción de Rayos X.
- Muestreo y separación de cristales presentes en venas y roca, para la realización de un estudio de geoquímica isotópica.
- Estudio microscópico petrográfico para la caracterización y descripción de las muestras para su posterior comparación.

A continuación se presenta una descripción detallada de los análisis realizados, los procedimientos seguidos y los equipos utilizados.

2.3.1 Microscopía óptica

Inicialmente se realizó un estudio macroscópico de las muestras de mano recolectadas en campo, con el propósito fundamental de describir sus rasgos composicionales, estructurales y texturales. Para tal fin, se utilizó una lupa estereoscópica marca Stemi DV4, Carl Zeiss Jena (Figura 1) la cual hace parte del Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Figura 1. Aspecto de la lupa estereoscópica *Stemi DV4*, *Carl Zeiss Jena*. Laboratorio de Arcillas, Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS)



Los análisis petrográficos fueron realizados con ayuda de un microscopio de luz transmitida marca *Nikon Eclipse-50i*, incorporado con una cámara digital *DS-L1*, (Figura 2) localizado en el laboratorio de Microscopía Óptica de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 2. Microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica DS-L1. Laboratorio de Microscopía Óptica. Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS)



2.3.2 Difracción de Rayos X.

La preparación de muestras para análisis de difracción de rayos x (DRX), se realizo en las instalaciones del Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

La preparación de las muestras consistió en tres pasos, secado, triturado y pulverizado.

Inicialmente se tomaron alrededor de 30 gr de muestra y se dejaron en un horno para eliminar la mayor cantidad de humedad posible. A continuación se trituró cada muestra con la ayuda de un mortero, hasta alcanzar un tamaño lo suficientemente pequeño para poder ser introducida al pulverizador.

Finalmente la muestra se pasó por el pulverizador marca *RETSCH* modelo RM100, donde el tamaño de grano fue reducido al tamaño óptimo para la realización del análisis.

Las muestras de roca pulverizadas fueron analizadas en un difractómetro marca *RIGAKU* modelo *D/MAX IIIB* (Figura 3), localizado en las instalaciones de la escuela de Química de la Universidad industrial de Santander. Estos análisis fueron desarrollados sobre muestras de polvo desorientado. El espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un porta muestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral.

Figura 3. Aspecto del difractómetro utilizado en el presente estudio, marca *RIGAKU* modelo *D/MAX IIIB*. Laboratorio de Difracción de Rayos X. Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander (UIS).



En este laboratorio se realizó un análisis cualitativo de las fases minerales presentes en la muestra, mediante la comparación del perfil observado en el difractograma resultante, con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD). Las condiciones bajo las cuales se realizó la toma de datos de difracción se indican en la Tabla 1.

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

CONDICIONES DEL EQUIPO	
Voltage	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	CuKα1
Monocromador	Grafito
IDENTIFICACION DE FASES	
Tipo de barrido	continuo
Velocidad de Barrido	1.2° / min.

Finalmente, los resultados de los análisis de DRX fueron analizados para calcular de manera semicuantitativa, las diferentes especies minerales. En total se analizaron 22 muestras.

2.3.3 Microtermometría de inclusiones fluidas (IF)

La preparación de las muestras para este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Pulidos de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander y

la metodología para su realización es la misma que para la preparación de secciones delgadas, con la diferencia que preferiblemente estas no sean calentadas a temperaturas superiores a los 80°C, ya que esto podría generar la decrepitación de IF con temperaturas de atrapamiento muy bajas. El espesor de las láminas utilizadas fue de aproximadamente unas 100µm (a diferencia de las 30 µm de espesor utilizadas en estudios petrográficos convencionales).

Los análisis microtermométricos en IF, se realizaron utilizando una *Platina* TH600-LINKAM, adaptada a un microscopio óptico de luz transmitida, marca Nikon Elipse 50i (Figura 4).

Figura 4. Platina de calentamiento-enfriamiento TH600 marca LINKAM adaptada a un microscopio óptico de luz transmitida, marca Nikon Elipse 50i. Escuela de Geología. Sede Guatiguará, UIS.



2.3.4 Geoquímica isotópica

Para la realización de estos análisis, se separaron fracciones monominerales de calcitas, dolomitas y piritas, presentes en venas hidrotermales y rocas. Las

muestras fueron sometidas a varios lavados mediante ultrasonido, en un equipo marca *ELMA* modelo T460/H, para así eliminar cualquier impureza que pudiera interferir de manera negativa en el proceso de análisis. Con éste mismo propósito, se realizaron inspecciones detalladas de las fracciones monominerales separadas, utilizando una lupa binocular, de las mismas características mencionadas en el apartado 'microscopía óptica'. Todo este proceso, se llevo a cabo en el laboratorio de Arcillas de la escuela de Geología de la UIS.

Los análisis de estas muestras, se realizaron en el laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca (España). Los detalles relacionados con el procedimiento de preparación y análisis de las muestras, se documentan en la web del laboratorio: <http://usal.es/~isotopos/>

Para el análisis de las muestras seleccionadas, se utilizaron entre otros equipos, una línea con trampas criogénicas (especialmente para análisis de carbonatos) y un sistema *Laser Ablation* (especialmente para sulfuros - Ver Figura 5). Las especificaciones de las herramientas analíticas utilizadas en el laboratorio de isótopos estables de la universidad de Salamanca, se mencionan igualmente en la página web anteriormente mencionada.

2.3.5 Microscopía electrónica (SEM)

Los análisis de química mineral (semicuantitativos) fueron realizados en el laboratorio de Microscopía electrónica del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP). Para tal fin, se utilizó un microscopio electrónico LEO 1450VP.

Las muestras utilizadas para estos análisis, fueron pulidas nuevamente para eliminar impurezas en su superficie y se recubrieron con grafito. Este proceso, se realizó igualmente en el laboratorio de microscopía electrónica del ICP, utilizando un equipo tipo *Sputter Coater* (recubridor), marca *Edwards* S150B.

Figura 5. Láser para Análisis de Sulfuros. Área de Espectrómetros del Servicio General de Isótopos Estables, Universidad de Salamanca.



Tomado de <http://www.usal.es/~isotopos/>

2.4 FASE DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL

Durante esta fase, se realizó la interpretación de los datos analíticos obtenidos y se relacionaron con las observaciones y datos de campo. Posteriormente, se llevó a cabo la elaboración del informe final.

3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

El municipio de Chivor se encuentra ubicado al sur occidente del departamento de Boyacá, en límites con el departamento de Cundinamarca. El municipio de Ubalá se encuentra al norte del departamento de Cundinamarca, en los límites con el departamento de Boyacá (Ver Figura 6). Las áreas de estudio ('Quebrada Chivor' y 'Buenavista'), se encuentran en cercanías de los municipios de Chivor y Ubalá, respectivamente.

Según el procedimiento de muestreo utilizado en campo, el sector 'Quebrada Chivor', se relaciona con la nomenclatura COR-022 y el sector 'Buenavista' con la nomenclatura COR-028 (Figura 7).

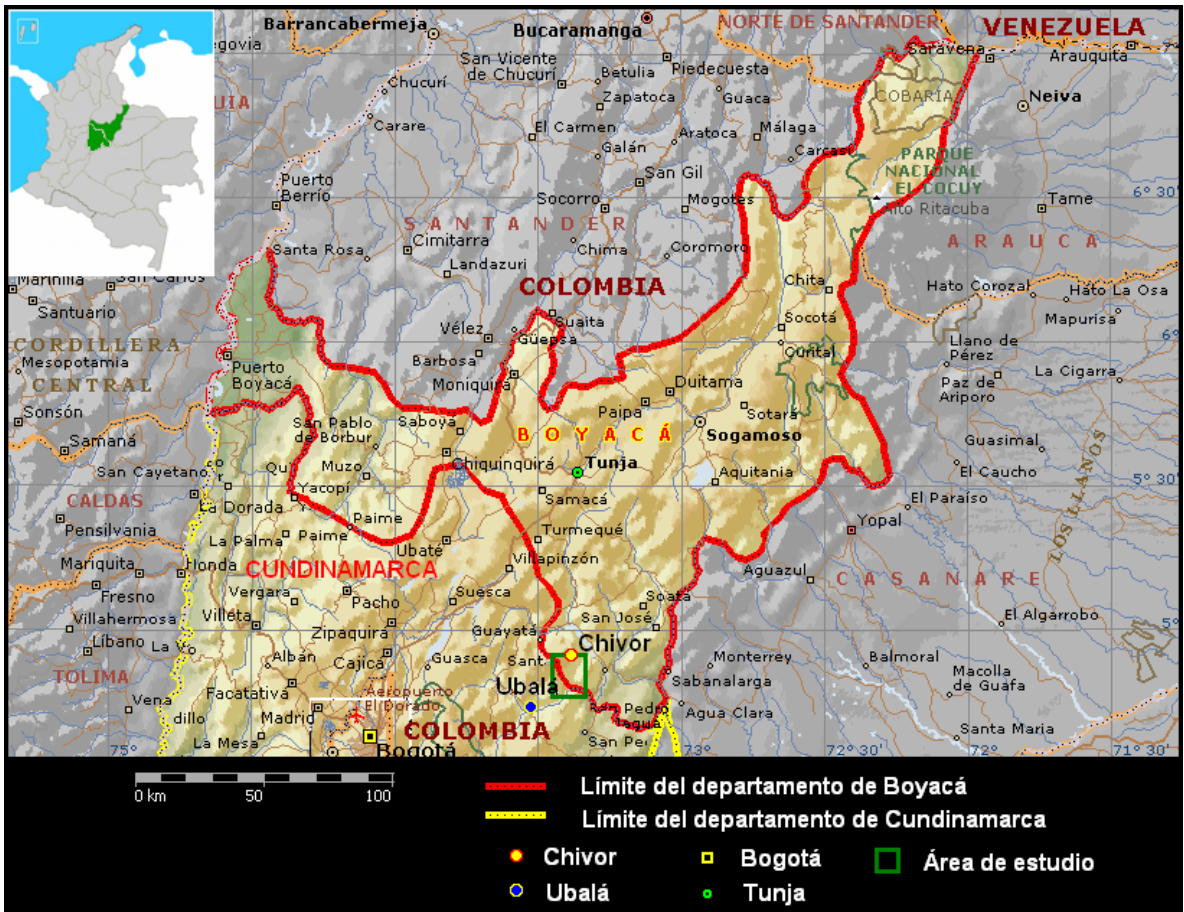
La sección de la Quebrada Chivor se inició en las coordenadas $X=1080369$, $Y=1032915$ y finalizó en las coordenadas $X=1080238$, $Y=1032912$.

Las coordenadas del afloramiento que se encuentra en el sector de Buenavista, donde se realizó el muestreo para este estudio son $X=1075402$, $Y=1025953$.

3.2 GEOMORFOLOGÍA

Esta zona se encuentra en el piedemonte de la cordillera oriental, lo que marca una tendencia topográfica montañosa y relieve moderado a fuerte. El drenaje característico de la zona es subparalelo y subdendrítico de densidad media y se muestra el desarrollo de valles juveniles.

Figura 6. Mapa político, en el cual se indica la localización general del área seleccionada para el presente estudio.



Modificado de Microsoft Encarta (2007).

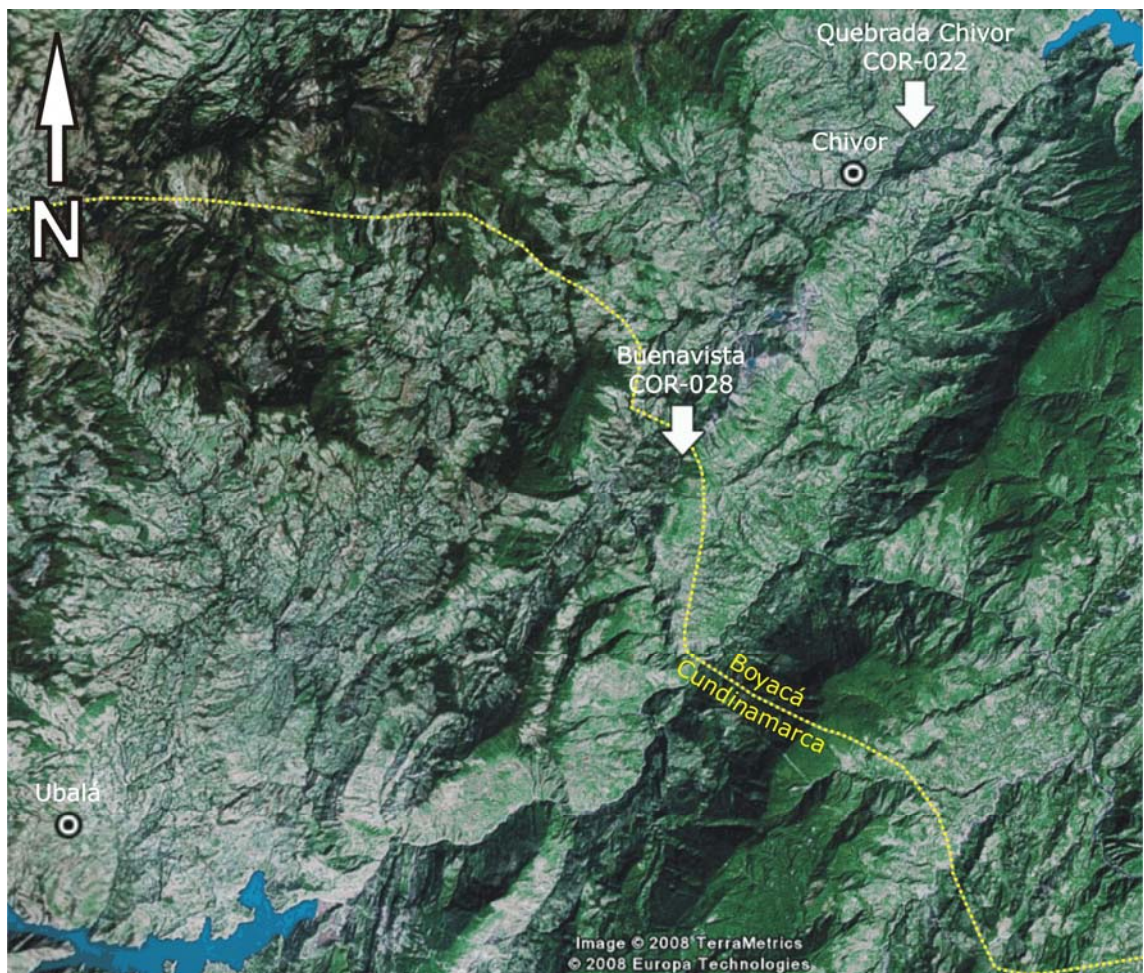
3.3 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA

Existe una buena red vial en el área de estudio, la cual comunica entre sí, a los municipios de Chivor, Macanal, Almeida, Somondoco y Guateque, en Boyacá y Gachalá y Ubalá, en Cundinamarca.

Para acceder al área de estudio, se sale de la ciudad de Bogotá, utilizando la vía conocida como la *Carretera alterna al llano* (tomando la vía que sale de Bogotá en dirección al Norte) y a la altura de la presa del Sisga, se toma la vía que conduce

al municipio de Guateque. Desde este municipio se toma una carretera destapada que conduce al Municipio de Chivor, y desde allí se sigue por una carretera destapada que comunica éste poblado con el municipio de Ubalá (Cundinamarca), pasando previamente por le sector conocido como Buenavista (Figura 8).

Figura 7. Imagen satelital, en la cual se indica la localización de los dos sectores objetos del presente estudio, además de la localización de las poblaciones de Chivor y Ubalá y el límite entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.



Modificado de *Google Earth* (2008).

Figura 8. Mapa vial donde se resalta la vía que comunica la ciudad de Bogotá con el área de estudio.



Modificado de Mapa Físico-Político del Departamento de Boyacá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2003).

4. ANTECEDENTES

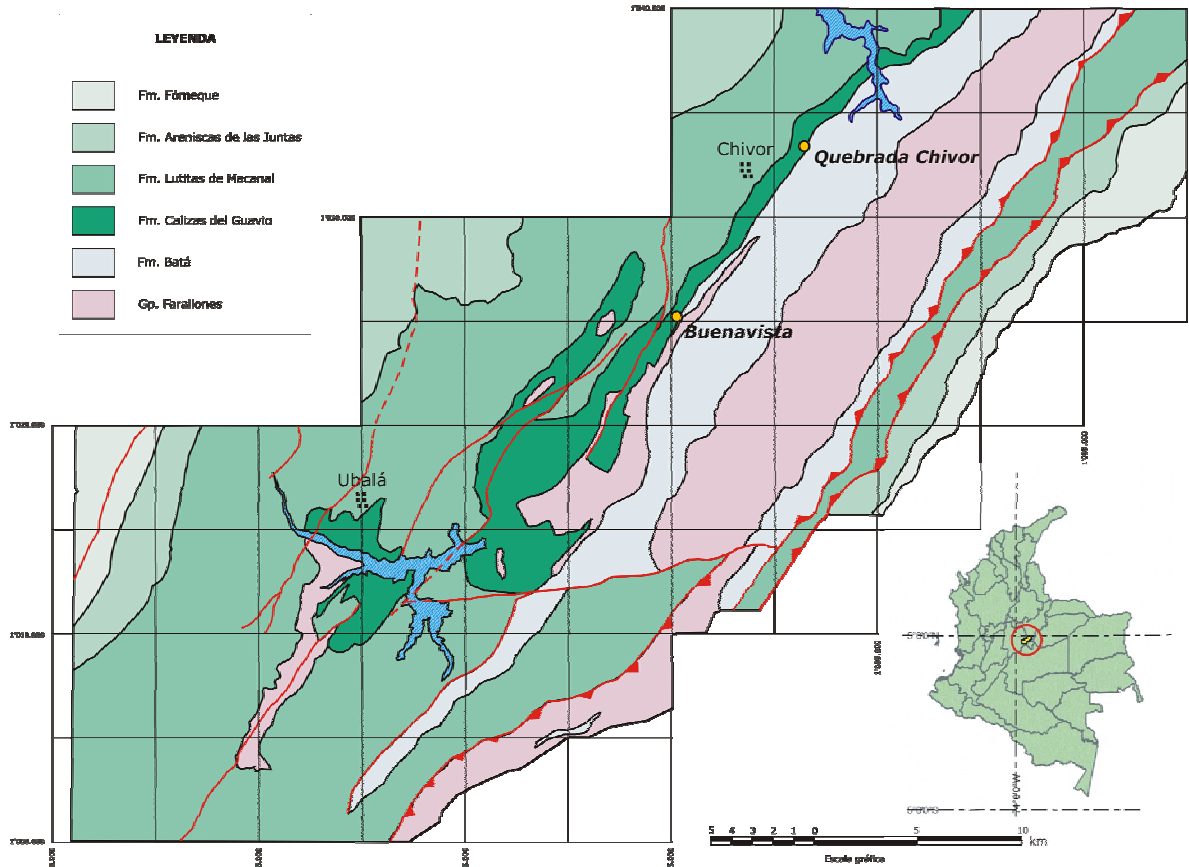
4.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área del cinturón esmeraldífero oriental afloran las siguientes unidades estratigráficas: Formación Farallones, Formación Batá, Formación Calizas del Guavio y Formación Lutitas de Macanal (ver Figura 9).

Sin embargo, considerando los objetivos del presente trabajo, a continuación se presentará solo un resumen sobre los aspectos geológicos más relevantes de la Formación Calizas del Guavio, por ser la unidad estratigráfica objeto del presente estudio. Información adicional sobre las restantes unidades estratigráficas presentes en el área, se describen más detalladamente en los trabajos de Escobar, 1979; Carrillo, 1989; Ulloa *et al.*, 2000; Maya *et al.*, 2004; etc.

Trabajos inéditos actualmente en desarrollo por parte de INGEOMINAS (2008), los cuales hacen énfasis en el contenido fósil de las unidades para definir mejor sus edades, sugieren un cambio de nombre para esta unidad considerando que su contenido en calizas es muy pobre. Sin embargo, debido a que aún no se ha publicado nada al respecto que oficialice esta modificación en este trabajo se conserva el nombre de Fm. Calizas del Guavio.

Figura 9. Esquema geológico del Cinturón Esmeraldífero Oriental de la Cordillera Oriental de Colombia, en el cual se resalta la localización de los dos sectores objetos de este estudio ('Quebrada Chivor' y 'Buenavista').



Esquema elaborado con base la cartografía geológica del INGEOMINAS (Trabajo inédito de Terraza *et al.*, 2008).

4.1.1 Formación calizas del guavio

- **Generalidades:** La formación 'Calizas del Guavio', está constituida por conglomerados en la base, cubiertos por potentes conjuntos de caliza con intercalaciones de lutitas negras, la unidad reposa discordante sobre el Grupo Farallones del Paleozoico superior (Ulloa *et al.*, 2000).

Los conglomerados y calizas presentan cambios bruscos de facies y de espesor, estas rocas por ser resistentes a la erosión forman relieves fuertes que contrastan con la unidad suprayacente Lutitas de Macanal poco resistente a la erosión, que da lugar a relieves suaves ondulados. Las Calizas del Guavio se caracterizan por formar grandes escarpes y cañones profundos que facilitan su reconocimiento en los sensores remotos y en el campo (Ulloa *et al.*, 2000).

La unidad litoestratigráfica Calizas del Guavio fue dividida por Ulloa y Rodríguez (1979) en cinco miembros que de base a techo son: Conglomerado de Miralindo, Lutitas de Miralindo, Caliza de Malacara, Lutitas de Las Mercedes y Calizas de Las Mercedes.

En Las Calizas del Guavio se han encontrado amonitas y bivalvos, principalmente en las intercalaciones de lutitas, que han permitido la determinación de su edad (Ulloa *et al.*, 2000).

- **Espesor:** Las Calizas del Guavio se depositaron, de acuerdo con Ulloa y Rodríguez (1979): “En una cuenca que se encontraba con algunos bloques levantados. De esta manera el área recibió aportes de la zona cratónica oriental y del área de bloques; en las áreas cercanas a los bloques se depositaron conglomerados, calizas y lutitas, en discordancia progresiva sobre las unidades infrayacentes y localmente en discordancia angular entre sus miembros inferiores, en donde los bloques se bascularon simultáneamente con el aporte de sedimentos. En las área alejadas de los bloques se depositaron lutitas negras pertenecientes a la parte inferior de las Lutitas de Macanal”. Por esta razón se presentan cambios bruscos de espesor y facies en los diferentes miembros de la formación (Ulloa *et al.*, 2000).

La sección tipo se levantó en los bloques Alto de Miralindo, Malacara y San Fernando, limitados por las fallas de San Fernando, Los Guácharos, San Isidro, y Manizales (Ulloa *et al.*, 2000).

El levantamiento geológico del túnel del Río Chivor presenta una columna estratigráfica parcial, la cual empieza con lutitas discordantes sobre el Paleozoico, le siguen calizas y al tope lutitas en contacto fallado con el Cáqueza medio, esta sucesión la correlaciona con las Calizas del Guavio y le asigna un espesor de 380m (Ulloa *et al.*, 2000).

- **Litología:** La Formación Calizas del Guavio, fue dividida por Ulloa y Rodríguez (1979), en cinco miembros:

- **Miembro Conglomerado de Miralindo (Kigm).** Su sección tipo se ubica en el Alto de Miralindo, y está constituido por un conglomerado masivo con cantos redondeados de areniscas, cuarcitas, limolitas y filitas, hasta de 10 cm de diámetro, cemento silíceo y matriz arenosa; el espesor es de 500 m. El miembro descansa discordantemente sobre rocas del Grupo Farallones e infrayace concordantemente al miembro Lutitas de Miralindo (Ulloa *et al.*, 2000).
- **Miembro Lutitas de Miralindo (Kiglm).** Se puede observar en las cuchillas de San Fernando y San Isidro, está compuesta por lutitas negras, satinadas, su espesor es de 80 m y reposa concordantemente algunas veces sobre el Conglomerado de Miralindo y en otras discordantemente sobre el Grupo Farallones (Ulloa *et al.*, 2000).
- **Miembro Caliza de Malacara (Kigcm).** Su sección tipo se localiza en el cerro de Malacara y se dividió en tres conjuntos:

A) Base, compuesta por 80 m de calizas macizas, esparfíticas, gris claras, con intercalaciones de lutitas negras.

B) Parte intermedia, formada por lutitas negras y limolitas gris oscuras a negras con lentejones de calizas; su espesor es de 225 m.

C) Techo, compuesto por calizas macizas, gris oscuras, micríticas a biomicríticas (Guerra, 1972), y un espesor de 105 m.

- **Miembro Lutitas de Las Mercedes (Kiglme).** En la localidad de Las Mercedes está compuesto por lutitas y limolitas negras fosilíferas, con lentejones de calizas hacia la parte media, y con un espesor de 250 m. Las lutitas de este miembro se observaron reposando concordantes sobre Las Calizas de Malacara e infrayaciendo concordantemente a las Calizas de Las Mercedes (Ulloa *et al.*, 2000).
- **Miembro Calizas de Las Mercedes (Kigcm).** Aflora en el área del Filo de Las Mercedes y consta de calizas micríticas gris oscuras con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano medio y lutitas negras; el miembro tiene un espesor de 120 m (Ulloa *et al.*, 2000).

- **Recursos minerales:** En la Formación Calizas del Guavio, se localizan recursos metálicos y no metálicos (Figura 10). Entre los metálicos destacan la presencia plomo, zinc y minerales de la industria del acero como son el hierro. Como minerales no metálicos son de importancia los minerales industriales, tales como yeso y barita, además de los de construcción: caliza y agregados Pétreos; hay minerales preciosos como las esmeraldas (Ulloa *et al.*, 2000).

Esmeraldas. Las minas del distrito de Gachalá se encuentran en los diferentes miembros de las calizas del Guavio. La mineralización está controlada por fallas inversas de ángulo alto y se presentan en brechas de falla, fracturas y venas a

menos de 200 m de las fallas principales. Las principales mineralizaciones se encuentran en las localidades de la Vega de San Juan, Las Cruces y El Diamante, donde la Falla de La Pichonera afecta las Calizas de Malacara (Ulloa *et al.*, 2000. ver Figura 10).

La mina de la Vega de San Juan se ubica en la Vereda de San Juan, cerca de los ríos Batatas y Guavio; la mineralización se localiza en venas ferruginosas con material blanco arcilloso. Los principales minerales asociados son: oligoclasa, dolomita, (trazas de pirita, fluorita y rutilo euhedral) y cuarzo (Forero, 1987).

Los yacimientos de Las Cruces y El Diamante, están sobre el camino entre el Puente Batatas y El Diamante, asociadas a la brecha de la Falla La Colonia; los minerales asociados son: rombos de dolomita gris, pirita, albita, cuarzo, calcita, caolín y moscovita; también se han reportado cristales grandes de parisita (Forero, 1987).

Otros yacimientos. Se encuentran yacimientos de Plomo en las Calizas de Malacara en los sitios de Cueva Oscura, San Rafael y Vereda El Guavio (Figura 10), cuyo principal mineral de mena es la galena que se encuentra diseminada irregularmente y como relleno de fracturas. Asociadas con la mineralización, se encuentran manifestaciones de calcopirita, siderita, pirita, los minerales de ganga son pirita y cuarzo (Ulloa *et al.*, 2000).

Se presenta también Zinc en la Vereda de Nazareth (Ubalá), dentro de las Calizas de Las Mercedes en la zona de brecha de la Falla del Gusano. Esta mineralización es de origen hidrotermal como relleno de fracturas (Rodríguez, 1971).

El yacimiento de hierro se encuentra localizado al noreste de la población de Ubalá, en las veredas de Las Mercedes y Manizales, emplazado dentro de las

Calizas de Las Mercedes, miembro superior de las Calizas del Guavio (Ulloa y Rodríguez, 1979).

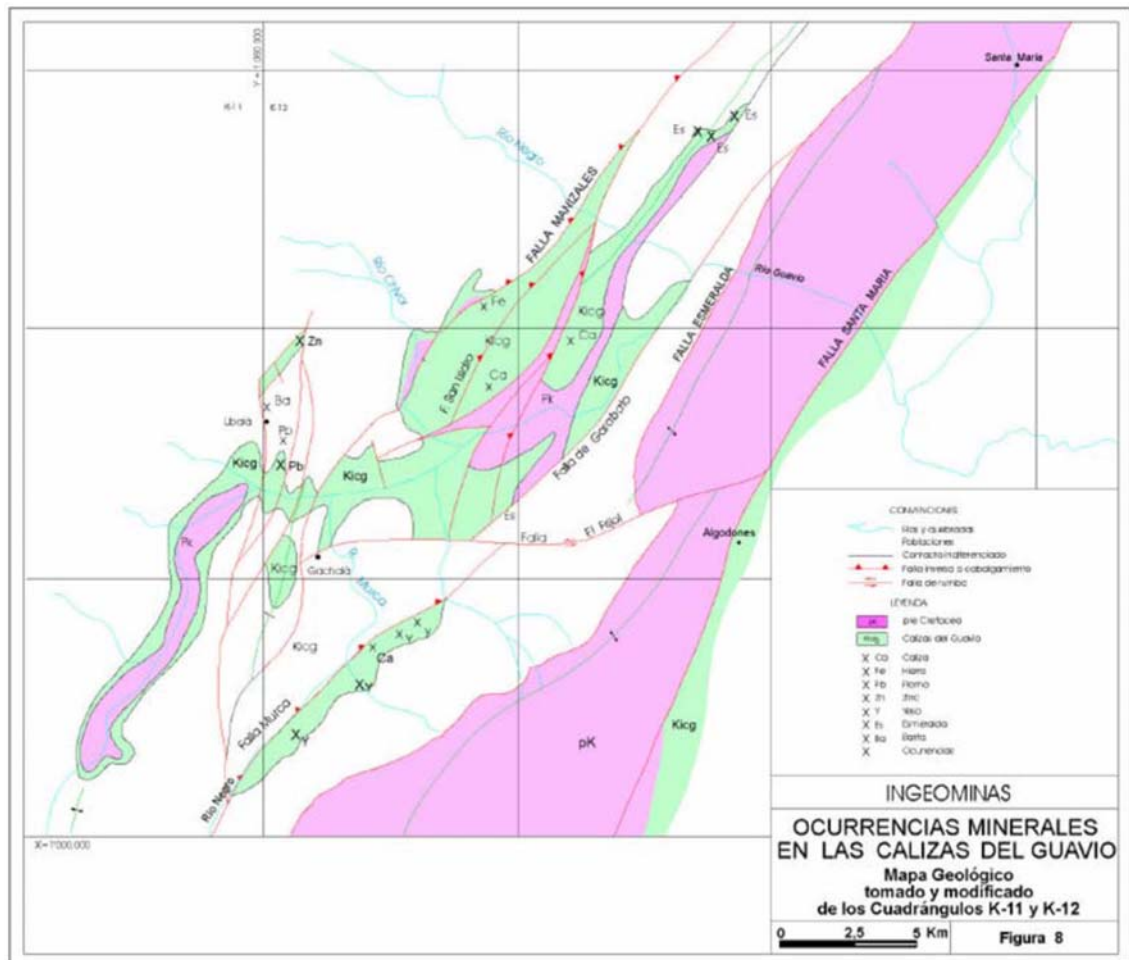
Actualmente abandonados, se encuentran depósitos de Yeso en un bloque fallado en la margen oriental del Río Negro, en las veredas Las Minas, San Isidro y La Florida. En estos yacimientos no se da a conocer su posición estratigráfica dentro de las Calizas del Guavio (Ulloa *et al.*, 2000. Figura 10).

También abandonada, se localiza aproximadamente a 200 m de la población de Ubalá, una mina de Barita, en el sitio denominado La Cascada. Esta, se encuentra rellenando fracturas y en forma de filón con un espesor de 20 cm y observable en una distancia de 15 m. El mineral es de color blanco en parte gris claro y se encuentra emplazado en una arenisca ferruginosa de grano fino (Rodríguez, 1971). Según éste autor, la mineralización es probablemente de origen hidrotermal y se confina a rellenos de fracturas.

En esta región, se encuentran Calizas dentro de los miembros Caliza de Malacara y Caliza de Las Mercedes, las cuales fueron estudiadas en detalle por Guerra (1972), con el fin de conocer la calidad, cantidad y posible explotación económica en un área de 200 km². Las Calizas de Las Mercedes y las de Malacara (miembro superior), dan un contenido que varía entre 84,1 y 95,53% para CaCO₃ y 1,32% como máximo para carbonato de magnesio (Guerra, 1972).

Por último, el miembro Conglomerado de Miralindo, base de las Calizas del Guavio, constituido por conglomerados y brechas con cantos y guijos de areniscas, cuarcitas y filitas en matriz arenosa y ocasionalmente calcárea, pueden utilizarse como agregado pétreo en afirmado en carreteras y cementación de edificaciones (Ulloa *et al.*, 2000).

Figura 10. Esquema geológico del área de estudio, en el cual se indican las diferentes manifestaciones minerales asociadas a la Formación 'Calizas del Guavio'.



Tomado de Ulloa *et al.*, (2000).

4.2 MODELOS DE GÉNESIS DE LAS ESMERALDAS EN EL CEOR (CORDILLERA ORIENTAL).

A escala mundial, se conocen básicamente tres tipos genéticos de yacimientos de esmeraldas, donde se produce una conjunción favorable de las condiciones requeridas:

Modelo pegmatítico: Según este modelo pegmatitas asociadas a granitoides portadores 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 quimismo básico a ultrabásico, aunque su naturaleza puede ser muy variada, desde rocas volcánicas a sedimentarias, e incluso metasedimentos. Las esmeraldas en este contexto suelen presentarse en venas y/o halos de alteración metasomática asociados a las mismas dentro del encajante. Las temperaturas de formación suelen ser superiores a los 350°C, y los datos de inclusiones fluidas suelen indicar precipitación a partir de salmueras complejas ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{CH}_4$), con salinidades del 12-40% (equivalente NaCl) (Recio y Subias, 2002).

Modelo tectónico–hidrotermal: En este modelo 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 y el 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 esquisto 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 Subias, 2002).

Modelo Sedimentario-Hidrotermal (Esmeraldas Colombianas): En Colombia los depósitos de esmeraldas conocidos en la Cordillera Oriental 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).

Los primeros estudios orientados a explicar el origen de los depósitos esmeraldíferos del Cinturón Occidental, les confirieron un origen magmático; tal es el caso de Scheibe (1916, en Maya *et al.*, 2004), quien otorga a 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 Cretácico Inferior. Posteriormente Restrepo (1958, 1959, en Maya *et al.*, 2004) soporta este modelo con un estudio realizado sobre las esmeraldas de Muzo, donde plantea la posibilidad de que el origen de estas esmeraldas esté 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 CO₂, 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 CO₂. 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 que dieron lugar a la formación de las esmeraldas. 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 Sedimentario-Hidrotermal. 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 (antes mencionados), 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, en Maya *et al.*, 2004),

con un origen neumatolítico hidrotermal carbonatítico (Hall, 1973 en Maya *et al.*, 2004), 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).

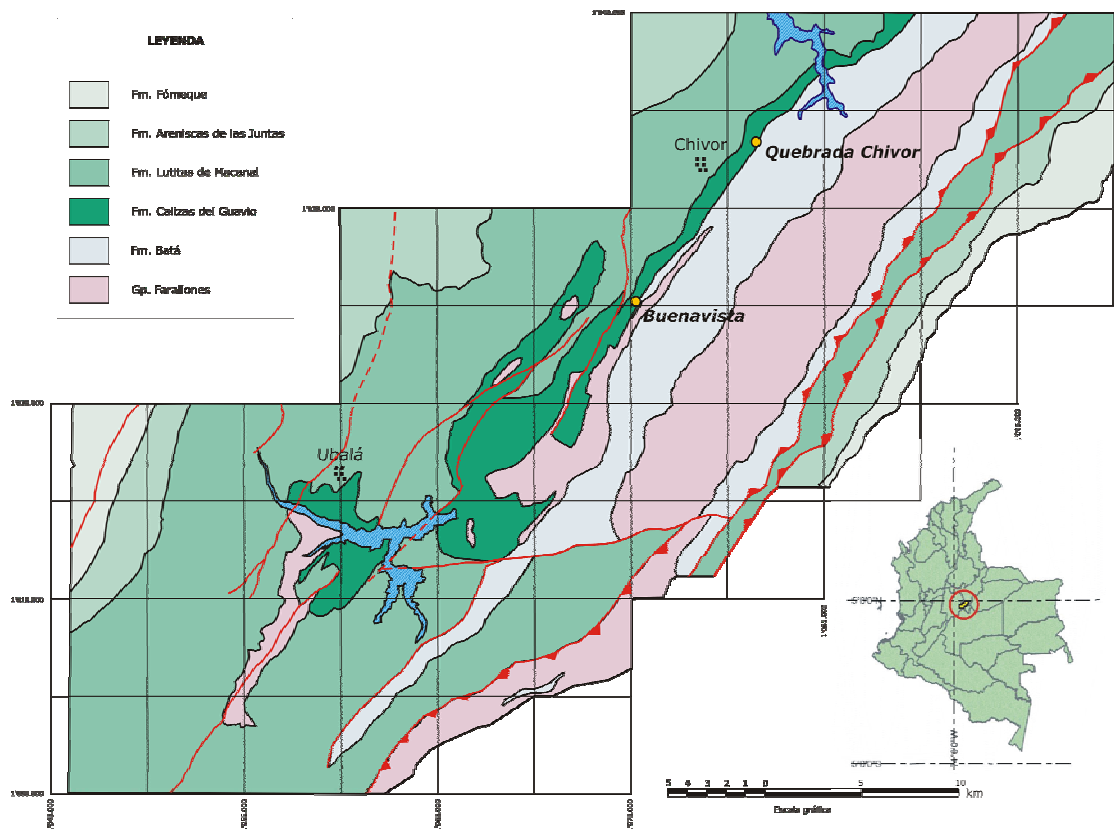
Es a partir del trabajo de Cheilietz y Giuliani (1996) que se han establecido criterios específicos que permiten la consolidación de una teoría predominante que revela el origen de los depósitos esmeraldíferos occidentales y que se fundamenta en datos de inclusiones fluidas y de isótopos estables, y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

5. RESULTADOS

5.1 RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los dos sectores objetos del presente estudio se ubican geológicamente dentro de la Formación Calizas del Guavio (Kicg), miembro inferior del Grupo Cáqueza (Cretácico inferior). La ubicación geológica de ambos sectores se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Esquema geológico del Cinturón Esmeraldífero Oriental basado en datos preliminares e inéditos del relevamiento cartográfico que actualmente lleva a cabo INGEOMINAS. En el esquema se resalta la ubicación geológica de los dos sectores objetos de este estudio ('Quebrada Chivor' y 'Buenavista').



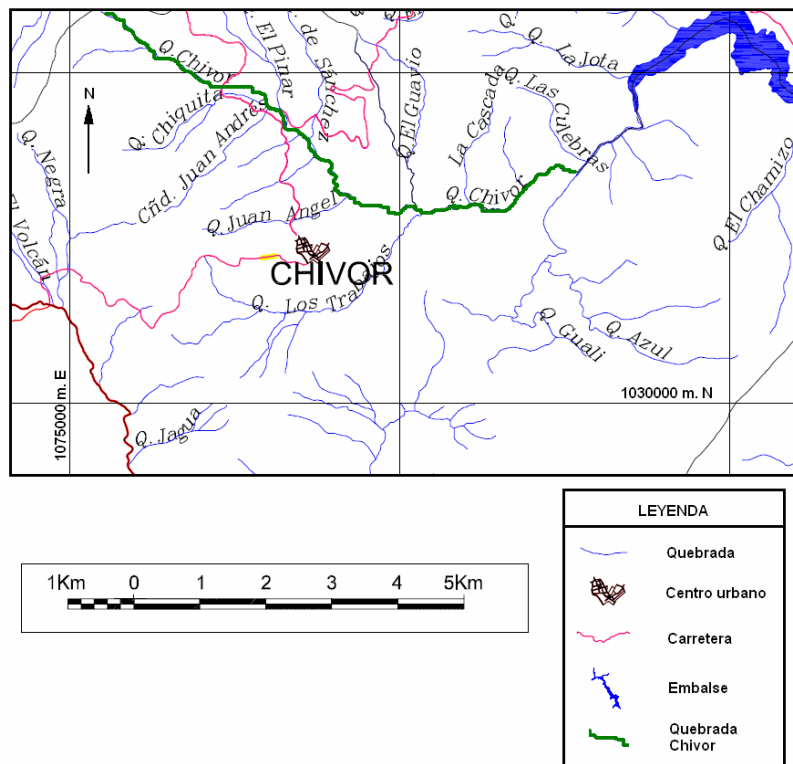
Esquema elaborado con base en la cartografía geológica del INGEOMINAS (Trabajo inédito de Terraza *et al.*, 2008).

5.1.1 Rasgos geológicos generales del sector ‘Quebrada Chivor’

Sobre la quebrada ‘Chivor’ se levantó una sección de 133 metros, río arriba desde su confluencia con la quebrada ‘Los Trabajos’ (Figura 12). En este sitio se recolectaron 17 muestras (Ver Figura 13) y se tomaron unos pocos datos estructurales que de manera confiable indican claramente la disposición normal de las capas. No obstante, es importante resaltar que al inicio y al final del tramo muestreado, las capas se presentan fuertemente replegadas.

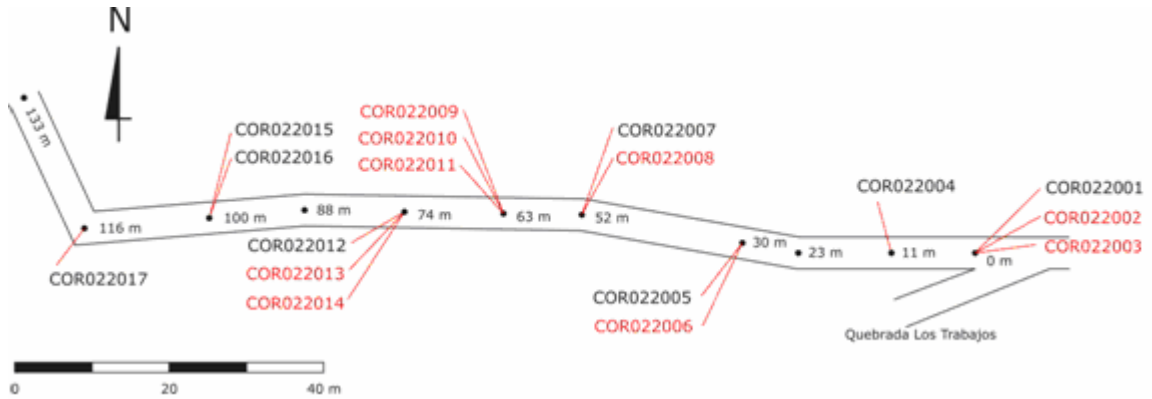
A continuación, se presenta una descripción detallada de las tres diferentes zonas que se identificaron en el tramo mencionado, con base en sus rasgos de fábrica y composición, entre otros aspectos.

Figura 12. Mapa hidrológico del sector de Chivor, donde se aprecia la ubicación detallada de la Quebrada Chivor, sector sobre el cual se hace este estudio.



Modificado de Plan de Gestión Ambiental Regional, CORPOCHIVOR (2000).

Figura 13. Esquema de la Quebrada Chivor con la localización de las muestras tomadas. Se encuentran resaltadas las muestras a las que se les realizó estudio petrográfico.



- **Zona I (ver Figura 20):** Compuesta de lodolita calcárea negra a gris oscura con pirita y laminación planoparalela. Se encuentra algo replegada, pero sin embargo es donde se encuentran los niveles menos afectados por la tectónica, es decir, es donde se evidencia la orientación real de la sección; fue en esta zona, presente al inicio y al final de la quebrada, donde se tomaron los únicos datos estructurales confiables para la realización de este esquema (255 / 55 al inicio de la sección y 245 / 60 al final). En esta lodolita calcárea se encuentran también intercalaciones de niveles no muy significativos de lodolita gris claro a blanca con estructuras evaporíticas (Figura 14).

- **Zona II (ver Figura 20):** Ésta se compone de lodolita gris clara a blanca, algo calcárea (efervece mas en algunos niveles), con estructuras evaporíticas, intercalada con zonas o niveles de menor tamaño de una brecha compuesta por clastos de esta misma litología y con una marcada deformación, lo cual se evidencia en el amplio replegue que sufren estas capas (Figuras 15, 16 y 17).

Figura 14. a y b: Aspecto de la litología perteneciente a la Zona I, compuesta fundamentalmente de lodolitas calcáreas de color negra a gris oscura.



Figura 15. a y b: Aspecto de las rocas incluidas dentro de la zona II, las cuales se caracterizan por haber sufrido una importante deformación, al parecer bajo condiciones dúctiles, considerando la presencia en estas, de estructuras indicadores de fenómenos de flujo.



Figura 16. En las fotografías a y b se observa el marcado replegamiento y las estructuras evaporíticas que caracterizan a la litología de la Zona II.



Figura 17. a y b: Fotografías donde se observa las disposición y morfología de dos de los niveles brechificados que se encuentran en la Zona II.



- **Zona III (ver Figura 20):** Esta zona esta compuesta por un nivel de brecha mucho mas marcado y continuo que los que aparecen en la zona II. La brecha se constituye de clastos subangulares a subredondeados, rotados, compuestos de lodolita en la que aun se pueden identificar estructuras evaporíticas. Además se encuentran zonas donde se evidencia un importante reemplazamiento por parte

de carbonatos, cristales de gran tamaño y niveles compuestos casi únicamente de carbonatos (Figuras 18 y 19).

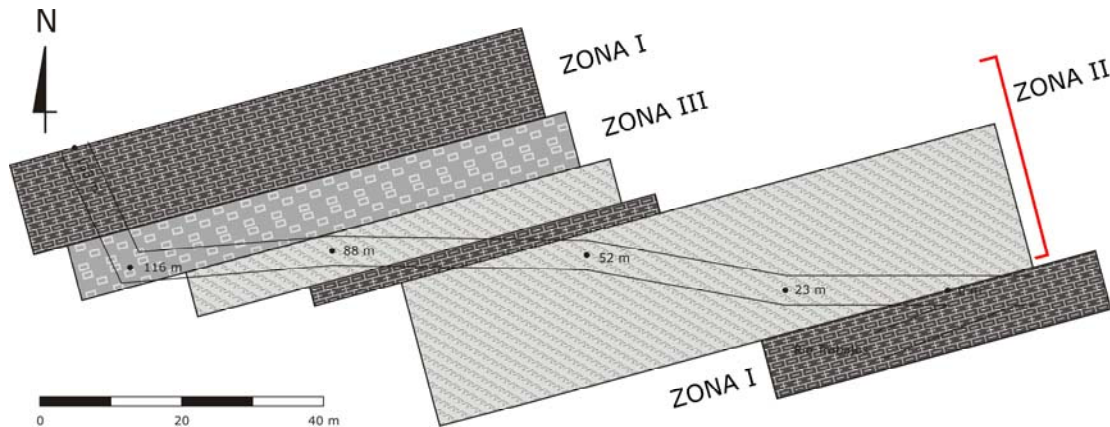
Figura 18. Fotografía que muestra la brecha característica de la Zona III.



Figura 19. Fotografía panorámica para ilustrar el tamaño y la disposición de la brecha característica de la Zona III.

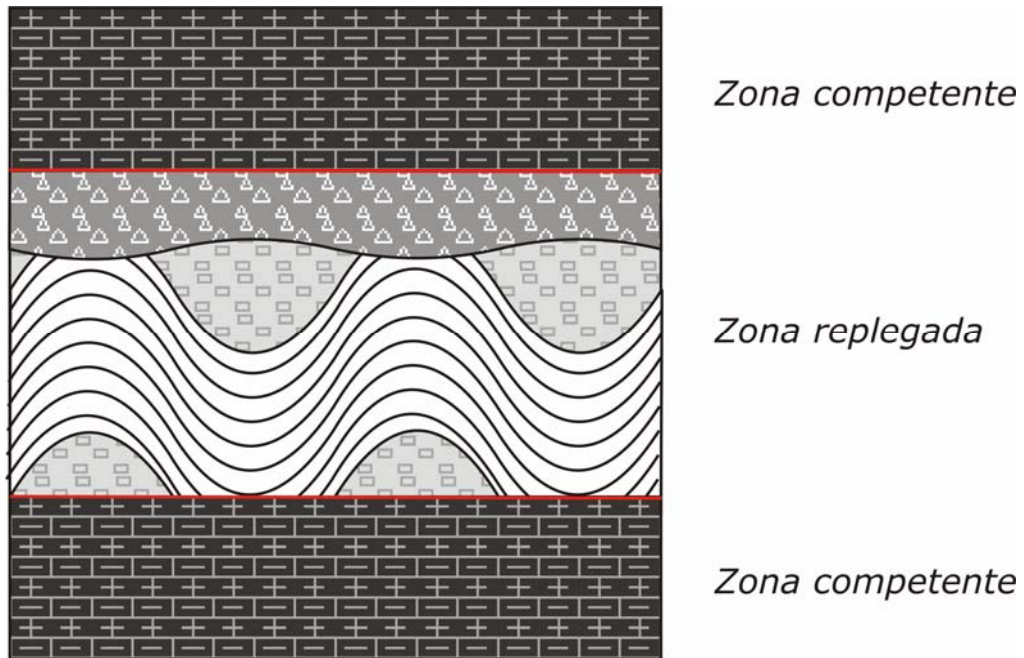


Figura 20. Distribución esquemática de las diferentes zonas, identificadas en el tramo estudiado de la Quebrada Chivor con base en rasgos geológicos, tales como fabrica y composición, entre otros.



Con base en las observaciones anteriormente mencionadas, es posible concluir, de manera preliminar, que las rocas aflorantes en el tramo documentado de la Quebrada Chivor presentan varias estructuras de deformación tectónica (Figura 21), al parecer relacionadas con un mecanismo de cizallamiento paralelo a las capas. En este contexto, la zona menos competente (atrapada entre capas mas competentes), fue la mas afectada por la deformación, hasta el punto de formar la trituración y el replegamiento mencionado anteriormente.

Figura 21. Esquema de la situación estructural de la sección de la Quebrada Chivor. Cabe anotar que la transición de una zona a otra no es tan marcada como se ve en el esquema, de hecho las zonas de transición llegan a medir algunos metros.



5.1.2 Rasgos geológicos generales del sector de 'Buenavista'

En el sector de 'Buenavista' se levantó un afloramiento, en un lugar que solía ser una mina a cielo abierto, de la que nunca se reportó producción de esmeraldas (Figura 22).

En este sitio, se recolectaron 13 muestras y se tomaron algunos datos estructurales, los cuales fueron utilizados (junto con fotografías panorámicas), para intentar identificar posibles zonas al interior de las capas muestreadas, utilizando igualmente como criterios para esta división, aquellos reportados en el apartado anterior.

Figura 22. Fotografía panorámica donde se distinguen y resaltan las Zonas I y II, identificadas en el afloramiento del sector de Buenavista.



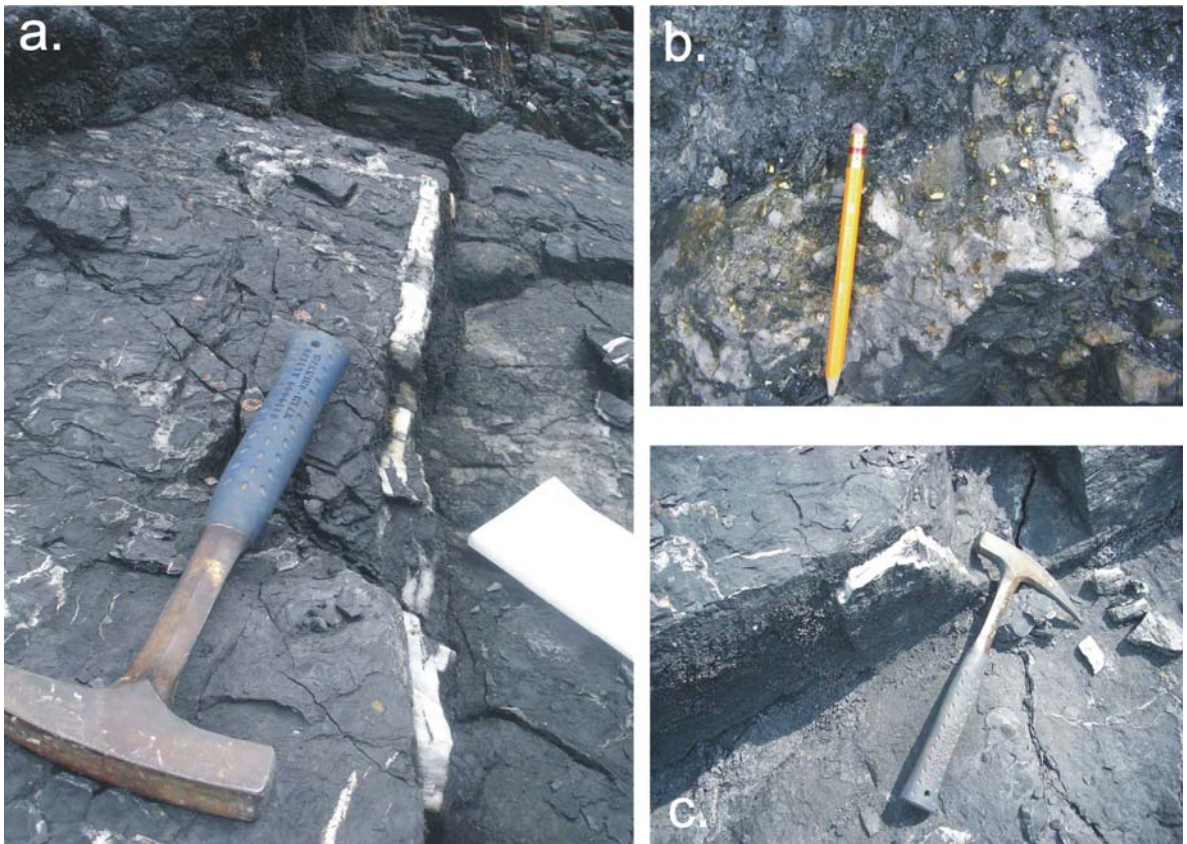
A continuación se hace una breve descripción de los rasgos geológicos a escala macroscópica, los cuales caracterizan a cada una de las zonas identificadas en el área del afloramiento.

- **Zona I (Ver Figura 22):** Compuesta de lodolita calcárea negra a gris oscura con pirita y laminación planoparalela. Se encuentra poco replegada, en esta zona se tomaron los datos estructurales que promediaron una estratificación de 260 / 50. Cabe destacar que en esta zona, en cercanías a la Zona II se encuentran una gran cantidad de venas de calcita y pirita de espesores importantes (de hasta 5 cm) y que cortan la estratificación (Figuras 23 y 24)

Figura 23. Esquema en donde se muestra con imágenes ampliadas, el contacto entre la Zona I y II. Se puede observar en la imagen de la ampliación, la presencia de venas de calcita, confinadas al contacto entre las zonas.



Figura 24. a. Fotografía donde se aprecia una vena de calcita en la Zona I. Esta vena se presenta cortando la estratificación y en la imagen se puede ver que su espesor es considerable. b. Fotografía donde se aprecia, más de cerca una vena de calcita en la Zona I. Aquí se puede ver su espesor de aproximadamente 10cm y la presencia de pirita en ella. c. Aspecto de una vena de calcita en la Zona I. Esta vena de calcita tiene una dirección de $34^\circ / 65^\circ$ y se encuentra cortando casi perpendicularmente la estratificación.



- **Zona II (Ver Figura 22):** Esta zona se compone de una brecha en la que se alcanzan a reconocer clastos compuestos de fragmento líticos pertenecientes a una arcillolita gris clara con estructuras evaporíticas aún reconocibles. En esta zona no hay presencia de venas hidrotermales (Figura 25).

Figura 25. Aspecto de la brechificación (con alto contenido de albita y carbonatos) relacionada con la Zona II.



La disposición de estas zonas, como se puede ver, es muy similar a la de la sección de la quebrada Chivor, con una zona de Brecha embebida dentro de una zona más competente de lodolita negra calcárea. Sin embargo, estos dos sectores, se diferencian claramente con base en sus rasgos macroscópicos.

Por una parte, el espesor o la escala del área deformada; dado que en la quebrada Chivor esta misma secuencia abarcó una sección de la quebrada de cerca de 130 m, mientras que en el sector de 'Buenavista' esta misma disposición abarca tan solo unas pocas decenas de metros. Por otro lado, en el sector de Buenavista, no se observan rocas con la textura evaporítica descrita en la quebrada Chivor.

5.2 PETROGRAFÍA

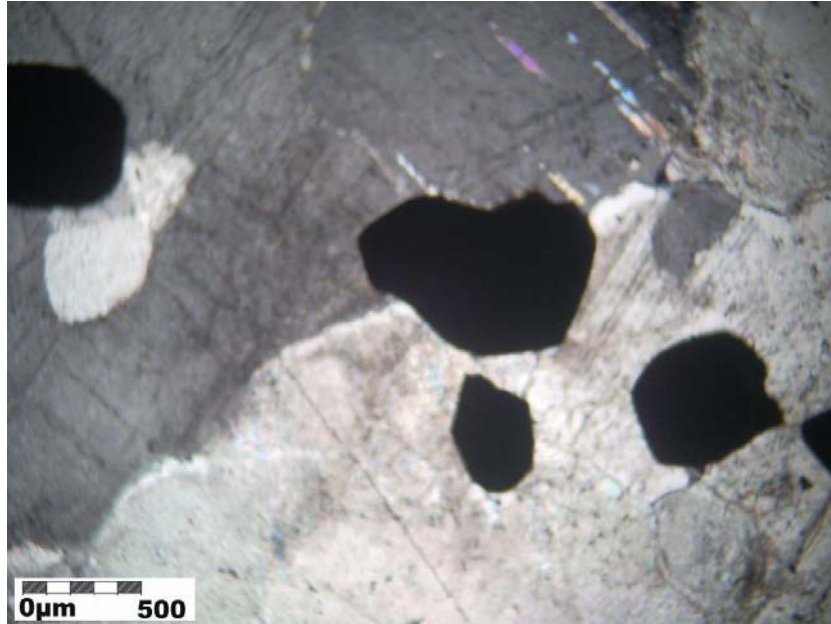
La petrografía fue realizada a 16 secciones delgadas pulidas de muestras de rocas caja, venas y brechas recolectadas en los sectores de la Quebrada 'Chivor' y Buenavista.

5.2.1 Petrografía del sector 'Quebrada Chivor'

En la figura 13 se muestra la localización de 9 de las secciones delgadas analizadas pertenecientes a la Quebrada 'Chivor'. La descripción petrográfica detallada de las secciones delgadas se registra en los formatos respectivos (ver Anexo 1).

- **Zona I:** En las muestras de la zona I, debido a sus características de fabrica y composición (materiales muy finos y friables), se dificultó realizar láminas delgadas. Solo se pudo contar con una lamina delgada de una vena localiza en proximidad al contacto con la Zona II de la quebrada Chivor. Esta vena (con textura masiva), esta compuesta mayoritariamente de calcita (tamaño grueso) y ocasionalmente pirita (Ver Figura 26). La descripción de la litología general de esta Zona se basó únicamente en los resultados de su análisis en muestra de mano y Difracción de Rayos X.

Figura 26. Microfotografía de la sección COR022002 en nicoles cruzados, correspondiente a una vena de la Zona I, donde se aprecia el gran tamaño de los cristales de calcita y su contacto con cristales de pirita.



- **Zona II:** Petrográficamente la litología de la Zona II se compone principalmente tanto de minerales terrígenos, tales como Muscovita, Cuarzo y en algunas secciones Pirita. Por otro lado, como minerales autigénicos, destacan la presencia de Calcita, Esparita, Albita y Pirita.

Se observa, en muestras de roca de esta zona, una laminación de niveles plano paralelos generada por variaciones composicionales, como el aumento en la cantidad de albita, y texturales, como el aumento del tamaño de las partículas. Además, se encuentran partículas tabulares y aciculares de Muscovita orientadas con la laminación y algunos niveles con un mayor contenido de pirita, intercalados con otros de Cuarzo, Albita y esparita recristalizada. Es posible también encontrar venillas de calcita y pirita que cortan la laminación, así como fracturas y pequeñas fallas syn sedimentarias que la desplazan (Figura 27).

En secciones delgadas de muestras pertenecientes a brechas de la Zona II, se encuentra una importante recrystalización de carbonatos. La esparita recrystalizada compone casi toda la matriz en la que se reconocen aún clastos subredondeados compuestos de albita y pirita principalmente (Ver Figura 28).

Figura 27. Microfotografías en nicols cruzados, de tres secciones correspondientes a la Zona II, en donde se aprecia la laminación interna de la roca debida a una variación composicional (niveles con una mayor cantidad de albita o pirita). **a.** Muestra COR 022 011, wackestone carbonoso con una vena de calcita y pirita que corta la laminación interna. **b.** Muestra COR 022 014, wackestone con una vena de calcita que corta la laminación interna. **c.** Muestra COR 022 009, wackestone con una vena de calcita paralela a la laminación.

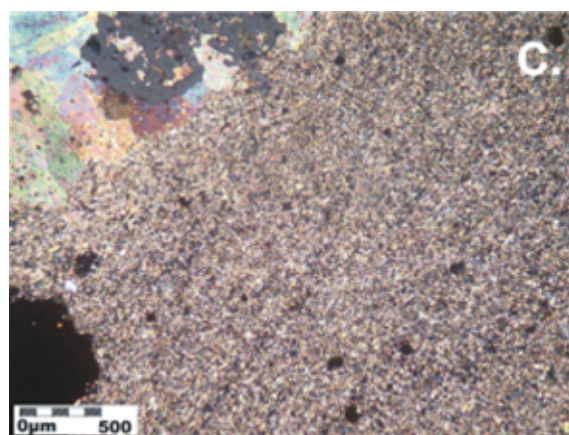
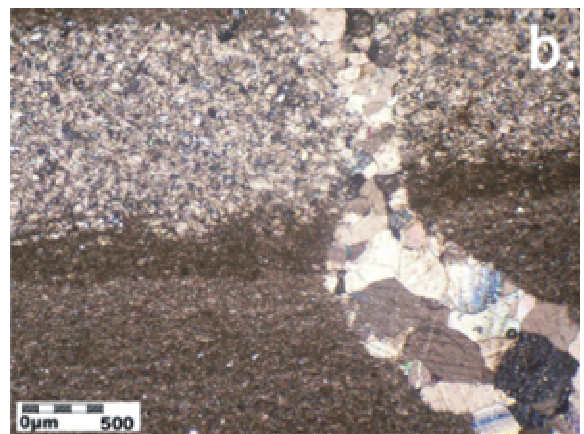
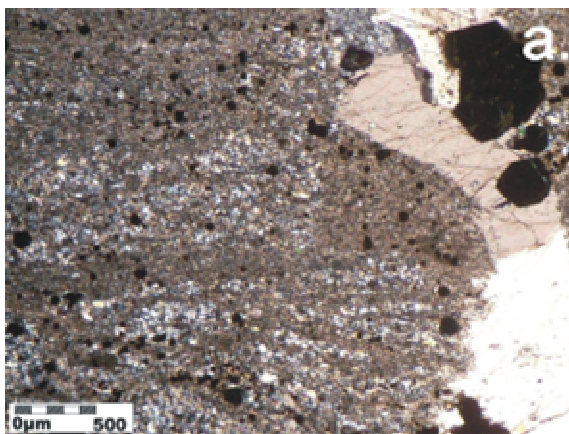
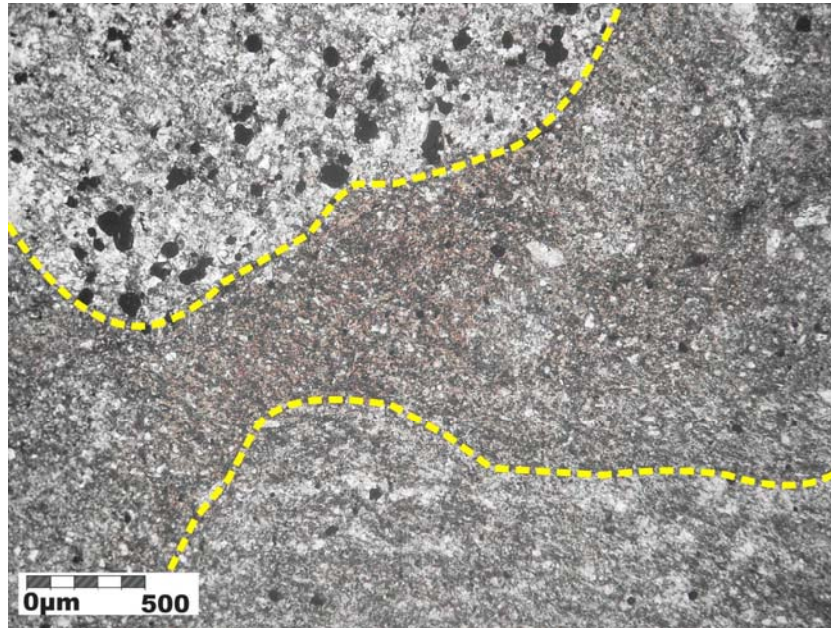


Figura 28. Microfotografía de la sección COR 022 006 en nicoles paralelos, correspondiente a una brecha de la Zona II, en donde se resaltan los clastos redondeados compuestos de fragmentos de roca, aun reconocibles dentro de una matriz de esparita.



A manera de conclusión se observa, en este sector, que solo se presentan albitas, muy pequeñas, irregulares, al interior de las rocas, posiblemente de reemplazamiento. Estas albitas, al parecer se relacionan con un evento hidrotermal anterior a la mineralización esmeraldífera, tal como se concluye en un trabajo de tesis de grado paralelo (Silva, N. -trabajo inédito- 2008), desarrollado igualmente en el marco del macroproyecto mencionado en el apartado introducción.

No se han identificado albitas euhedrales en venas hidrotermales, ni mucho menos asociadas a dolomitas, como se reporta generalmente en la mayoría de áreas con mineralización esmeraldífera (Trabajos inéditos Escuela de Geología-UIS: tesis de pregrado Modalidad Investigación de Ortegón, M; Tarazona, C; Silva, N.- 2008).

5.2.2 Petrografía del sector 'Buenavista'

De las muestras del sector de Buenavista se realizaron 7 secciones delgadas. La descripción petrográfica detallada de estas secciones se registra en los formatos respectivos (ver Anexo 1).

- **Zona I:** Petrográficamente las venas de la Zona I se componen principalmente por calcita de cristales anhedrales de tamaños que van desde muy finos a muy gruesos en contacto longitudinal y suturado con cristales de cuarzo anhedrales, albita subhedral y pirita, tanto piritoédrica como cúbica.

En algunas de las muestras aparece parte de la roca caja de las venas, la cual está compuesta principalmente de materia orgánica en una alta proporción, cuarzo y muscovita.

El análisis de venas de secciones pertenecientes a muestras de venas muestra que se encuentran dos tipos diferentes de estas, unas compuestas totalmente por pirita y calcita, ya sea cristalina o fibrosa (predominante), pero que no contiene ningún otro mineral; y otras compuestas también de calcita cristalina y pirita, pero que se encuentran con una cristalización de Albita en los bordes de la vena con la roca caja. De acuerdo con lo observado no existe ninguna relación entre la orientación de la vena y si tiene o no esta cristalización de Albita (Figuras 29, 30 y 31).

Estos dos tipos de venas que se reconocieron pueden sugerir la diferenciación de dos tipos de fluidos distintos, es decir, dos eventos hidrotermales diferentes que cristalizaron venas con distintas características.

Figura 29. Microfotografía de la sección COR 028 002 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena emplazada paralelamente a la laminación de la roca y en ella se observa la aparición de cristales de Albita sobre el borde de la vena y Calcita en su interior.

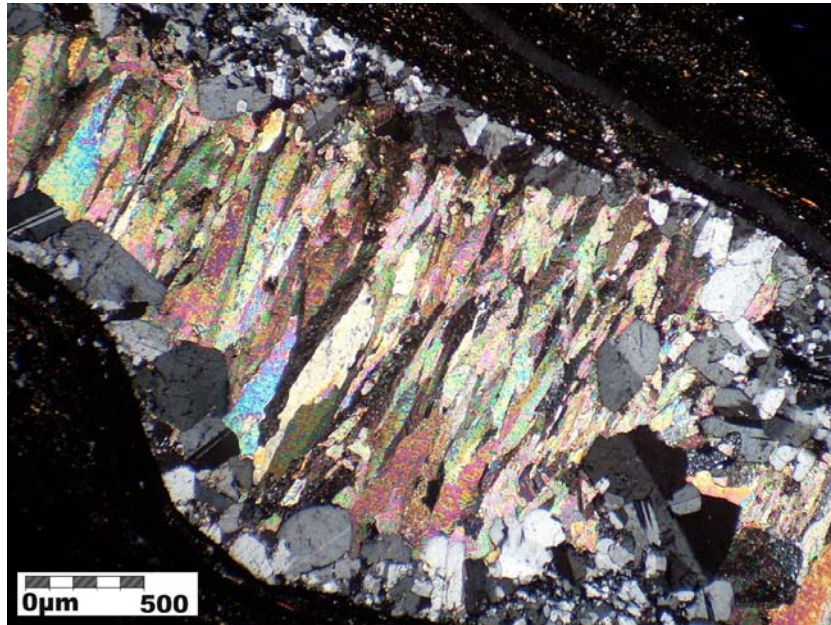


Figura 30. Microfotografía de la sección COR 028 003 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena de Calcita fibrosa y parte de su roca caja con un alto contenido de materia orgánica

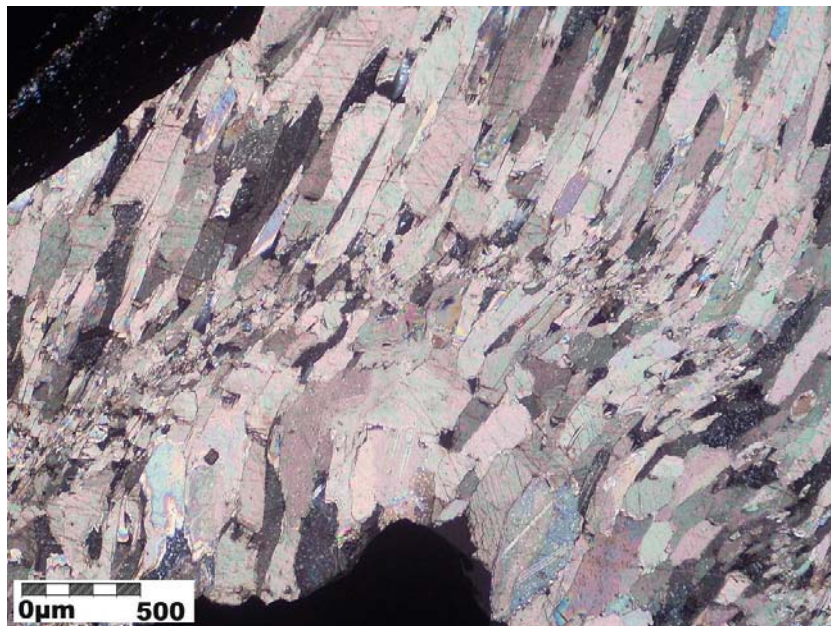
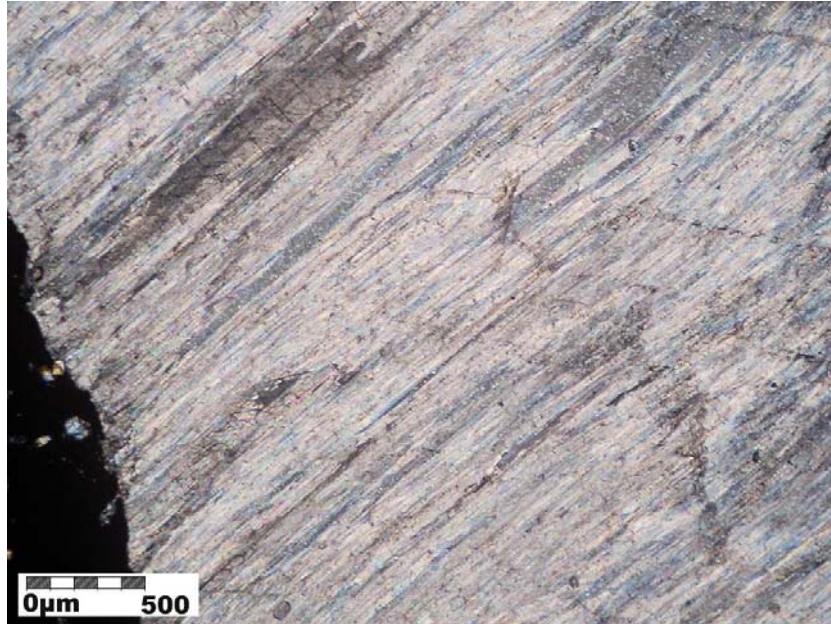


Figura 31. Microfotografía de la sección COR 028 008 (correspondiente a la Zona I) en nicoles cruzados. En la fotografía se aprecia una vena de calcita en agregado fibroso muy fino y parte de su roca caja con un alto contenido de materia orgánica.

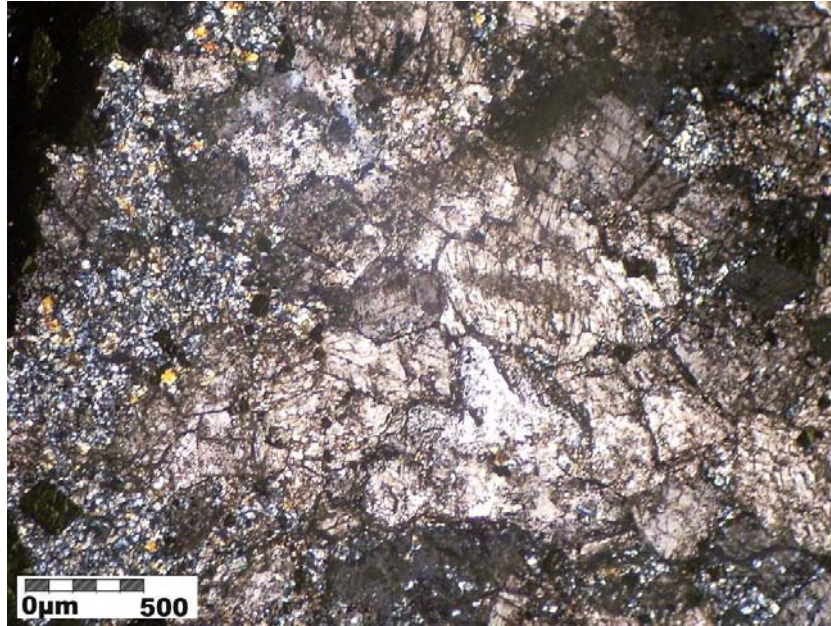


- **Zona II:** En lo que respecta a la Zona II, las brechas de esta zona se presentan con fragmentos de roca masivos, angulares, compuestos de materia orgánica y minerales opacos en microlentes, cementados por cristales de calcita anhedral en agregado granular grueso (Figura 32).

A manera de conclusión, con base en los datos derivados del análisis macroscópico y de petrografía, se puede concluir lo siguiente, en términos comparativos, entre los dos sectores estudiados:

Ambos sectores presentan albitas, muy pequeñas e irregulares, al interior de las rocas, posiblemente de reemplazamiento, relacionadas, al parecer, con un evento hidrotermal anterior a la mineralización esmeraldífera, de acuerdo con lo concluido en la tesis de grado inédita de Silva, N (2008).

Figura 32. Microfotografía de la sección COR 028 006 en nicoles cruzados, correspondiente a una brecha de la Zona II. Se aprecian los cristales de Calcita y Dolomita que cementan la brecha.



Sin embargo, en Buenavista se identifica otro tipo de albitas, euhedrales en venas hidrotermales y asociadas a carbonatos (posiblemente dolomita) y brechas con albitización (Figura 31 y 40). Estas estructuras mencionadas, han sido relacionadas en otras áreas como asociadas en tiempo y espacio a la mineralización esmeraldífera (Trabajos inéditos, tesis de grado Ortegón, M; Tarazona, C; Silva, N; 2008).

5.3 ESTUDIO MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Con el fin de identificar cualitativamente la composición mineralógica de las muestras recolectadas se realizaron análisis de difracción de rayos X (DRX) a 22 muestras en total. En las tablas 2 y 3 se encuentran los resultados cualitativos y semicuantitativos interpretados a partir de los difractogramas que se recibieron del laboratorio. Los difractogramas, tal como se recibieron del laboratorio se encuentran en el Anexo 2.

5.3.1 Consideraciones previas

Los rayos X son una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma. Los rayos X surgen de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por desaceleración 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 0,1Å a 25Å (Tomado de <http://www.elergonomista.com/tecnicas/rayos.htm>).

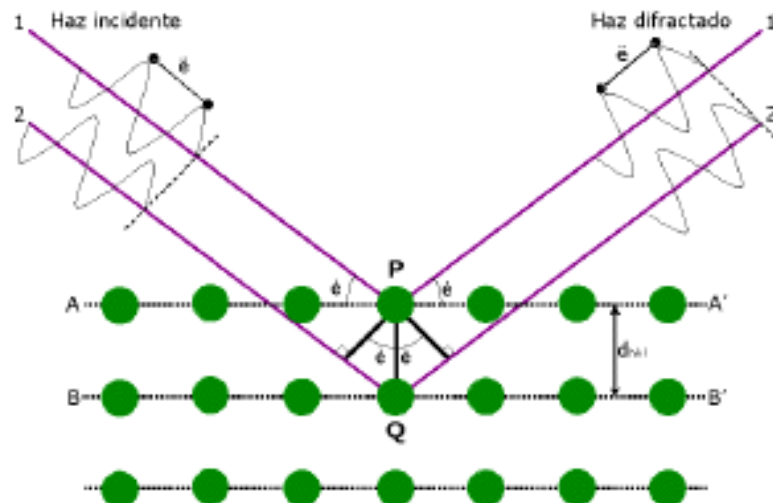
La difracción es un fenómeno característico de las ondas, que consiste en la dispersión de las ondas cuando interaccionan con un objeto ordenado. Ocurre en todo tipo de ondas, desde las sonoras, hasta las ondas electromagnéticas como la luz, y también los rayos X.

Los rayos X tienen longitudes de onda similares a las distancias interatómicas en los materiales cristalinos, por lo que se puede utilizar la Difracción de Rayos X como método para explorar la naturaleza de una estructura molecular.

La difracción de rayos X es el único método que permite determinar de modo exacto la estructura molecular de cualquier producto, ya sea un fármaco, un compuesto inorgánico, un mineral, proteína o incluso un virus (Tomado de <http://www.uma.es/scai/servicios/xrd/xrd.html>).

Cuando un haz de rayos-X incide en un material sólido, parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de difracción de rayos-X (Ver Figura 41), que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos y si se cumplen las condiciones que vienen dadas por la Ley de Bragg (Tomado de <http://www.uma.es/scai/servicios/xrd/xrd.html>).

Figura 33. Difracción de Rayos X.



Tomado de <http://www.uma.es/scai/servicios/xrd/xrd.html>.

Ley de Bragg: $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$, en la que “d” es la 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° , se procede a identificar las fases cristalinas, teniendo en cuenta que cada sustancia en estado cristalino tiene un diagrama de rayos X característico (Tomado de <http://www.uma.es/scail/servicios/xrd/xrd.html>).

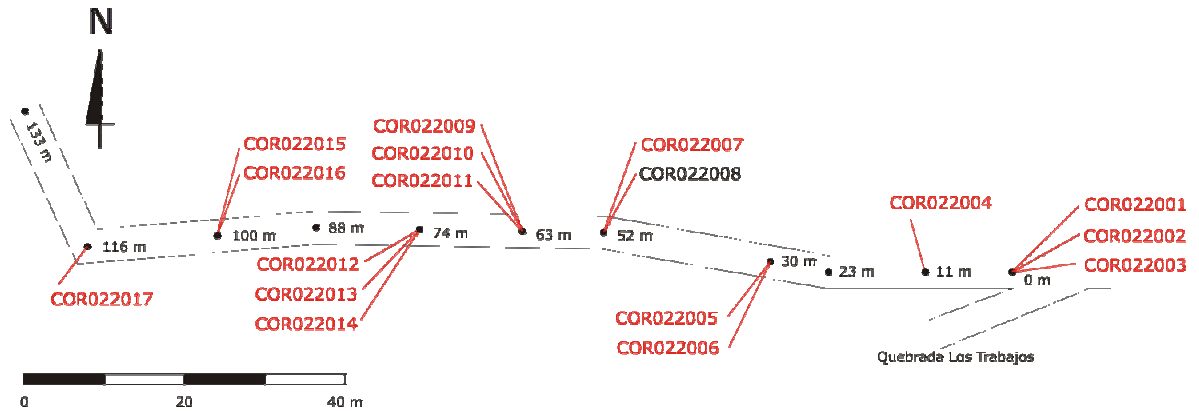
Estos diagramas están coleccionados en fichas, libros y bases de datos del *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* y agrupados en índices de compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales. Lo único que hace falta es encontrar el mejor ajuste del diagrama problema con uno de los coleccionados.

Para la preparación de las muestras se realizó la trituration de una cantidad de muestra de alrededor de 30g, proceso que se realizó en el laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología, UIS; aunque para el análisis realmente el equipo solo requiere de cantidades menores, de cerca de 5g; y luego fue enviada al laboratorio de Difracción de Rayos X, de la escuela de Química, UIS.

5.3.2 Análisis de DRX en muestras del sector ‘Quebrada Chivor’

En el sector de la quebrada Chivor se analizaron 16 muestras, 3 pertenecientes a la Zona I, 10 a la Zona II y 3 a la Zona III. Su ubicación en la quebrada se encuentra en la figura XX

Figura 34. Esquema de la quebrada Chivor n donde se resaltan, con color rojo, las muestras analizadas por Difracción de Rayos X.



Mineralógicamente se puede reconocer una diferencia apreciable entre la zona II y las demás zonas, la cual destaca por la abundante presencia de carbonatos de magnesio (dolomita, calcita magnesiana) y Ankerita, la cual especialmente se identifica hacia el borde la zona II (Ver tabla 2).

Otro rasgo que se puede resaltar, es la presencia ocasional de yeso, el cual solo aparece en muestras de la zona II. Considerando que la litología objeto de estudio preserva el aspecto de antiguas estructuras evaporíticas (aunque actualmente están compuestas en su mayoría de albita, carbonatos y piritas), es posible deducir que este sulfato este relacionado con procesos de alteración supergénica de sulfuros.

También se puede observar que la albitización que afectó las rocas en las tres zonas, tiene una distribución amplia, teniendo en cuenta lo reportado en las tesis de pregrado que se desarrollan paralelamente en el área de estudio (Trabajos inéditos de Ortegón, M; Tarazona, C; Silva, N; 2008).

Tabla 2. Resultados de los análisis cualitativos y semi cuantitativos de DRX realizados en las muestras recolectadas en la Quebrada Chivor. En diferentes colores se resaltan los resultados de las 3 zonas diferenciadas anteriormente (Verde para la zona I, azul para la zona II y gris para la zona III).

CODIGO	ALBITA	DOLOMITA	CALCITA MAGNESIANA	CALCITA	CUARZO	PIRITA	YESO	ILLITA/Moscovita	OTROS
COR-022-001	++++	+		++		++	*	+++	
COR-022-002	*	*		++++		*			
COR-022-003	++++	++++		++		+	+	++	+ Hem
COR-022-004	+++			+	++++	*	*	++	
COR-022-005	++				++++	*	*	+++	
COR-022-006	++	*		+++	+++	+	*	+++	* Hem
COR-022-007	++++	++				*	*	++	
COR-022-009	+++	++++		++		+	*	+++	
COR-022-010	+	++++	++++			*	*	+	
COR-022-011	++	+		+++	+++	*	*	++	* Rut
COR-022-012	++	+++		+		+		+	*Sp +Ank
COR-022-013	+++	++		++		*		*	++ Ank
COR-022-014	++	+		++++	++	*		++	
COR-022-015	++	+		+	++++	++		++	+ Sp
COR-022-016	+	*		++++	+	*		*	
COR-022-017	++				++++	*		++	

++++ Abundante(>40%)

+++ Comun (20-40%)

++ Pobre(10-20%)

+ Escaso(3-10%)

* Trazas (< 3%)

5.3.3 Análisis de DRX en muestras del sector ‘Buenavista’

En el sector de Buenavista se analizaron un total de 6 muestras, 4 pertenecientes a la Zona I y 2 a la Zona II.

Las muestras de la Zona I y la Zona II en el sector de Buenavista, por lo general presenta una mineralogía bastante similar, aunque es posible resaltar una mayor presencia de carbonatos en la Zona II (donde se identifico la dolomita, calcita y ankerita).

Cabe anotar también que debido a que en el afloramiento de este sector no fue posible tener una continuidad estratigráfica local, en relación con la ubicación exacta de cada muestra (a diferencia de la sección de la quebrada Chivor) no se puede notar la continuidad de algún mineral en especial a lo largo de la sección.

Tabla 3. Resultados de los análisis cualitativos y semi cuantitativos de DRX realizados en muestras del sector Buenavista. Se encuentra también la interpretación semicuantitativa realizada en base a los difractogramas. Se resaltan con diferentes colores los resultados de las muestras de las 2 zonas diferenciadas anteriormente (Verde para la zona I y amarillo para la zona II)

CODIGO	ALBITA	DOLOMITA	CALCITA MAGNESIANA	CALCITA	CUARZO	PIRITA	YESO	ILLITA/Moscovita	OTROS
COR-028-001	++	+		++++	+	*		+	
COR-028-002	++	*		++	+++	+	+	+++	
COR-028-003	++++	+		+		*		+	
COR-028-010	++++	+		++			++	+++	
COR-028-011	+	+		++++	*			+	++ Ank
COR-028-012	+++	+		++++	*	*			

++++ Abundante(>40%)

+++ Comun (20-40%)

++ Pobre(10-20%)

+ Escaso(3-10%)

* Trazas (< 3%)

5.4 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

El estudio de geoquímica isotópica de isótopos estables se realizó a un total de 8 muestras de carbonatos y piritas extraídas de venas presentes en la *Zona I* del afloramiento ubicado en el sector de Buenavista (Estación COR 028), con el fin de identificar la fuente de O, C y S procedente de los fluidos hidrotermales que afectaron las rocas sedimentarias de este sector.

5.4.1 Consideraciones previas

Los isótopos estables de un mismo elemento tienen las mismas características químicas y por lo tanto se comportan de manera casi idéntica. La diferencia de masas, debida a la diferencia en la cantidad de neutrones, provoca la separación parcial de los isótopos ligeros de los pesados durante reacciones físico-químicas, térmicas o biogeoquímicas; a este proceso se le llama fraccionamiento isotópico. Midiendo las relaciones de abundancia de estos isótopos en las fases coexistentes es posible reconstruir la historia química de un sistema.

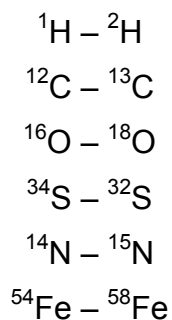
Los isótopos estables pueden ofrecer información importante acerca del origen de los fluidos mineralizantes, brindando datos como temperatura y condiciones fisicoquímicas. Los isótopos más usados son los de los elementos ligeros, que son además los más comunes en la naturaleza, corresponden a H, N, C, O y S (Tabla 4). Estos elementos intervienen en la mayoría de los procesos naturales y la razón por la cual son los más usados en este tipo de estudios es que estos elementos, pese a su pequeña masa, poseen dos o más isótopos estables cada uno (Recio y Subias, 2002).

Tabla 4. Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas.

Símbolo	Número Atómico	Número Másico	Abundancia (%)	Peso Atómico (uma)
H	1	1	99,985	1,007825
D	1	2	0,015	2,01410
¹² C	6	12	98,93	12,00000000
¹³ C	6	13	1,07	13,00335
¹⁴ N	7	14	99,634	14,00307
¹⁵ N	7	15	0,366	15,00011
¹⁶ O	8	16	99,759	15,99491
¹⁷ O	8	17	0,037	16,99914
¹⁸ O	8	18	0,204	17,99916
³² S	16	32	94,93	31,97207
³³ S	16	33	0,76	32,97146
³⁴ S	16	34	4,29	33,96786
³⁶ S	16	36	0,014	35,96709

Modificado de Redondo (2001).

A continuación se presentan las relaciones isotópicas más utilizadas. Estas relaciones se utilizan para la identificación de compuestos químicamente idénticos debido a que son características de cada material, de su génesis y de su historia evolutiva.



Las relaciones de isótopos estables son presentadas como un valor δ , dicho valor, cuando es positivo indica un enriquecimiento de la muestra en δ partes por cada

1000 con relación a un estándar predeterminado; de la misma manera, un valor negativo significa un empobrecimiento de la muestra.

- **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. Las 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 (Clayton *et al.*, 1975).

Los datos de composiciones isotópicas se muestran en razón de la diferencia de las relaciones entre el material analizado y un estándar calibrado específico. Estos estándares de calibración se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables.

SMOW (Standard Mean Ocean Water)	Composición isotópica promedio del agua oceánica destilada.
PDB (PeeDee Belemnite)	Composición isotópica obtenida del CO ₂ generado por la reacción de belemnites (Belemnitella americana) de la Formación PeeDee (Cretácico de Carolina del Sur, Norteamérica) con ácido ortofosfórico al 100%
CDT (Canyon Diablo Troilite)	Composición isotópica del azufre generado por la fase de la troilita (FeS) que se obtiene a partir de un meteorito de hierro recogido del Meteor Crater, Arizona.

- **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Carbono.** La procedencia del carbono presente en los sistemas hidrotermales puede ser identificada mediante los isótopos estables. El carbono que proviene de calizas marinas presenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a cero, el carbono de origen profundo (carbonatitas o kimberlitas) registra valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -5 y -8 y el carbono de procedencia orgánica muestra valores de $\delta^{13}\text{C}$ muy negativos, menores a -20. Es común que en un sistema se encuentren más de un tipo único de carbono, debido a la mezcla de carbonatos de diferente procedencia; esta mezcla de carbonatos de diferentes fuentes en un mismo sistema resultará en un valor isotópico mezclado.

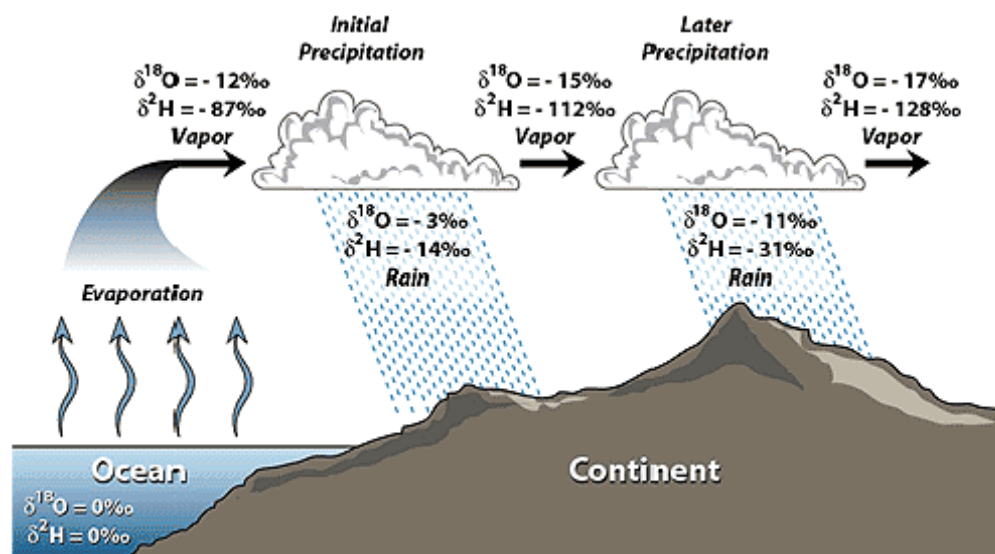
Otros factores fisicoquímicos que pueden influir en la variación del equilibrio químico entre las diferentes especies carbonatadas son la fugacidad de oxígeno, el pH, la temperatura, la fuerza iónica y el contenido total en carbono.

- **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Oxígeno.** El Oxígeno es uno de los indicadores más importantes, ya que este forma parte de prácticamente todos los materiales de interés geológico, rocas, minerales, y los fluidos con que estos interactúan. Durante todo el ciclo del agua ésta recircula e interactúa con

aguas de distintas procedencias, todos estos procesos quedan grabados en la notación isotópica del oxígeno presente en el agua del fluido de un sistema. De esta forma, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ (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 $\delta^{18}\text{O}$. Disoluciones por descargas de aguas dulces y circulación salina profunda son los principales procesos que hacen variar estos valores, mientras que los procesos de evaporación y congelación afectan fuertemente la composición isotópica de estas aguas, ocasionando empobrecimiento en isótopos ligeros y enriquecimiento en isótopos pesados.

La homogenización convectiva de la atmósfera sobre el océano induce un empobrecimiento en el contenido isotópico, lo que resulta en valores cercanos a -12 $\delta^{18}\text{O}$. El ascenso de las nubes y su desplazamiento, empobrece progresivamente, el contenido isotópico, alcanzando valores de hasta -17 $\delta^{18}\text{O}$. Las precipitaciones contribuyen a variar el contenido isotópico, produciendo disminuciones que presentan valores de hasta -11 $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 35).

Figura 35. Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico del Oxígeno y el H en el ciclo hidrológico.



Tomado de Microsoft Encarta (2000)

- **Generalidades de la Geoquímica isotópica del Azufre.** A lo largo del ciclo del azufre, ocurren distintos procesos de fraccionamiento isotópico tanto químico como biológico que producen variaciones en la abundancia natural de este elemento.

El fraccionamiento isotópico cinético es generado por los procesos bacterianos, ya que los sulfatos oceánicos se encuentran enriquecidos en ^{34}S , mientras que los sulfuros se muestran empobrecidos en este 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 $\delta^{34}\text{S}$.

Es común que se presenten problemas en los valores isotópicos de azufre determinados debido a que isótopos de ciertos compuestos pueden variar ampliamente, aún teniendo un mismo origen. Estos valores también dependen, como en el caso de los isótopos de carbono, de condiciones como temperatura, pH y fugacidad de oxígeno.

5.4.1 Datos de composición isotópica de C, O y S

A continuación se presentan los datos de la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$ realizados en muestras de sulfuros y carbonatos (ver Tabla 6). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se expresan con referencia a los estándares explicados anteriormente PDB y 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.

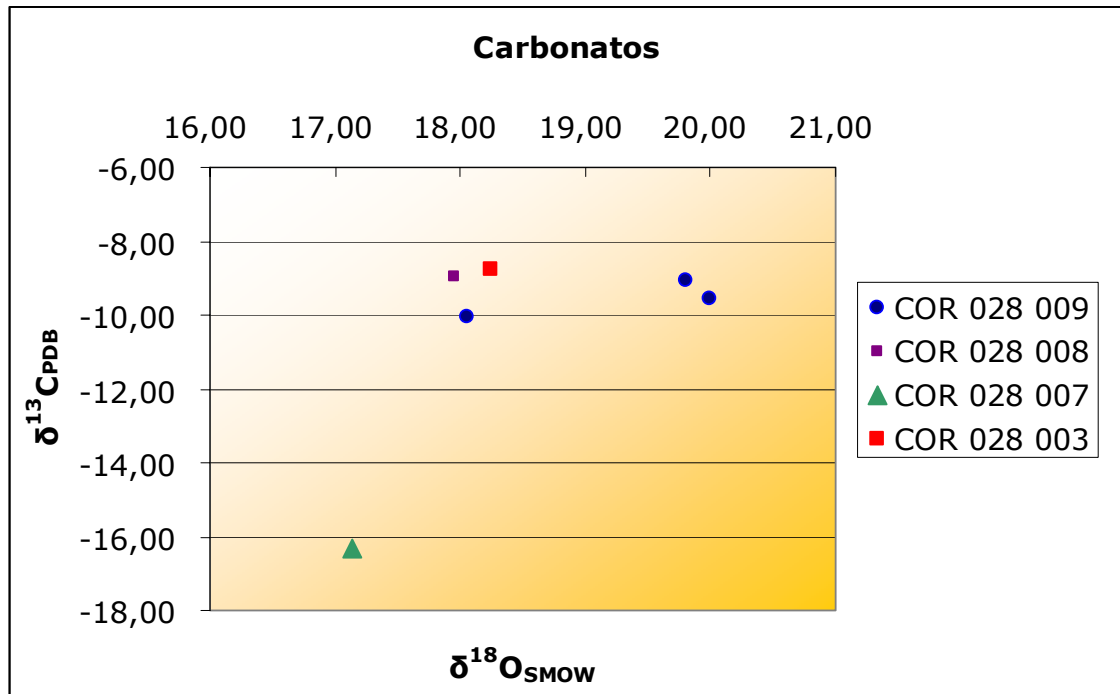
Tabla 6. Muestras analizadas con su respectiva composición isotópica.

Muestra	Sitio de muestreo	Mineral muestreado	Obser.	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)
COR 028 009	Vena de carbonatos	Cal	Clara	-10,03	-12,46	18,06	
		Cal	Rojiza	-9,08	-10,78	19,80	
		Cal	Oscura	-9,57	-10,59	19,99	
COR 028 008	Vena de calcita - pirita	Py					18,90
		Cal	Clara cristalina	-8,97	-12,57	17,96	
COR 028 007	Vena de calcita	Cal	Oscura	-16,34	-13,37	17,13	
COR 028 003	Lentes de pirita en Mudstone carbonoso	Py					4,90
	Vena de calcita fibrosa	Cal	Clara fibrosa	-8,77	-12,29	18,24	

En la figura 36 se presentan los resultados de las muestras de carbonatos analizadas, en la que se pueden inferir o proponer dos poblaciones de carbonatos ligeramente distintas. La composición de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ en ambas poblaciones es muy similar, las dos varían entre -8,7 y -10,3 ‰. Contrariamente, la composición de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$, si muestra algunas diferencias: una población con valores entre 17,96 y 18,24 ‰, y otra alrededor de 19,9 ‰. Aunque la variación no es muy grande, si es reconocible, además coinciden las características de los carbonatos con estos datos, es decir, los carbonatos de la población con los datos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ mas ligeros son carbonatos de color claro, mientras que los carbonatos de color oscuro pertenecen a la población de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ más ligero.

Graficando conjuntamente los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ de los carbonatos del sector de Buenavista (Figura 36) se pueden identificar igualmente las dos poblaciones mencionadas, con la excepción de la muestra COR-28-7, la cual muestra un carácter aun mas ligero del Carbono.

Figura 36. Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ vs. $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$.



Con relación a los valores del $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ obtenidos a partir del análisis de piritas, tanto de aquellas diseminadas en la roca, como aquellas presentes en venas, se pudo determinar que estas presentan valores entorno a 4,9‰ y 18,9‰, respectivamente.

5.4.2 Determinación de la composición isotópica del H_2O , CO_2 y H_2S

Para calcular la composición isotópica del agua en equilibrio con los carbonatos analizados, se estimó un intervalo teórico de temperatura, entre 200°C y 400°C considerando las temperaturas máximas alcanzadas durante el evento hidrotermal. Para este caso se empleó la ecuación de fraccionamiento isotópico propuesta por Zheng (1999):

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

Los valores isotópicos del $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ para el agua se reportan en la Tabla 7. Se realizó una gráfica para cada muestra, mostrando los resultados de la temperatura cada 50°C (Figuras 37, 38, 39 y 40).

Figura 37. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 009 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.

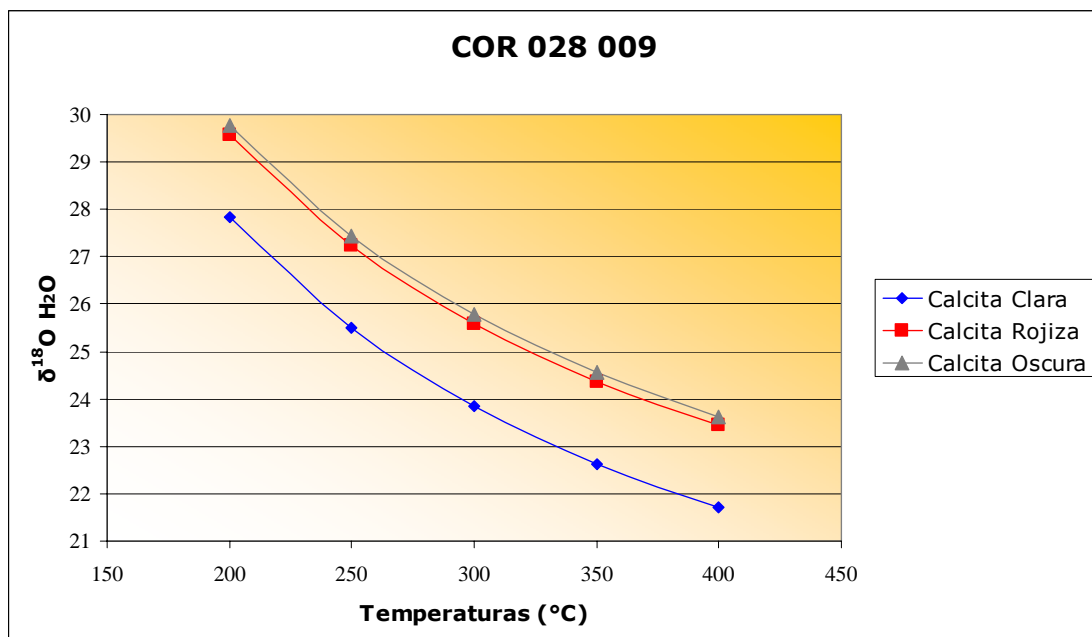


Figura 38. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista.

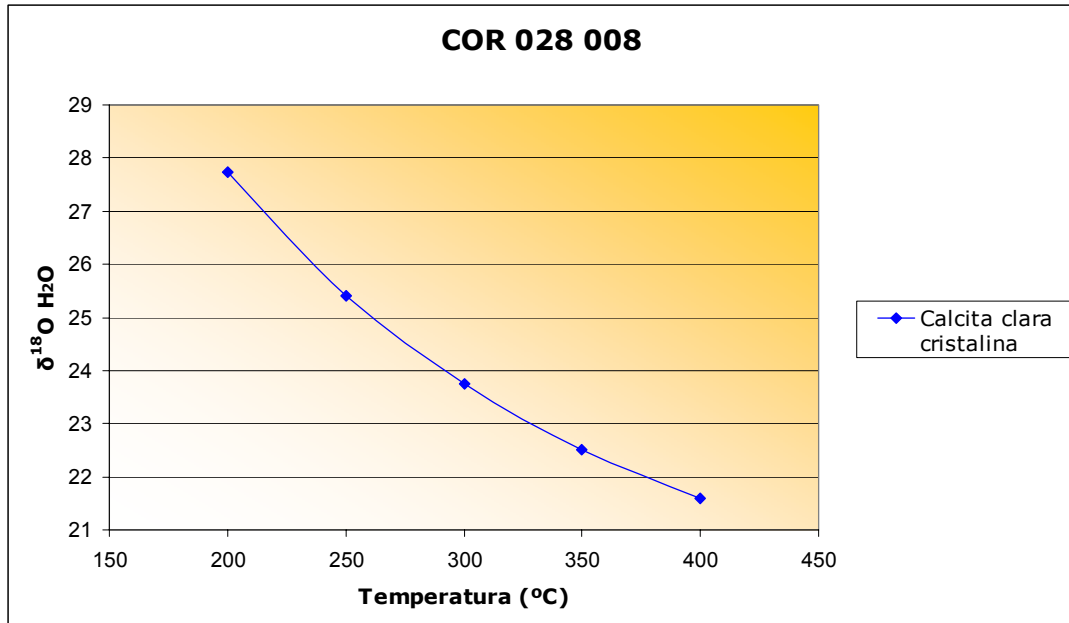


Figura 39. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.

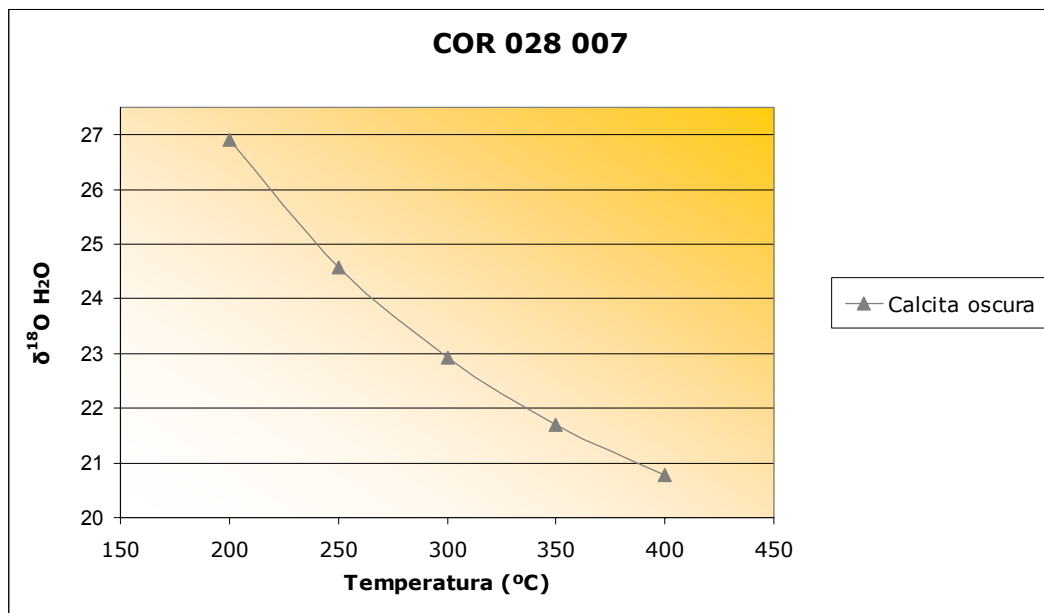
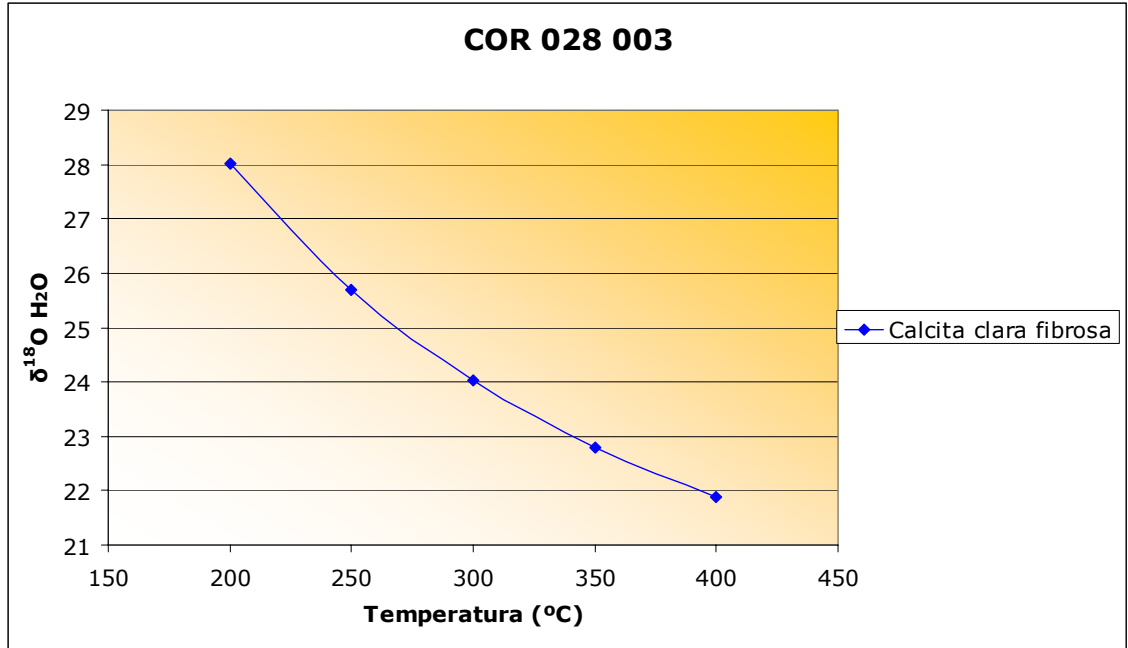


Figura 40. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con agua, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.



Se calculó también la composición isotópica del CO₂ en equilibrio con los carbonatos analizados, se utilizó el mismo intervalo de temperatura de 200°C a 400°C. La ecuación de fraccionamiento isotópico empleada para el isótopo δ¹³C_{PDB}, es la propuesta por Ohmoto y Rye (1979).

$$1000 \text{ Ln } \alpha_{\text{Calcita-CO}_2} = -0.891(10^9/T^3) + 8.557(10^6/T^2) - 18.11(10^3/T^1) + 8.27$$

Los valores isotópicos del δ¹³C_{PDB} para el CO₂ se reportan en la Tabla 8. Se realizó una gráfica para cada muestra, mostrando los resultados de la temperatura cada 50°C (Figuras 41, 42, 43 y 44).

Los valores del δ¹³C_{PDB} para el CO₂ en los carbonatos analizados, apuntan posiblemente a una fuente de materia orgánica oxidada. Por otro lado, los valores isotópicos del Oxígeno del agua en equilibrio con la calcita de venas analizada, apunta a aguas de origen metamórfico.

Figura 41. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 009 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.

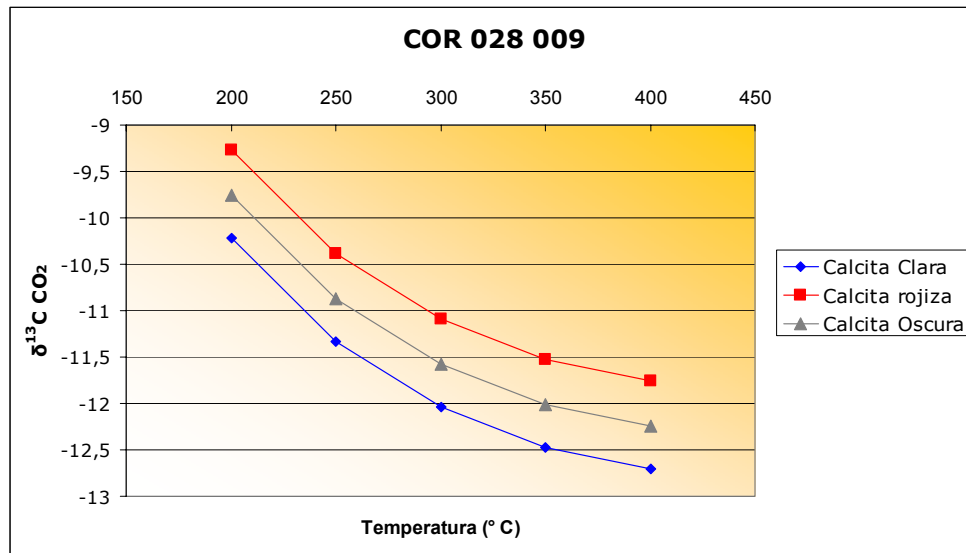


Figura 42. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita y pirita de la Zona I del sector de Buenavista.

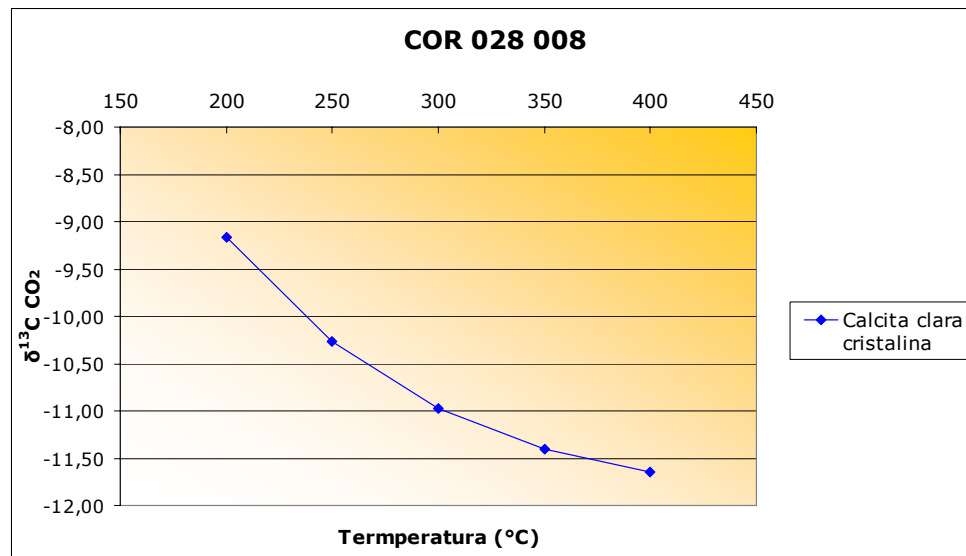


Figura 43. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 007 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.

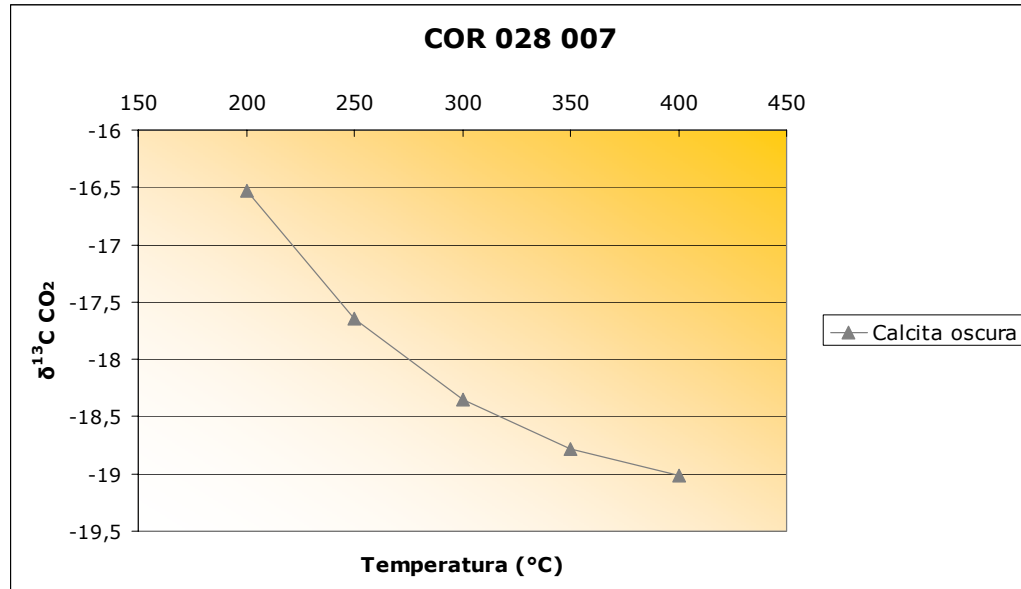


Figura 44. Fraccionamiento isotópico de carbonatos en equilibrio isotópico con CO₂, según variación de la temperatura, muestra COR 028 003 perteneciente a una vena de carbonatos de la Zona I del sector de Buenavista.

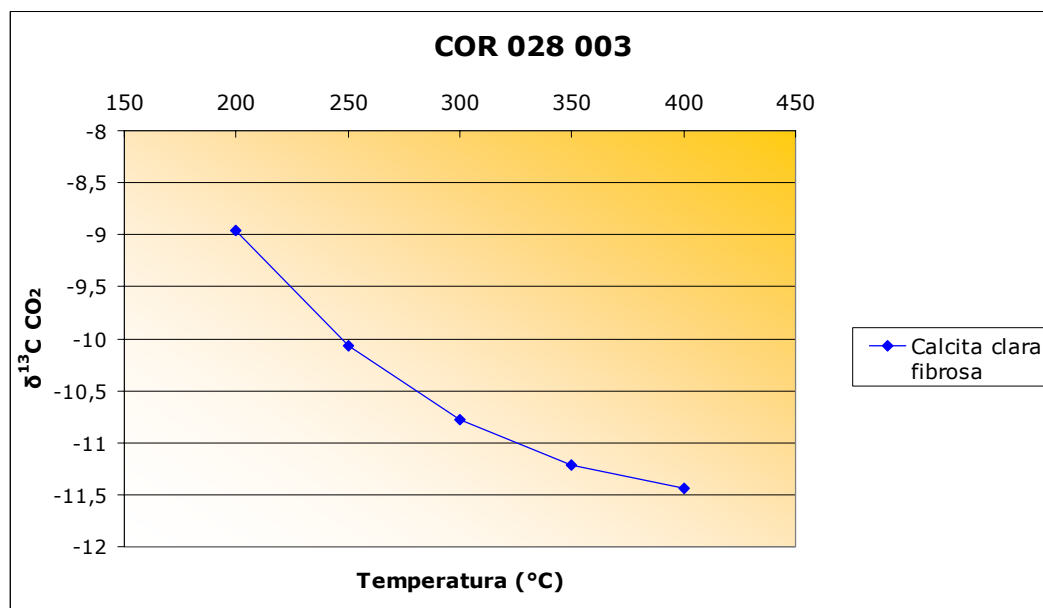


Tabla 7. Resultados de la composición isotópica $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ del los carbonatos en equilibrio con el agua (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.

			200 °C			250 °C			300 °C			350 °C			400 °C		
			$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O
COR 028 009	Cal	Clara	18,06	9,77	27,83	18,06	7,45	25,51	18,06	5,79	23,85	18,06	4,56	22,62	18,06	3,64	21,70
	Cal	Rojiza	19,80	9,77	29,57	19,80	7,45	27,25	19,80	5,79	25,59	19,80	4,56	24,36	19,80	3,64	23,44
	Cal	Oscura	19,99	9,77	29,76	19,99	7,45	27,44	19,99	5,79	25,78	19,99	4,56	24,55	19,99	3,64	23,63
COR 028 008	Cal	Clara cristalina	17,96	9,77	27,73	17,96	7,45	25,41	17,96	5,79	23,75	17,96	4,56	22,52	17,96	3,64	21,60
COR 028 007	Cal	Oscura	17,13	9,77	26,90	17,13	7,45	24,58	17,13	5,79	22,92	17,13	4,56	21,69	17,13	3,64	20,77
COR 028 003	Cal	Clara fibrosa	18,24	9,77	28,01	18,24	7,45	25,69	18,24	5,79	24,03	18,24	4,56	22,80	18,24	3,64	21,88

Tabla 8. Resultados de la composición isotópica $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ del los carbonatos en equilibrio con el CO₂ (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.

			200 °C			250 °C			300 °C			350 °C			400 °C		
			$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	<i>1000 ln a</i>	$\delta^{13}\text{C}$ CO ₂
COR 028 009	Cal	Clara	-10,03	-0,19	-10,22	-10,03	-1,30	-11,33	-10,03	-2,01	-12,04	-10,03	-2,44	-12,47	-10,03	-2,67	-12,70
	Cal	Rojiza	-9,08	-0,19	-9,27	-9,08	-1,30	-10,38	-9,08	-2,01	-11,09	-9,08	-2,44	-11,52	-9,08	-2,67	-11,75
	Cal	Oscura	-9,57	-0,19	-9,76	-9,57	-1,30	-10,87	-9,57	-2,01	-11,58	-9,57	-2,44	-12,01	-9,57	-2,67	-12,24
COR 028 008	Cal	Clara cristalina	-8,97	-0,19	-9,16	-8,97	-1,30	-10,27	-8,97	-2,01	-10,98	-8,97	-2,44	-11,41	-8,97	-2,67	-11,64
COR 028 007	Cal	Oscura	-16,34	-0,19	-16,53	-16,34	-1,30	-17,64	-16,34	-2,01	-18,35	-16,34	-2,44	-18,78	-16,34	-2,67	-19,01
COR 028 003	Cal	Clara fibrosa	-8,77	-0,19	-8,96	-8,77	-1,30	-10,07	-8,77	-2,01	-10,78	-8,77	-2,44	-11,21	-8,77	-2,67	-11,44

Por último se calculó la variación en la composición isotópica de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ de pirita en equilibrio con H_2S , estimada en temperaturas entre 200°C y 400°C. La ecuación de fraccionamiento isotópico empleada para este caso 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 H_2S , se reportan en la Tabla 9. Se realizó una gráfica para cada muestra, mostrando los resultados de la temperatura cada 50°C (Figuras 45 y 46).

Tabla 9. Resultados de la composición isotópica $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ de los carbonatos en equilibrio con el H_2S (en ‰) en temperaturas desde 200°C a 400°C.

		200 °C		
		$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	1000 ln α	$\delta^{34}\text{S}$ H_2S
COR 028 008	Pirita	18,90	1,79	20,69
COR 028 003	Pirita	4,90	1,79	6,69
		250 °C		
		$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	1000 ln α	$\delta^{34}\text{S}$ H_2S
COR 028 008	Pirita	18,90	1,46	20,36
COR 028 003	Pirita	4,90	1,46	6,36
		300 °C		
		$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	1000 ln α	$\delta^{34}\text{S}$ H_2S
COR 028 008	Pirita	18,90	1,22	20,12
COR 028 003	Pirita	4,90	1,22	6,12
		350 °C		
		$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	1000 ln α	$\delta^{34}\text{S}$ H_2S
COR 028 008	Pirita	18,90	1,03	19,93
COR 028 003	Pirita	4,90	1,03	5,93
		400 °C		
		$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	1000 ln α	$\delta^{34}\text{S}$ H_2S
COR 028 008	Pirita	18,90	0,88	19,78
COR 028 003	Pirita	4,90	0,88	5,78

Figura 45. Fraccionamiento isotópico de pirita en equilibrio isotópico con H₂S, según variación de la temperatura, muestra COR 028 008 perteneciente a una vena de calcita y pirita de la Zona I del sector de Buenavista.

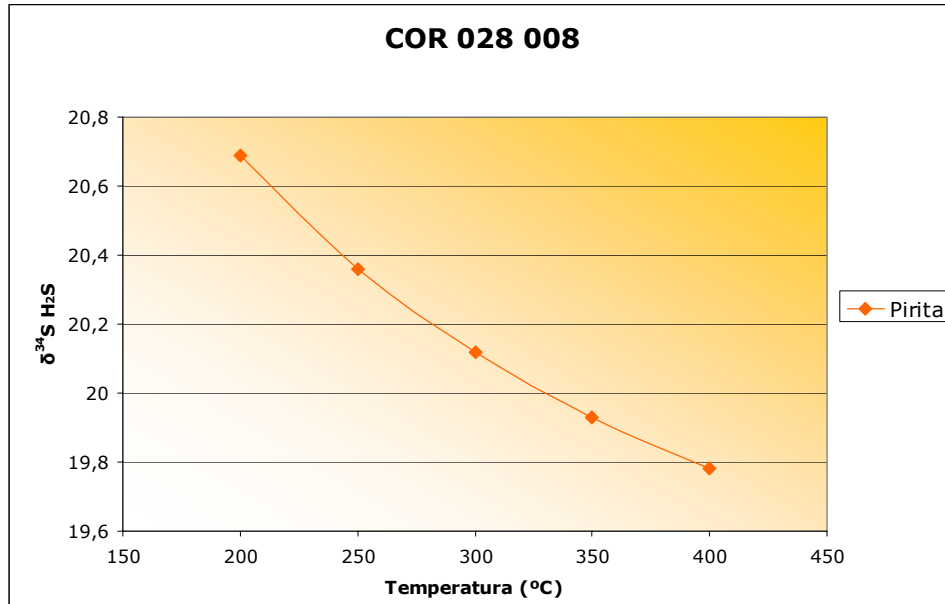
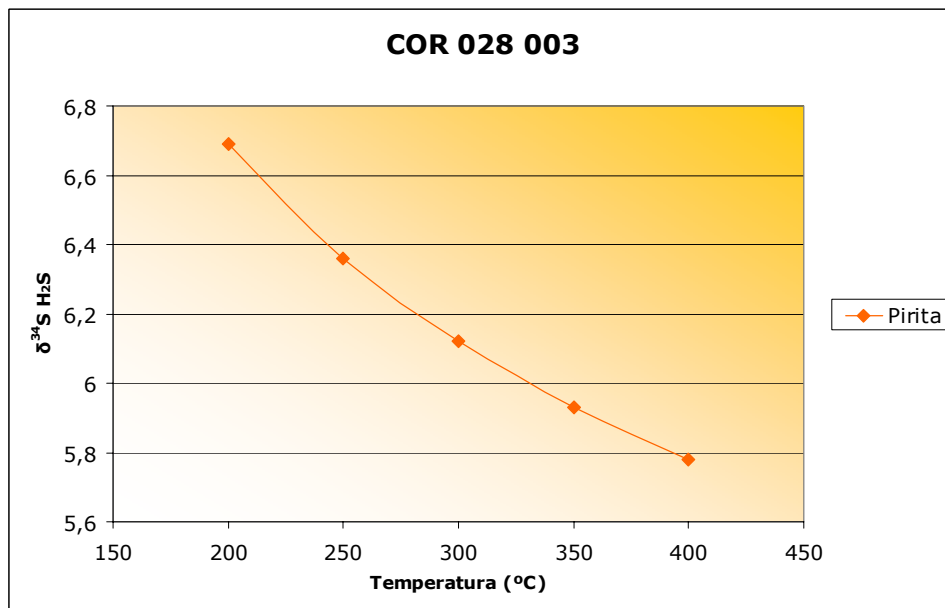


Figura 46. Fraccionamiento isotópico de pirita en equilibrio isotópico con H₂S, según variación de la temperatura, muestra COR 028 003 perteneciente a un lente de pirita en un mudstone carbonoso de la Zona I del sector de Buenavista.



La composición isotópica del H_2S ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) en equilibrio con pirritas, a una temperatura promedio de 300 °C, es de 20,1‰ para la pirita de vena y 6,1‰ para pirritas diseminadas en la roca. Esto sugiere que las pirritas de vena, se relaciona mas con un azufre de origen evaporítico, tal como se ha concluido en otros trabajos (por ejemplo, en Rollinson, 1996). Por otro lado, los valores de la pirita diseminada en la roca, apuntan a un azufre relacionado mas con la destrucción termal de la materia orgánica (Hoefs, 2004).

Los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ para el CO_2 en equilibrio con los carbonatos de venas, a una temperatura entorno a 300 °C, muestran dos grupos de valores: uno entorno a -11‰ y otro entorno a -18‰. Estos valores, sugieren la presencia de un carbono de origen orgánico, el cual posiblemente se relaciona con la oxidación de la materia orgánica diseminada en la roca a consecuencia de los fluidos percolantes.

Los valores isotópicos del $\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}}$ para el H_2O en equilibrio con carbonatos, a una temperatura de unos 300 °C, muestran valores entre 21 y 24 ‰. Estos valores, apuntan a una participación de aguas pesadas, las cuales parece proceder de una fuente metamórfica (reacciones metamórficas de devolatilización).

5.5 ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF)

Para análisis mediante el estudio de inclusiones fluidas se realizaron 5 secciones delgadas doblemente pulidas, de las cuales sólo se obtuvieron datos de petrografía y microtermometría de 2 muestras, las otras 3 secciones no pudieron ser analizadas debido a la disposición de sus cristales, ya que eran muestras de calcita fibrosa, y fue muy difícil encontrar en ellas las inclusiones. Las dos muestras analizadas son la COR 022 002, correspondiente a una vena de calcita ubicada en la Zona I al inicio de la sección de la quebrada Chivor; y la COR 028

003, correspondiente a otra vena de calcita ubicada en la Zona I del afloramiento en el sector de Buenavista.

5.5.1 Consideraciones previas

Las inclusiones fluidas (IF) son pequeños remanentes de fluidos atrapados en los minerales durante su cristalización o como producto de la cicatrización de fracturas posteriores a su formación. Sus tamaños normalmente son menores a 1mm (oscilan entre 1 y 10 μm), e inversamente proporcionales a su cantidad, a mayor cantidad menor tamaño. Su importancia radica en que con base a su análisis es posible conocer las condiciones de formación e inclusive posteriores eventualidades que afectaron a los minerales.

El fluido atrapado puede ser líquido, vapor o un sólido, la composición de las inclusiones incluye agua pura, salmueras de salinidad variable, gases, silicatos entre otros

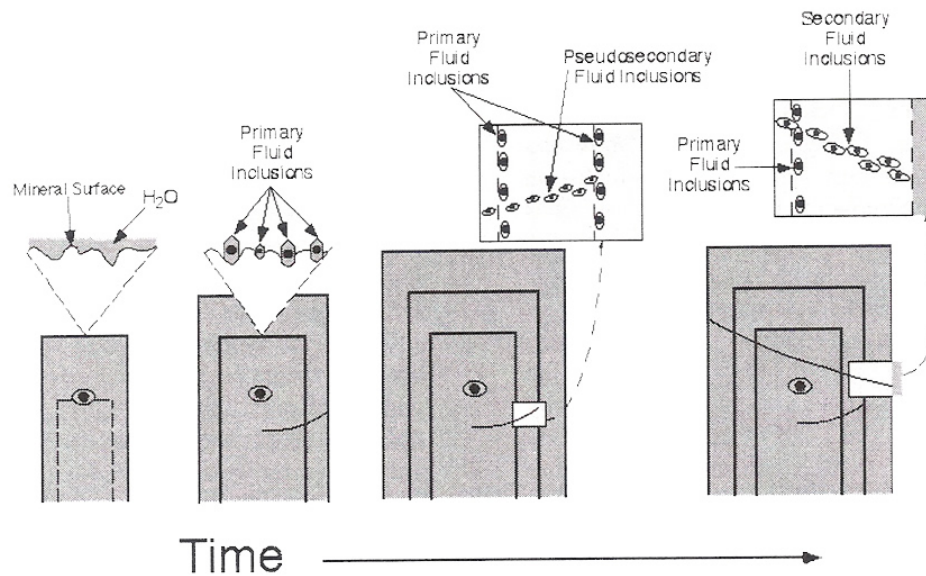
- **Clasificación de IF.** Las IF se pueden clasificar de acuerdo a sus características en varias clasificaciones propuestas por diferentes autores. A continuación se presentan las mas usadas.

Clasificación genética. Esta clasificación es basada en el tiempo de formación de la inclusión en el mineral hospedador (Roedder, 1984; Van Den Kerkhof, 2001). Según esta clasificación se pueden distinguir inclusiones primarias, pseudo secundarias y secundarias (Figura 47).

Las primarias son aquellas que se formaron durante el crecimiento del cristal y son producto del mismo.

Existen ciertos criterios que ayudan a identificarlas, entre ellos están la forma y orientación de la inclusión, 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, entre otras.

Figura 47. Representación esquemática mostrando la formación de inclusiones primarias, secundarias y pseudosecundarias durante el crecimiento de un cristal.



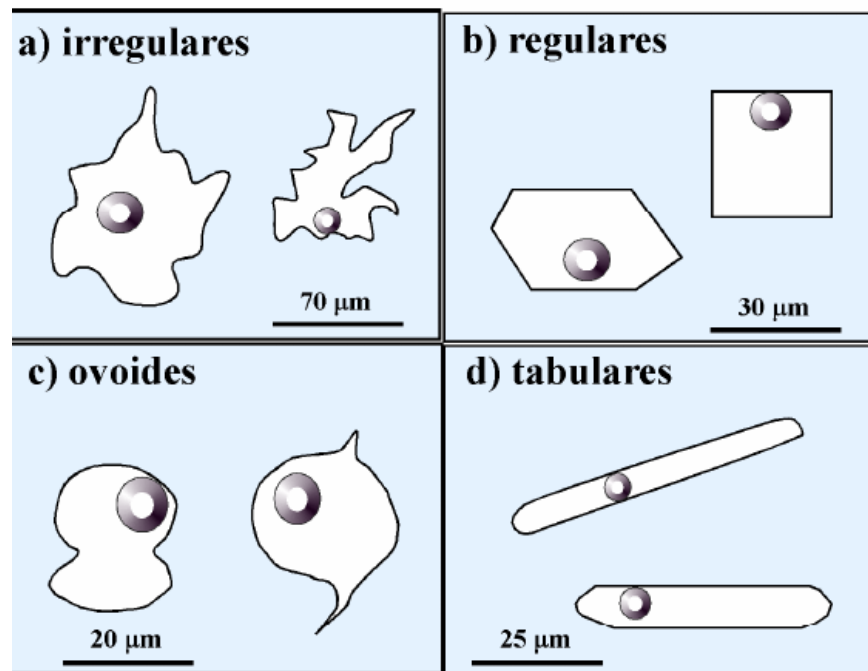
Tomado de Samson, Anderson y Marshall, 2003.

Por otra parte, las inclusiones secundarias son atrapadas con posterioridad a la formación del cristal, como producto de la cicatrización de fracturas que cortan todas las zonas de crecimiento del cristal. Estas inclusiones, a diferencia de las anteriores, se distinguen por su gran abundancia.

Las inclusiones pseudosecundarias, tienen una formación parecida a las secundarias diferenciadas en que las pseudo-secundarias son seguidas de un crecimiento adicional del cristal.

Clasificación morfológica. Se establece según la morfología de las paredes de las inclusiones, los criterios de determinación son: 1) irregulares, todas la inclusiones de formas aplastadas con bordes lobulados, esqueléticas, etc. , cuyos planos externos no parecen reflejar los rasgos estructurales del mineral encajante (Velasco, 2004); 2) regulares, los bordes muestran superficies planas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal o son paralelas a las caras cristalinas o a las direcciones de exfoliación (Velasco, 2004); 3) ovoides, tendencia a formas esferoidales u ovoides (Velasco, 2004) y 4) tabulares o prismáticas, de carácter alargado con los extremos más o menos redondeados (Velasco, 2004). La Figura 48 muestra este tipo de clasificación.

Figura 48. Clasificación morfológica de IF.



Tomado de Velasco, 2004

Clasificación según fases observables a temperatura ambiente. Según Nash y Theodore (1971), las IF se pueden clasificar según fases observables a temperatura ambiente en: IF Tipo I, II, III, IV y V (Figura 49).

Las **IF tipo I**, son inclusiones líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos, formadas a partir de fluido subsaturado en sales (<26 % en peso de NaCl eq.) rica en H₂O (líquido). Estas inclusiones por lo general homogenizan a líquido durante el calentamiento.

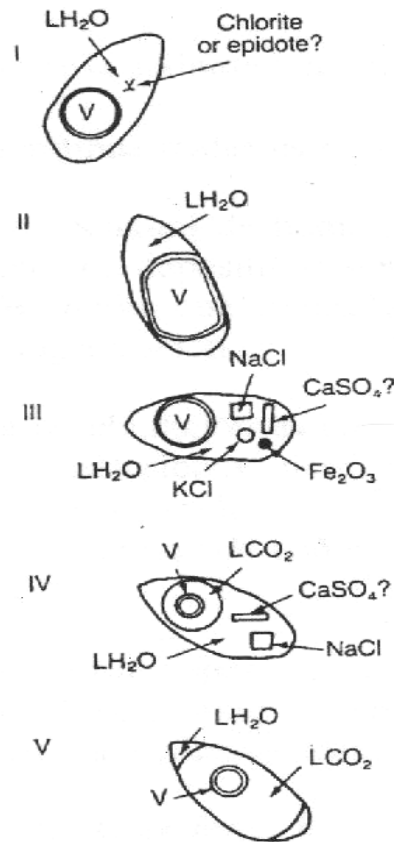
Las **IF tipo II**, son inclusiones líquidas con una gran burbuja de vapor, sin minerales hijos. Los fluidos asociados a estas inclusiones son ricos en volátiles. Este tipo de IF por lo general homogenizan a vapor.

Las **IF tipo III**, son inclusiones polifásicas (líquido+vapor+sólidos), contienen uno o más minerales hijos y están relacionadas con fluidos saturados en más de un >26% peso NaCl eq. Estas inclusiones contienen fases sólidas a temperatura ambiente, tales como halita o silvita. Existen dos subtipos: uno *subsaturado*, el cual al ser calentado sufre la desaparición primero de la sal y luego de la burbuja y; otro de tipo *saturado*, el cual al calentarse desaparece primero la burbuja y luego la sal.

Las **IF tipo IV**, se caracterizan por presentar dos fases líquidas y minerales hijos. Estas inclusiones por lo general son ricas en CO₂, frecuentemente presentan dos fases líquidas: una rica en H₂O, otra rica en CO₂ líquido, CO₂ gaseoso y una o más fases sólidas.

Las **IF tipo V**, son inclusiones de CO₂ líquido y vapor, y sin minerales hijos. Contienen agua líquida, CO₂ líquido y una burbuja pequeña de vapor. Corresponden a un fluido subsaturado en sales y rico en CO₂.

Figura 49. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente L = Líquido. V = Vapor.



Tomado de Nash y Theodore, 1971.

Clasificación según la naturaleza del fluido. Existen principalmente dos clasificaciones propuestas, la primera de ella se divide en:

1) Monofásicas, conformadas únicamente por un líquido (L), un gas (G) o un sólido (S), siendo las más raras las gaseosas puesto que se dan en fluidos muy ricos de CO₂ y CH₄ (Velasco, 2004).

2) Bifásicas, sólo presentan dos fases, siendo las más comunes las compuestas por líquido y vapor, los casos en que el contenido del gas es mayor son frecuentes en condiciones de ebullición (Velasco, 2004).

3) Trifásicas, poseen más de dos fases, no siempre corresponden a L + G + S, de hecho las más comunes corresponden a dos fases líquidas, L_{H_2O} y L_{CO_2} y a una fase gaseosa G_{CO_2} (Velasco, 2004).

4) Polifásicas, se dan cuando aparecen varios tipos de sólidos.

- **Microtermometría.** La determinación de las temperaturas de los cambios de fases de las inclusiones fluidas durante el enfriamiento y el calentamiento es a lo que se le llama microtermometría.

Mediante la microtermometría, las inclusiones nos revelan datos claves de temperatura, presión, densidad y composición de los fluidos que interactuaron con una roca.

La temperatura se obtiene a partir del encogimiento diferencial entre el cristal y la inclusión fluida durante el enfriamiento de la misma desde su temperatura de atrapamiento hasta su temperatura de observación (Figura 50). Esta diferenciación hace que aparezca una burbuja en el fluido a temperatura ambiente, lo único que se debe hacer es calentar la inclusión hasta que la burbuja desaparezca (temperatura de homogenización T_h).

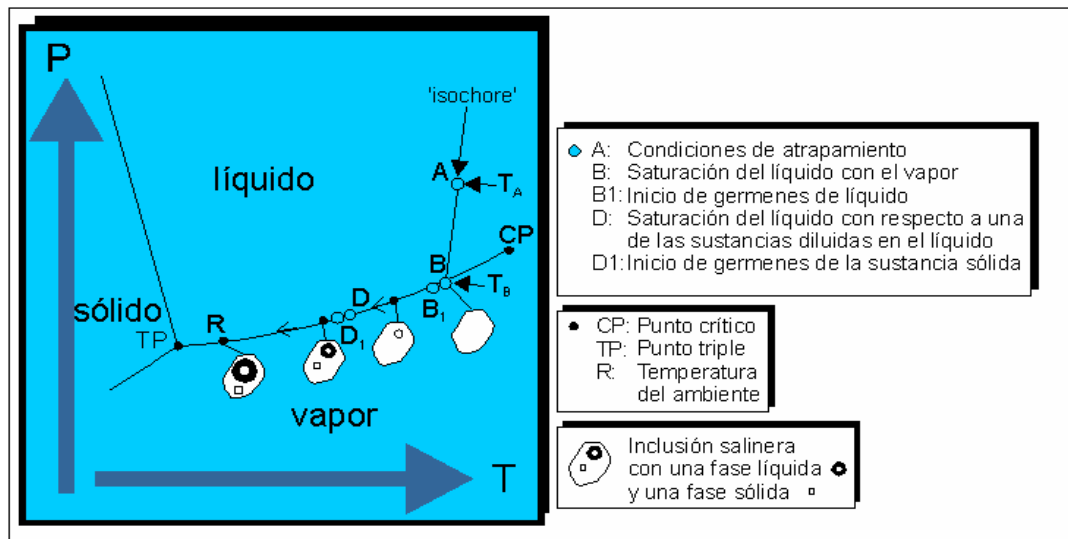
La presión del ambiente en el momento del atrapamiento se puede calcular a partir de datos experimentales con fluidos similares, y aunque algunos solamente provean un rango de presión aun así esta información es muy valiosa. Las presiones varían desde cerca de la atmosférica hasta varios kilobares.

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

La composición se puede hallar por medio de métodos no destructivos, por los que se pueden 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 más 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% en solutos, aunque varían entre 50 y 0 wt%. Los solutos consisten en cantidades mayores de Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, y otros componentes en menor cantidad. Varios iones individuales pueden ser predominantes aunque los más abundantes son el Na y Cl. El CO₂ como líquido o gas no es raro y puede ser abundante y el CH₄ está presente en muchas inclusiones.

Figura 50. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral.



Tomado <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro>

Antes de que cualquier grupo de IF pueda ser usado para estudiar 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 formó la inclusión y que no haya sido reequilibrado con posterioridad.

Para que esto se cumpla las inclusiones deben cumplir con las siguientes condiciones establecidas por Roedder (1984):

1. Que las inclusiones atrapen una sola fase homogénea.
2. Que las inclusiones representen un sistema isocórico (volumen constante)
3. Que después del atrapamiento nada haya sido añadido o removido de la inclusión.

Estas condiciones deben ser confirmadas durante la petrografía y las mediciones microtermométricas.

5.5.2 Petrografía de IF

A continuación se presenta una descripción petrográfica de las secciones escogidas. En la tabla 10 se muestran en resumen los datos hallados luego de la petrografía de IF realizada.

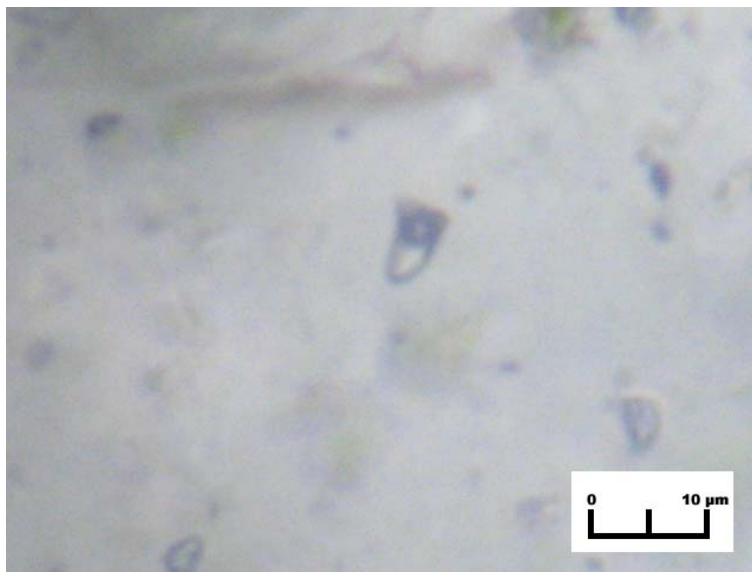
Tabla 10. Tabla con los resultados de la petrografía de inclusiones fluidas.

MUESTRA	MINERAL	FASES %				TIPO GENETICO	TAMAÑO μm	MOVIMIENTO BURBUJA
		L	V	S1	S2			
COR 028-003	CALCITA	90	5	5		PRIMARIAS	15-40	NO
		75	25			SECUNDARIAS	5-15	SI
COR 022-002	CALCITA	60	40			SECUNDARIAS	3-10	SI

- **COR 022 002.** Lámina realizada de una vena de calcita perteneciente a la Zona I, recolectada al inicio de la sección de la quebrada Chivor.

En esta muestra se reconocen inclusiones fluidas bifásicas secundarias dispuestas a manera de caminos con tamaños entre 3 -10 μm , las fases se distribuyen de la siguiente manera: salmuera 60% y la burbuja 40%. Esta burbuja presenta un leve movimiento. Figura 51.

Figura 51. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas secundarias bifásicas encontradas en la muestra COR 022 002, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de la Quebrada Chivor.



- **COR 028 003.** Lámina que corresponde a una vena de calcita perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista.

En esta muestra se identifican tanto inclusiones primarias como secundarias.

Las primarias se caracterizan por ser inclusiones polifásicas de formas irregulares con una burbuja que ocupa el 5%, un cristal de halita que ocupa el 5% y la salmuera un 90%. Los tamaños oscilan entre 15 – 40 μm (Figura 52).

Se identificaron dos familias diferentes de inclusiones secundarias, unas bifásicas con movimiento de su fase de vapor la cual ocupa el 15% y tamaños que oscilan entre los 5 y las 15 μm ; y una segunda familia de inclusiones polifásicas con

sólidos de halita que ocupan un 10 %, la burbuja 10% y la salmuera un 80%.
Figura 53.

Figura 52. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas primarias polifásicas encontradas en la muestra COR 028 003, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista.

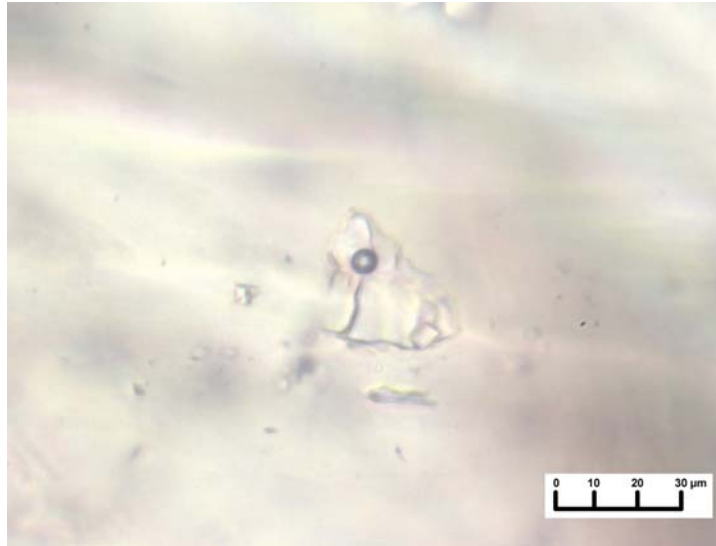
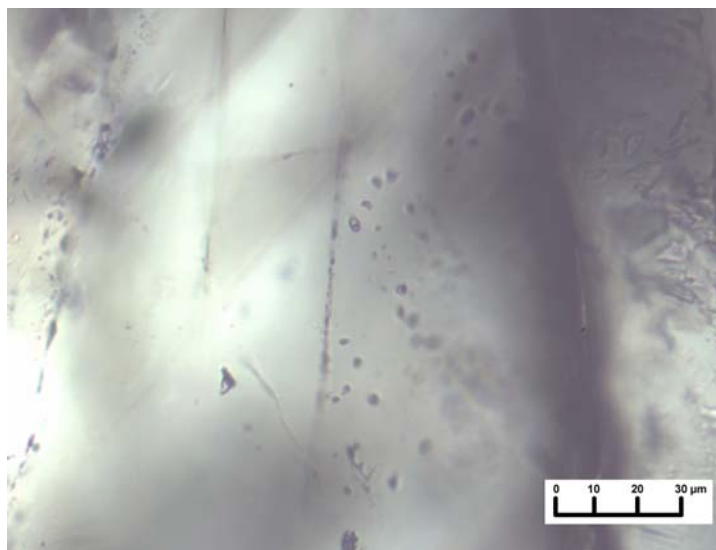


Figura 53. Microfotografía tomada a 50X de las inclusiones fluidas secundarias polifásicas encontradas en la muestra COR 028 003, correspondiente a una vena de calcita de la Zona I del sector de Buenavista.



5.5.3 Microtermometría de inclusiones fluidas

El análisis microtermométrico se realizó a las 2 láminas antes mencionadas. El estudio realizado consistió en la toma los datos de temperatura de los cambios de fases de las inclusiones fluidas, durante su enfriamiento y posterior calentamiento. La Tabla 11 describe los resultados obtenidos.

Las temperaturas tomadas se denominan:

T_{pf_v} = primera fusión detectable del vapor

T_{pf_L} = primera fusión detectable del líquido

T_{ffhh} = temperatura de la fusión final de la hidrohalita

T_{ffi} = temperatura de fusión final del hielo

T_{fc} = temperatura de fusión del clatrato

T_{fh} = temperatura de fusión de la halita

T_h = temperatura de homogenización total del fluido

T_d = 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 (T_h).

El análisis microtermométrico presentó diversas dificultades las cuales limitaron la cantidad de datos obtenidos, la mayor de ellas fue la alta densidad de algunas de las inclusiones que provocaron 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 inclusiones fluidas.

Tabla 11. Tabla con los datos de microtermometría realizada en las muestras COR 028 003 y COR 022 002. T_{pf}= Temperatura de la primera fusión detectable del liquido, T_{fc}= Temperatura de fusión del clatrato, T_{fh}= Temperatura de fusión final de la hidrohalita, T_{ffi}= Temperatura de fusión final del hielo, T_{hh}= Temperatura de homogenización de la halita, T_{h-L} = temperatura de homogenización a liquido, T_d= Temperatura de decrepitación.

MINERAL	MUESTRA	TIPO GENETICO	T _{pf} (°C)	T _{fh} (°C)	T _{ffi} (°C)	T _{fh} (°C)	T _{h-L} (°C)	T _d (°C)
CALCITA	COR 028-003	PRIMARIAS (POLIFÁSICAS)	-	-	-	218	189	-
		SECUNDARIAS (POLIFÁSICAS)	-54	-	-4	288 a 295	185 a 221	-
CALCITA	COR 022-002	SECUNDARIAS (BIFÁSICAS)	-59	-35	-3	-	94	-

- **COR 022-002.** Lámina realizada de una vena de calcita perteneciente a la Zona I, recolectada al inicio de la sección de la quebrada Chivor.

Durante el enfriamiento esta muestra presenta temperaturas eutécticas entre -59 y los -51°C, temperatura de fusión final de la hidrohalita cercana a los -35°C, y temperaturas de fusión final del hielo a los -3 °C.

En el calentamiento la inclusión alcanzo la homogenización a los 94 °C.

- **COR 028-003.** Lámina que corresponde a una vena de calcita perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista.

Las inclusiones primarias durante los análisis microtermométricos mostraron durante el calentamiento temperaturas de homogenización del vapor a los 189 °C y homogenización de la halita a los 218 °C.

Las inclusiones fluidas secundarias polifásicas presentan temperaturas eutécticas de -54 °C con fusión del hielo a los -4 °C.

Las temperaturas de homogenización durante el calentamiento son:

- Homogenización del vapor 221 °C

- Homogenización de la halita 290 °C.

Aunque se requiere una mayor densidad de análisis y muestras para estudios de IF, se puede establecer con base en las dos muestras estudiadas, que las IF con sólidos, solo se presentan en el sector de Buenavista (Figura 52). Contrariamente, en el sector Q. Chivor, solo se reconocieron IF bifásicas.

Considerando que las IF polifásicas (sobresaturadas en sales, con halita), se relacionan con los fluidos mineralizantes generadores de esmeraldas (Trabajos inéditos, tesis de grado Ortegón, M; Tarazona, C; Silva, N; 2008) se concluye que el sector de Buenavista es una área esmeraldífera potencial.

5.5.4 Datos físico-químicos de inclusiones fluidas

De los datos microtermométricos obtenidos fueron procesados únicamente los que presentaron sistemas composicionales mas sencillos y datos completos, por este motivo solo se pudieron procesar datos de las inclusiones bifásicas de la muestra COR 022 002.

Estos datos fueron analizados mediante el uso de los programas AqSo 2 a 3, BULK e ISOC, disponibles en la página web del *Institute of Geological Sciences*, <http://institute.unileoben.ac.at/mineralogie/Bakker/Ronald.html> y elaborados por el equipo del profesor Ronald J. Bakker de la Universidad de Leoben, Austria. Los programas permitieron determinar las propiedades de las soluciones acuosas, la densidad y el volumen de los componentes de las inclusiones fluidas para elaborar las isócoras de un sistema fluido.

La obtención final de los datos fisicoquímicos termina con la elaboración de un gráfico que muestra la intersección de una isócora con gradientes litostáticos e hidrostáticos como se muestra en la Figura 54.

En la figura 54 se observa la isócora proyectada del sistema $H_2O + NaCl + CaCl_2$ de la muestra COR 028 002 en color azul oscuro, junto con la línea de gradiente hidrostático en fucsia y a la línea de gradiente litostático en amarillo.

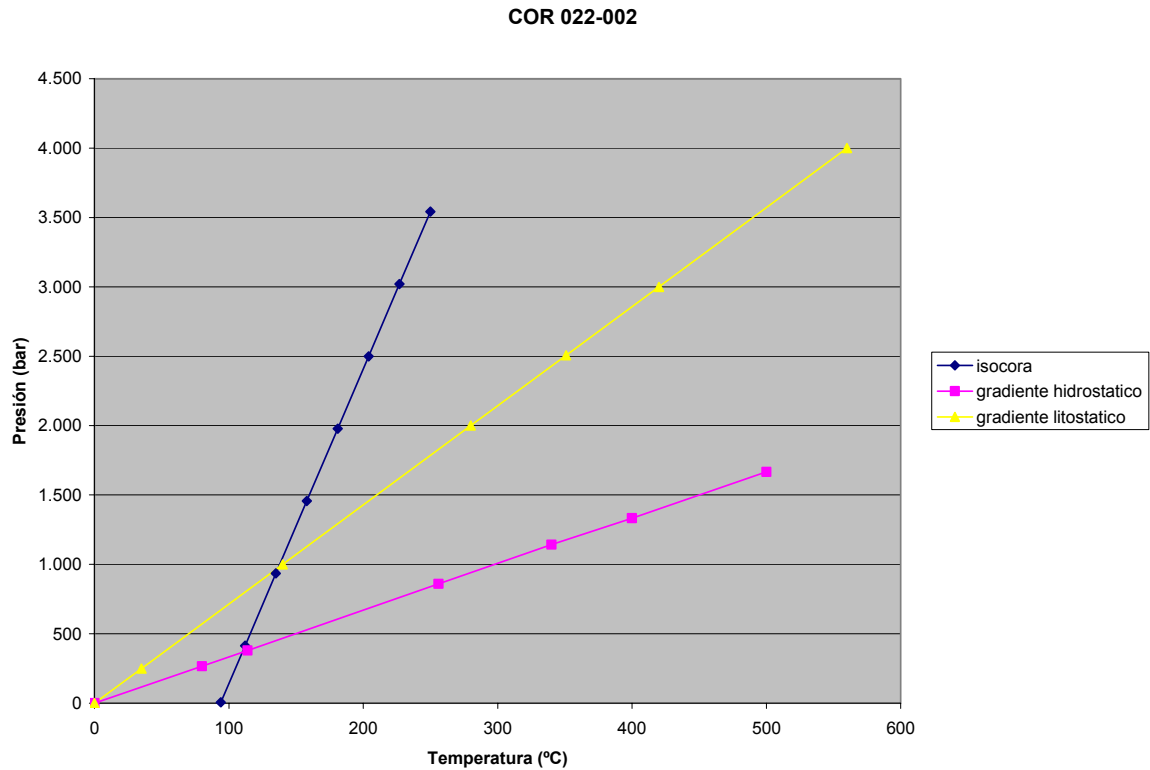
El punto de intersección de la línea de gradiente hidrostático con la línea de la isócora corresponde al punto de temperatura a presión mínima corregida de atrapamiento, para este caso en particular, 114 °C y 379,9 bares. Mientras que el punto de intersección del gradiente litostático con la isócora corresponde a la temperatura a presión máxima corregida de atrapamiento, para este caso 140 °C a 1000 bares.

A continuación se presenta la grafica de la isócora obtenida junto con la tabla que contiene los resultados fisicoquímicos de las inclusiones bifásicas de la muestra COR 022 002 (Figura 54 y tabla 12).

Tabla 12. Tabla donde se consignan los datos arrojados por la gráfica de la isócrona de la muestra COR 022 002, que corresponde a una vena de calcita de la Zona I del sector Quebrada Chivor.

MUESTRA COR 022-002	
Salinidad (%W NaCl)	0,057596
Densidad (g/cc)	1,015543
Sistema químico	NaCl-H ₂ O -CaCl ₂
Temperatura mínima (°C)	94
Presión mínima (bar)	5,411
Temperatura mínima corregida (°C)	114
Presión mínima corregida (bar)	379,9
Temperatura máxima corregida (°C)	140
Presión máxima corregida (bar)	1000

Figura 54. Gráfica de la isócora de las inclusiones fluidas bifásicas de la muestra COR 022 002, que corresponde a una vena de calcita de la Zona I del sector Quebrada Chivor.



5.6 ANÁLISIS DE QUÍMICA MINERAL

Los análisis de química mineral fueron realizados a seis secciones delgadas: COR 022 003, COR 022 011 y COR 022 014 en el sector de la Quebrada Chivor y COR 028 001, COR 028 002, COR 028 09 y COR 028 011 en el sector Buenavista.

El fin de estos análisis es conocer la composición química de los diferentes minerales para así ver diferencias en la cristalización del fluido.

5.6.1 Consideraciones previas

El microscopio electrónico de barrido (*SEM – Scanning Electron Microscope*) es un tipo de microscopio electrónico que toma imágenes de la superficie de una muestra barriendo la muestra con un haz de electrones de alta energía. Estos electrones interactúan con los átomos que forman parte de la muestra produciendo señales que dan información acerca de ésta.

El SEM produce varias señales diferentes que incluyen Electrones secundarios, Electrones Retrodispersados, Rayos X característicos y Catodoluminiscencia.

Estas señales no provienen del haz de electrones que chocan con la superficie de la muestra sino de la interacción de este haz con la superficie (o cerca de ella) de la muestra.

- **Rayos-X característicos:** Los rayos X se emiten cuando el haz de electrones remueve un electrón interno de la muestra, lo que causa que un electrón de mayor energía llene ese espacio y, de esta manera, entregue energía. Estos rayos X se utilizan para saber la composición química de la muestra.

En este trabajo, específicamente, se utilizó un dispositivo de Difracción de rayos-x acoplado al SEM. Los datos que entrega este dispositivo, acerca de la química mineral, son datos cualitativos, sin embargo, por medio de la interpretación de los difractogramas que se producen, es posible inferir, por medio de un software, datos semi-cuantitativos.

- **Electrones retrodispersados:** Los electrones que salen retrodispersados de la muestra pueden ser utilizados también para producir una imagen. Estas imágenes se utilizan en combinación con los resultados de los rayos-x característicos para tener una idea de la composición elemental de una muestra.

Son electrones de alta energía que se originan en el haz de electrones y son reflejados o retrodispersados desde la muestra.

Las imágenes de electrones retrodispersados se usan para detectar contrastes entre áreas con diferente composición química, especialmente cuando el número atómico promedio de cada región es diferente, ya que el brillo de las imágenes tiende a aumentar proporcionalmente con este. Esta herramienta es útil para distinguir las diferentes fases minerales y la homogeneidad de un mineral

En este trabajo se utilizó el microscopio electrónico que se encuentra en las instalaciones del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP). Las características de este microscopio se encuentran consignadas en la tabla 13.

Tabla 13. Características del Microscopio Electrónico de Barrido usado en los análisis, marca LEO 1450 VP.

Resolución	5.5nm a 30kV
Ampliación	9x a 900,000x
Aceleración de voltaje	200V a 30kV
Variable de presión de vacío	1Pa a 400Pa
Detectores	SE (Electrones secundarios) BSD (Electrones retrodispersos)
Tamaño de la cámara	300mm (a) x 270mm (l) x 224mm (h)
Cámara motorizada de 5 ejes	X = 100mm Y = 125mm Z = 60mm T = 0 - 90 ° R = 360 °
Resolución del procesador de imágenes	Hasta 3072 x 2304 pixeles

Los resultados obtenidos consisten de una lista de porcentajes en peso de los principales cationes que constituyen los diferentes minerales. Estos datos se presentan a continuación en forma de tablas, donde se muestran los respectivos porcentajes y figuras donde se muestran los puntos sobre los cuales se realizaron los análisis.

5.6.2 Datos obtenidos en plagioclasas

Como se mencionó anteriormente, a pesar de la precisión del SEM, la herramienta usada para determinar estos porcentajes solo arroja resultados semi-cuantitativos, lo que disminuye notablemente la fiabilidad de los resultados.

Además cabe mencionar que en este trabajo se esperaba encontrar en cada área de las imágenes de electrones retrodispersados una heterogeneidad química dentro de cada mineral, lo que no fue posible; por este motivo es que se encuentra una baja densidad de análisis en cada muestra, los puntos cercanos a donde se hacían los análisis tenían, según el analizador de rayos-x del SEM, exactamente la misma composición química.

En las muestras del sector de la quebrada Chivor solo se documentaron plagioclasas en dos análisis de la muestra COR 022 014, en donde se encontró, una Albita dentro de una vena perpendicular a la laminación en una muestra de la Zona II (Ver Figura 55); y una plagioclasa que fue clasificada como oligoclasa, debido a su contenido de calcio, en una vena de calcita que corta esta misma laminación (Ver Figura 56). Los resultados obtenidos se reportan en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en plagioclasas en las muestras del sector de la Quebrada Chivor.

Muestra	Análisis	Cationes (% Peso)						
		C	O	Al	Na	Si	K	Ca
COR 22 14	2	14,38	47,94	7,96	5,59	24,13		
	6	11,90	47,56	8,13	5,90	25,69		0,82

Figura 55. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una plagioclasa.

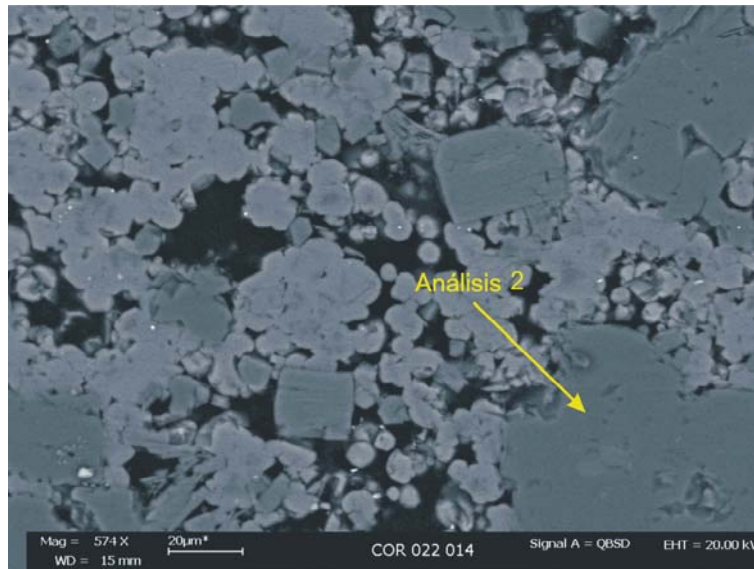
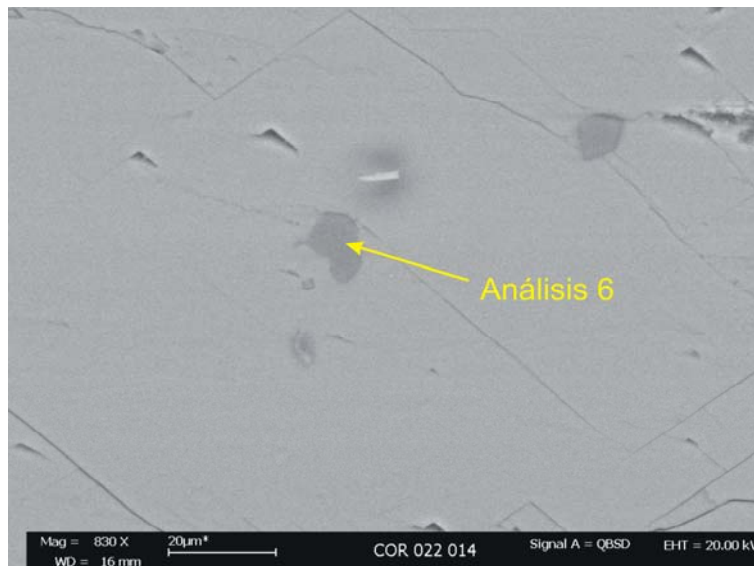


Figura 56. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 6 sobre una plagioclasa.



En las muestras del sector Buenavista se encontró un análisis que luego de la clasificación correspondió a una Andesina (?), por su contenido de calcio. Este análisis se encuentra en la muestra COR 028 009, en la roca caja de una vena de calcita pura, muy cerca al contacto con esta (Ver Figura 57).

Todas las demás muestras fueron clasificadas como Albitas, ya que ninguna contiene ninguna cantidad de calcio o potasio. En las Figuras 58, 59, y 60 se encuentra la ubicación de estos análisis en las respectivas muestras, y los resultados de estos análisis se encuentran consignados en la tabla 15.

Figura 57. Microfotografía de la muestra COR 028 009, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una plagioclasa.

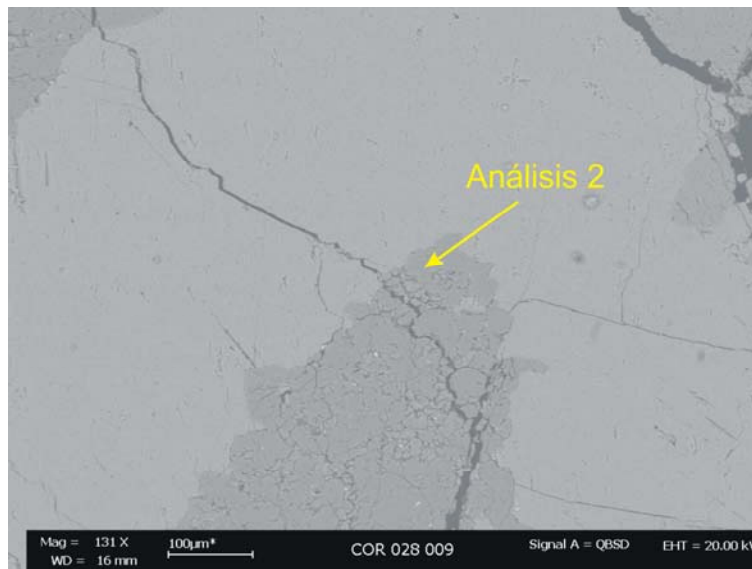


Figura 58. Microfotografía de la muestra COR 028 001, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una plagioclasa.

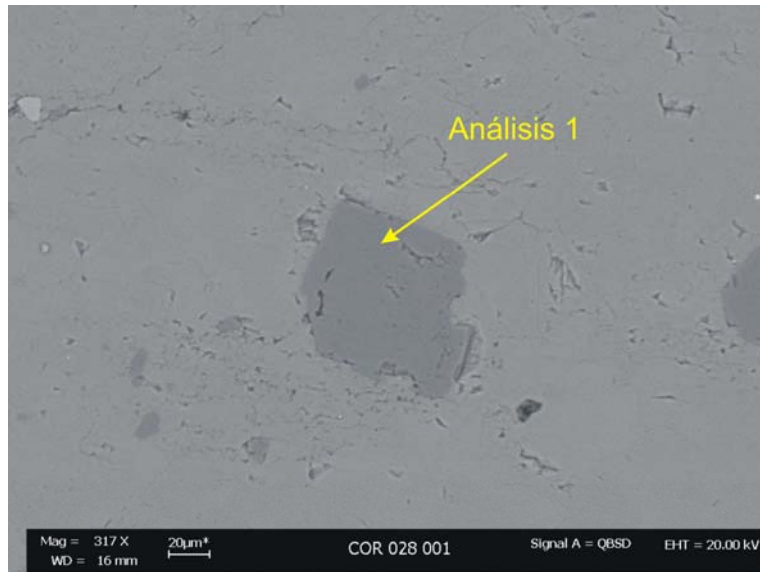


Figura 59. Microfotografía de la muestra COR 028 002, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 2 y 3 sobre plagioclasas.

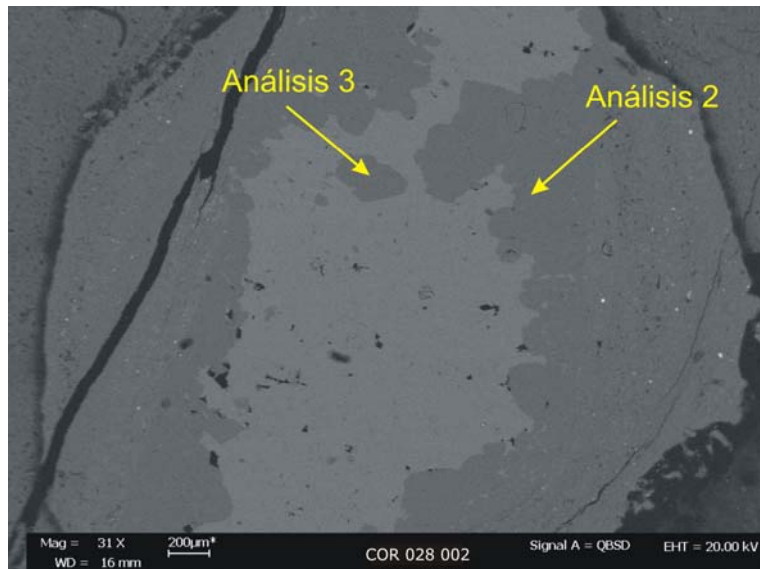


Figura 60. Microfotografía de la muestra COR 028 011, perteneciente a la Zona II del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 1 y 2 sobre plagioclasas.

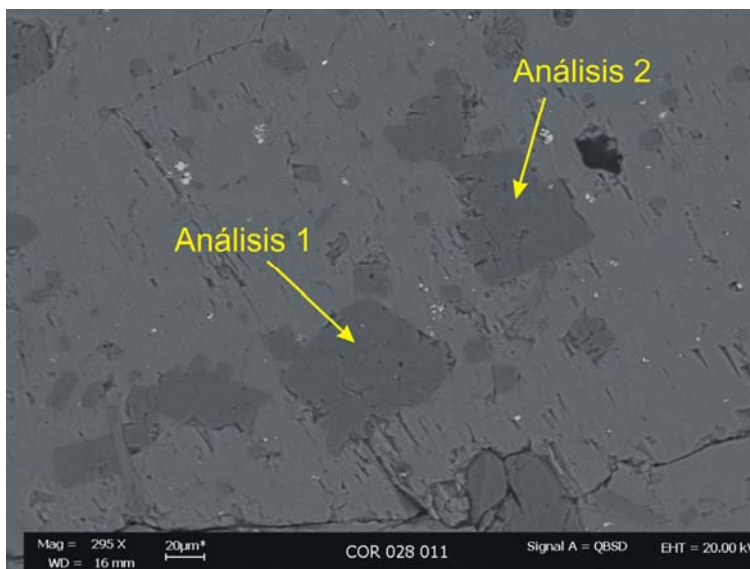


Tabla 15. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes plagioclasas en las muestras del sector Buenavista.

Muestra	Análisis	Cationes (% Peso)						
		C	O	Al	Na	Si	Mg	Ca
COR 28 01	1	8,54	50,71	7,89	6,25	26,61		
COR 28 02	2	11,37	49,27	8,53	6,01	24,82		
	3		51,40	9,20	7,98	31,42		
COR 28 09	2	19,38	47,63	6,28	4,62	18,62	0,70	2,77
	3		50,68	9,42	6,67	33,23		
COR 28 11	1		52,63	10,35	6,95	30,07		
	2	6,32	50,12	8,21	6,82	28,53		

5.6.3 Datos obtenidos y clasificación de carbonatos

En las muestras analizadas de la Quebrada Chivor, se encontró Dolomita en dos de las muestras, ambas pertenecientes a la Zona II. Los demás análisis se clasificaron todos como calcitas puras, es decir, sin ningún constituyente aparte de

calcio, carbono y oxígeno (el análisis 3 de la muestra COR 022 014 contiene una cantidad de 1,81 %Peso de Magnesio, pero este porcentaje no es suficiente para clasificarla como Dolomita). En las Figuras 61, 62, 63 y 64 se aprecia la ubicación de los análisis consignados en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en carbonatos del sector de la Quebrada Chivor.

Muestra	Análisis	Cationes (% Peso)			
		C	O	Mg	Ca
COR 22 03	3	15,67	49,57		34,76
	4	14,55	53,93	10,15	21,37
COR 22 11	3	13,01	49,55		37,44
COR 22 14	3	14,62	50,42	1,81	33,15
	4	13,95	51,11	10,59	24,35
	5	13,34	50,11		36,55
	7	12,96	49,43		37,61

Figura 61. Microfotografía de la muestra COR 022 003, perteneciente a la Zona I del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación de los análisis 3 y 4 sobre carbonatos (calcita y dolomita respectivamente).

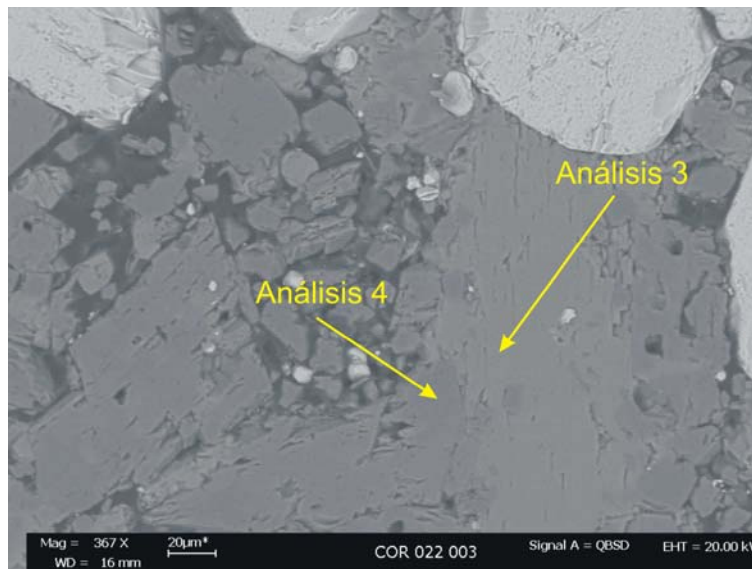


Figura 62. Microfotografía de la muestra COR 022 011, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 3 sobre una calcita.

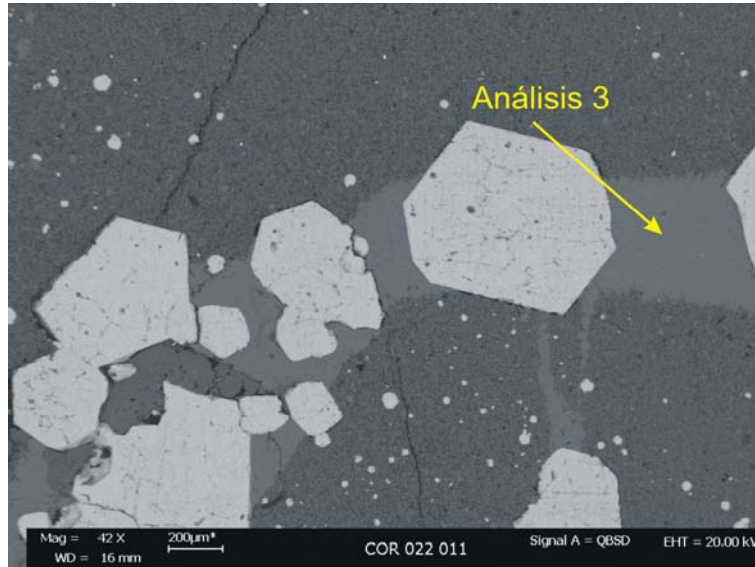


Figura 63. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación de los análisis 3, 4 y 5 sobre carbonatos (calcita, dolomita y calcita respectivamente).

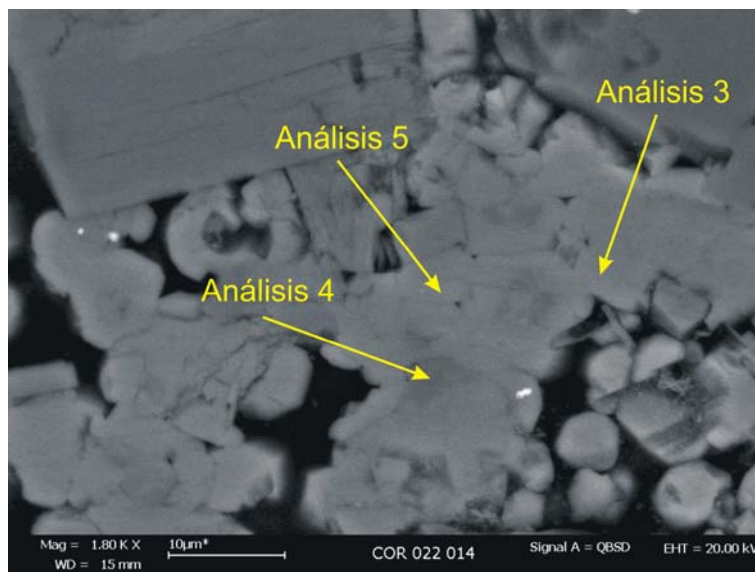
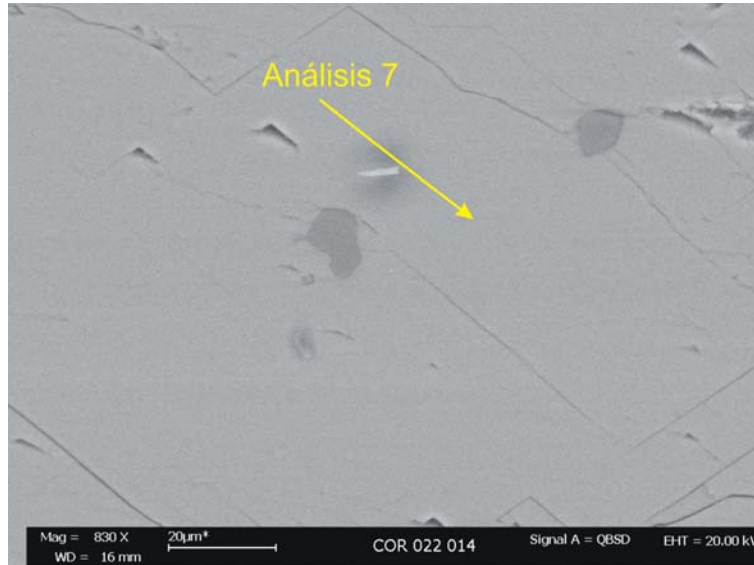


Figura 64. Microfotografía de la muestra COR 022 014, perteneciente a la Zona II del sector de la Quebrada Chivor, donde se resalta la ubicación del análisis 7 sobre una calcita.



En las muestras analizadas de Buenavista, se encontró Dolomita en la muestra COR 028 011 perteneciente a la Zona II. Esta muestra contiene una vena de calcita paralela a la laminación interna de la roca y se encontró que la Dolomita aparece hacia los bordes de la vena con la roca caja (Ver Figura 65). Los demás análisis se clasificaron todos como calcitas puras, es decir, sin ningún constituyente aparte de calcio, carbono y oxígeno. En las Figuras 66, 67 y 68 se muestra la ubicación de los análisis consignados en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados obtenidos en porcentaje en peso de cationes en carbonatos del sector de Buenavista.

Muestra	Análisis	Cationes (% Peso)			
		C	O	Mg	Ca
COR 28 01	2	14,17	49,08		36,75
COR 28 02	1	13,72	49,12		37,16
COR 28 09	1	13,43	50,40		36,17
COR 28 11	3	13,00	48,27		38,73
	4	13,84	53,97	11,60	20,59

Figura 65. Microfotografía de la muestra COR 028 011, perteneciente a la Zona II del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación de los análisis 3 y 4 sobre carbonatos (calcita y dolomita respectivamente).

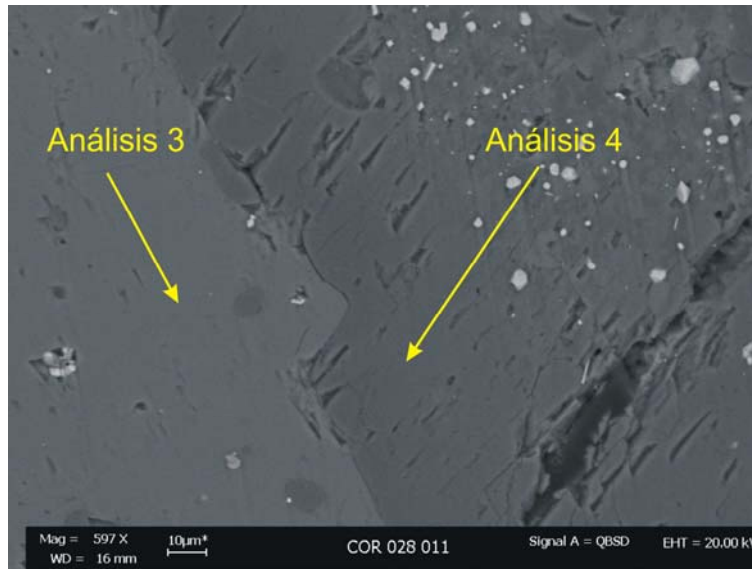


Figura 66. Microfotografía de la muestra COR 028 001, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 2 sobre una calcita.

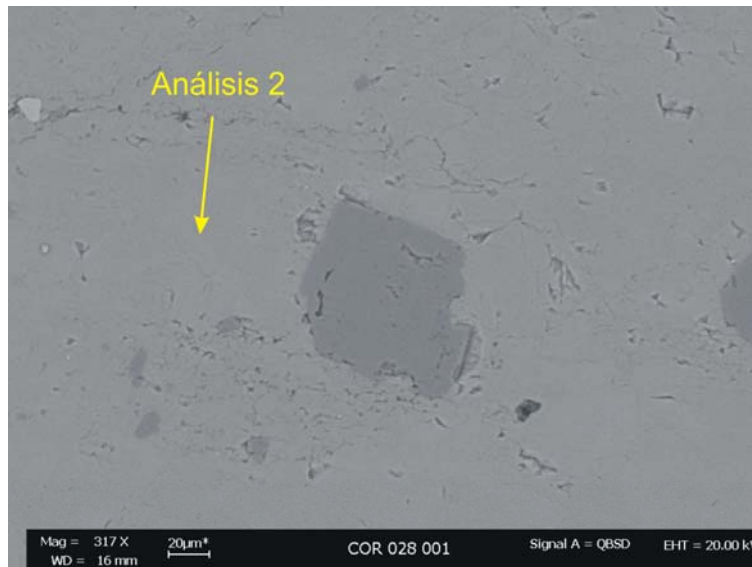


Figura 67. Microfotografía de la muestra COR 028 002, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una calcita.

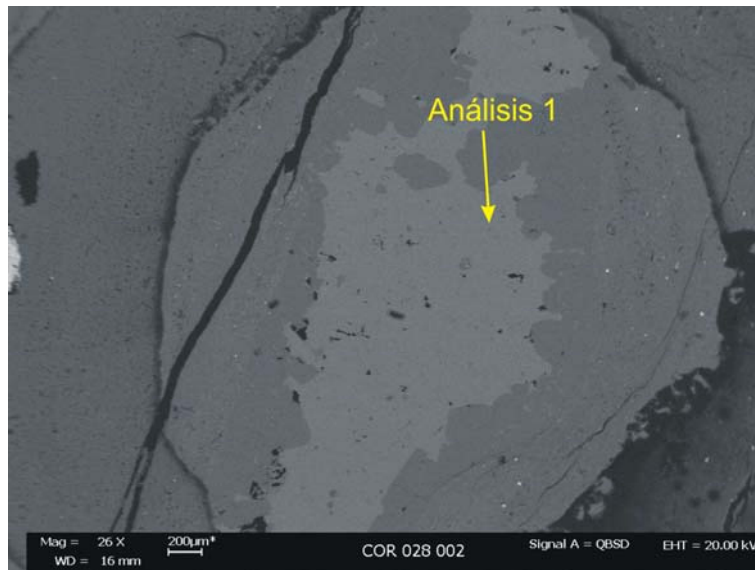
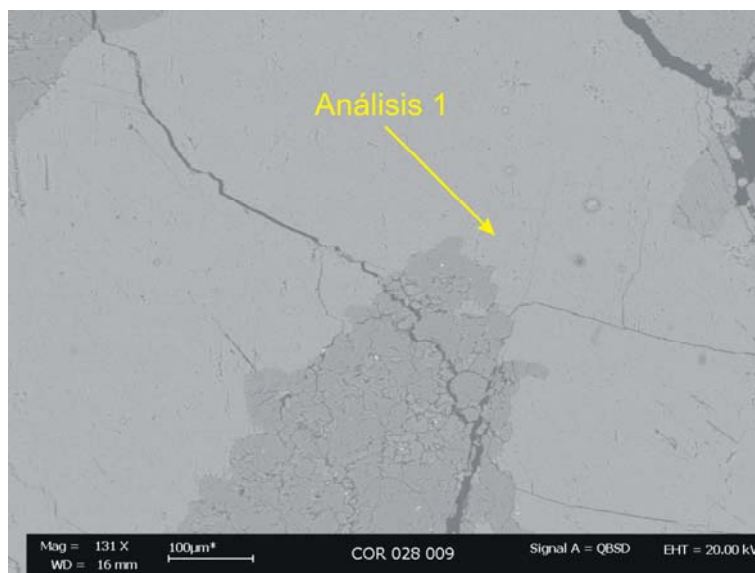


Figura 68. Microfotografía de la muestra COR 028 009, perteneciente a la Zona I del sector de Buenavista, donde se resalta la ubicación del análisis 1 sobre una calcita.



6. CONCLUSIONES

- Se definieron en el sector de la quebrada Chivor tres zonas diferenciadas litológicamente así: La primera, Zona I, compuesta de lodolita calcárea negra a gris oscura con pirita y laminación planoparalela que aunque se encuentra algo replegada, es donde se encuentran los niveles menos afectados por la tectónica; además contiene intercalaciones de niveles no muy significativos (de hasta 20 cm de espesor) de lodolita gris claro a blanca con estructuras evaporíticas cerca al contacto con la siguiente zona. Esta zona se encuentra al inicio y al final de la sección documentada en la quebrada Chivor. La Zona II se compone de lodolita gris clara a blanca, algo calcárea con estructuras evaporíticas, intercalada con zonas o niveles de menor tamaño de una brecha compuesta por clastos de esta misma litología y una marcada influencia tectónica, evidenciada en el amplio repliegue de estos los niveles. Por último la Zona III, compuesta por un nivel de brecha mucho más marcado y continuo que los que aparecen en la zona II. La brecha se constituye de clastos subangulares a subredondeados, rotados, compuestos de lodolita en la que aun se pueden identificar estructuras evaporíticas. Además se encuentran zonas donde se evidencia un importante reemplazamiento por parte de carbonatos, cristales de calcita de gran tamaño y niveles compuestos casi exclusivamente de carbonatos.
- En el sector de Buenavista se definieron dos zonas, similares a las zonas I y II de la quebrada Chivor, con algunas diferencias. En la Zona I, se encuentran lodolitas calcáreas, similares a las de la Quebrada Chivor, negras a gris oscuro con pirita y laminación planoparalela con la diferencia de que en este sector se encuentra mucho menos replegada y con una profusión mayor de venas de tamaños importantes (de hasta 4 cm) cerca al contacto con la Zona II; además no se encuentran intercalaciones de niveles de lodolita gris con estructuras evaporíticas. La Zona II se compone de una brecha, mucho más triturada y

alterada que la del sector de la Quebrada Chivor, en la que se alcanzan a reconocer clastos compuestos de fragmento líticos pertenecientes a una arcillolita gris clara con estructuras evaporíticas aún reconocibles.

- Petrográficamente, se observa, en el sector de la Quebrada Chivor, que solo se presentan albitas, muy pequeñas, irregulares, al interior de las rocas, posiblemente de reemplazamiento. Estas albitas, al parecer se relacionan con un evento hidrotermal anterior a la mineralización esmeraldífera, tal como se concluye en un trabajo de tesis de grado paralelo a este, en un área cercana (Silva, N. 2008). No se identificaron, en este sector, albitas euedarales en venas hidrotermales, ni mucho menos asociadas a dolomitas, como se reporta generalmente en la mayoría de áreas con mineralización esmeraldífera (Trabajos inéditos Escuela de Geología-UIS: tesis de pregrado Modalidad Investigación de Ortégón, M; Tarazona, C; Silva, N.- 2008).
- Con base en el análisis macroscópico y de petrografía de las muestras de ambos sectores, se puede concluir lo siguiente: Ambos sectores estudiados presentan albitas, muy pequeñas e irregulares al interior de las rocas, posiblemente de reemplazamiento, relacionadas seguramente con un evento hidrotermal anterior a la mineralización esmeraldífera. Sin embargo, en Buenavista se identifica otro tipo de albitas, euhedrales en venas hidrotermales y asociadas a carbonatos tipo dolomita y brechas con albitización, las cuales son consideradas productos hidrotermales, relacionados con los eventos generadores de esmeraldas.
- De acuerdo con los análisis de DRX se observa que las muestras de la Zona I y la Zona II en el sector de Buenavista, por lo general presentan una mineralogía bastante similar, aunque es posible resaltar una mayor presencia de carbonatos en la Zona II (donde se identificó dolomita, calcita y ankerita).

- En el sector de la Quebrada Chivor, los análisis de DRX permiten reconocer una diferencia apreciable entre la zona II y las demás zonas, la cual destaca por la abundante presencia de carbonatos de magnesio (dolomita, calcita magnesiana) y Ankerita. Otro rasgo que se puede resaltar, es la presencia ocasional de yeso en muestras de la zona II. Considerando que la litología objeto de estudio preserva el aspecto de antiguas estructuras evaporíticas (aunque actualmente están compuestas en su mayoría de albita, carbonatos y piritas), es posible deducir que este sulfato este relacionado con procesos de alteración supergénica de sulfuros.
- La formación de venas con calcita, dolomita, albita y pirita, al parecer es un evento simultáneo con un proceso tectónico generador de brechas y relacionado temporalmente con la formación de los depósitos esmeraldíferos.
- La composición isotópica del H_2S ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) en equilibrio con piritas, a una temperatura promedio de 300 °C, es de 20,1‰ para la pirita de vena y 6,1‰ para piritas diseminadas en la roca. Esto sugiere que el azufre de las piritas de vena, se relaciona mas con un azufre de origen evaporítico, mientras los valores de la pirita diseminada en la roca, apuntan a un azufre relacionado con la destrucción termal de la materia orgánica.
- Los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ para el CO_2 en equilibrio con los carbonatos de venas, a una temperatura entorno a 300 °C, muestran valores que sugieren la presencia de un carbono de origen orgánico, el cual posiblemente se relaciona con la oxidación de la materia orgánica diseminada en la roca a consecuencia de los fluidos percolantes.
- Los valores isotópicos del $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ para el H_2O en equilibrio con carbonatos, a una temperatura de unos 300 °C, muestran valores que apuntan a una

participación de aguas pesadas, las cuales parecen proceder de una fuente metamórfica (reacciones metamórficas de devolatilización).

- El estudio de Inclusiones Fluidas (IF) en materiales de relleno de venas, permitieron identificar en el sector de la Q. Chivor, varias asociaciones de IF secundarias, compuestas fundamentalmente de un fluido acuoso salino (sin sólidos), mientras que el sector de Buenavista, las asociaciones de IF identificadas, tanto primarias, como secundarias, son de tipo acuso salino carbónicas (con sólidos de halita).
- Considerando que la presencia de brechas con albitización y de venas hidrotermales con albita-dolomita-sulfuros (en cuyos carbonatos se reconocen IF primarias y secundarias de acuso salinas carbónicas, con halita), se asocian a procesos hidrotermales generadores de esmeraldas, se recomienda considerar al sector de Buenavista, como un sector con potencial esmeraldífero, actualmente desaprovechado.
- Con base en las observaciones de campo, se concluye que el sector de Buenavista es un área con potencial esmeraldífero (tal como se ha mencionado repetidas veces), la cual requiere un diseño minero apoyado en conocimiento geológico y orientado hacia la zona II, por ser esta la que presenta las venas hidrotermales con mayor potencialidad esmeraldífero.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de un estudio estructural detallado, que mida una cantidad considerable de diaclasas, venas, fracturas y orientación de pliegues para así entender completamente la tectónica que rige estos sectores, elemento que juega un papel muy importante en la mineralización.

Es de enorme importancia seleccionar nuevas áreas al norte y al sur del sector de la Quebrada Chivor, donde afloran rocas de la Formación Calizas del Guavio, con el propósito de estudiar su historia hidrotermal, siguiendo la metodología aquí utilizada. Este estudio, permitiría establecer los posibles límites del área con mineralización esmeraldífera.

Se recomienda, realizar dataciones que permitan definir mejor la historia de exhumación del área, para poder a su vez establecer relaciones de temporalidad con los eventos hidrotermales identificados en los sectores estudiados.

8. BIBLIOGRAFÍA

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

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. y GIULIANI, G., (1996). The genesis of Colombian Emeralds: a restatement. *Mineral Deposits*, Vol. 31, Págs. 359-364.

ENCARTA (2000). Enciclopedia Encarta. Microsoft (ed.).

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.

HOEFS, J., (2004). *Stable Isotope Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, 5th Revised and updated edition., 244 Págs.

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.

NASH, J.T. y THEODORE, T. (1971). Ore Fluids in the Porphyry Copper Deposits at Cooper Canyon. Nevada. *Economic Geology*, N°66

OHMOTO, H. & RYE, R. O. (1979). Isotope of sulfur and carbon, in Barnes, H. L. Ed., *Geochemistry of Hydrothermal deposits*, John Wiley & Sons, p. 509-567

ORTEGÓN, M., (2008). Identificación y Caracterización de los Pulsos Paleohidrotermales en Rocas de la Formación Calizas del Guavio (Berriasiano, Cretácico Inferior) y su Relación con la Mineralización Esmeraldífera. Municipio de Gachala (Cundinamarca). Tesis de pregrado, Inédita. Escuela de Geología, UIS.

RECIO, C. y SUBIAS, I., (2002). Isótopos Estables Aplicados al Estudio de Depósitos. Minerales. Salamanca. 233 Págs.

ROEDDER, E. (1984). Fluid Inclusions. *Mineralogical Society of America*. USA. 644 Págs.

ROLLINSON, H., (1996). Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman. 352 p.

SAMSON, I., ANDERSON, A. y MARSHALL, D. (2003). Fluid Inclusion Analysis and Interpretation. *Mineralogical Association of Canadá, Short Course Series*, Vol. 32.

SILVA, N., (2008). Estudio de las Alteraciones Hidrotermales y Supergénicas de la Formación El Guavio. Minas San Pedro (Corte San Gregorio) y Oriente, Municipio de Chivor, Boyacá. Tesis de pregrado, Inédita. Escuela de Geología, UIS.

TARAZONA, C., (2008). Caracterización de los Yacimientos de Esmeraldas de la Formación Batá (Cretácico Inferior) en el Sector de Buenavista (Ubalá-Cundinamarca). Tesis de pregrado, Inédita. Escuela de Geología, UIS.

ULLOA, C.; ARIAS, A.; SOLANO, F. (2000). Caracterización de unidades geológicas y geomorfológicas de Colombia. Calizas del Guavio. INGEOMINAS, Bogotá.

ULLOA, C. y RODRIGUEZ, E., (1979). Geología del cuadrángulo K-12, Guateque. Informe 1701, Boletín Geológico, Volumen 22, No. 1, INGEOMINAS, 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 KERKHOFF, 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.

ZHENG Y.-F. (1999). Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals. Geochemical Journal, 33, p. 109-126.

REFERENCIAS DE INTERNET

<http://usal.es/~isotopos/http://www.elergonomista.com/tecnicas/rayos.htm>).

<http://www.uma.es/scai/servicios/xrd/xrd.html>

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro>

<http://institute.unileoben.ac.at/mineralogie/Bakker/Ronald.html>

<http://www.invias.gov.co>

ANEXOS

1. Descripción petrográfica detallada.



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 022 002	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
Nº de campo: COR 022 002	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena cristalina de espesor de 5 - 6 cm con partículas de pirita de < 1 mm. Color desde Blanco (N9) hasta Gris claro (N7) con pirita color café oliva claro a moderado (5Y 5/6 - 4/4). Compuesta por 85% de Calcita y 15% Pirita. Estructura masiva.



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Vena de calcita anhedral, gruesa a muy gruesa en contacto concavo-convexo con cristales de pirita anhedral muy gruesa. Con presencia de oxidos.

Selección:

% de granos del armazon: 100%	Redondez promedio:
% de matriz:	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigenicos:

Calcita: anhedrales, gruesa a extremadamente gruesa.

Pirita: anhedrales, muy gruesa.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina gruesa a muy gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena calcita y pirita.

ESTRUCTURAS

Vena masiva

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales autigenicos

Calcita: (82%) anhedral, cristalina gruesa a muy gruesa (540 a 2600µm); en contacto concavo - convexo. Distribuida homogeneamente en toda la

muestra

Pirita: (13%) anhedral, cristalina muy gruesa (1300 a 1600 μm); distribuida homogéneamente en toda la muestra.

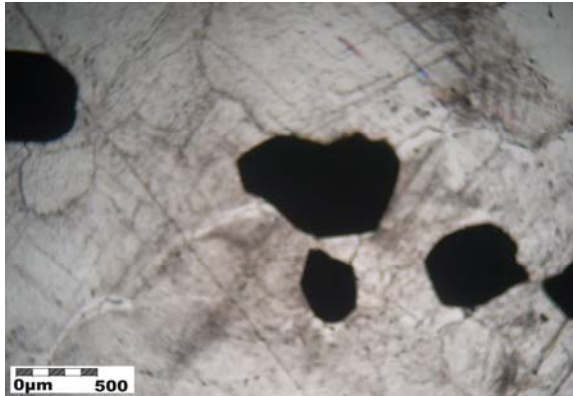
CLASIFICACION

Vena de calcita gruesa a muy gruesa con pirita.

OBSERVACIONES

Porosidad secundaria que representa el 5%, generada posiblemente durante la preparación de la muestra

A



B



Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles 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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR 022 003	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
Nº de campo: COR 022 003	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, Mudstone carbonoso

Textura - Composicion: Calcareo, lodolita arenosa con lentes y partículas de pirita de 3 a 5 mm y lentes de calcita. Carbonatos 50%, MO 30%, Pirita 10%, Calcita 10%

Color: Gris oscuro (N3) con pirita color Café Oliva claro a moderado (5Y 5/6 - 4/4) y lentes de calcita blancos (N9)

Laminacion: Laminación paralela discontinua, delgada, algo fisil.

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca fresca

Particion: Masiva

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Compuesta principalmente por cemento esparítico compuesto de cristales anhedrales de muscovita y pirita euhedral, de formas y tamaños variados.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS

MINERALES AUTIGENICOS 20%

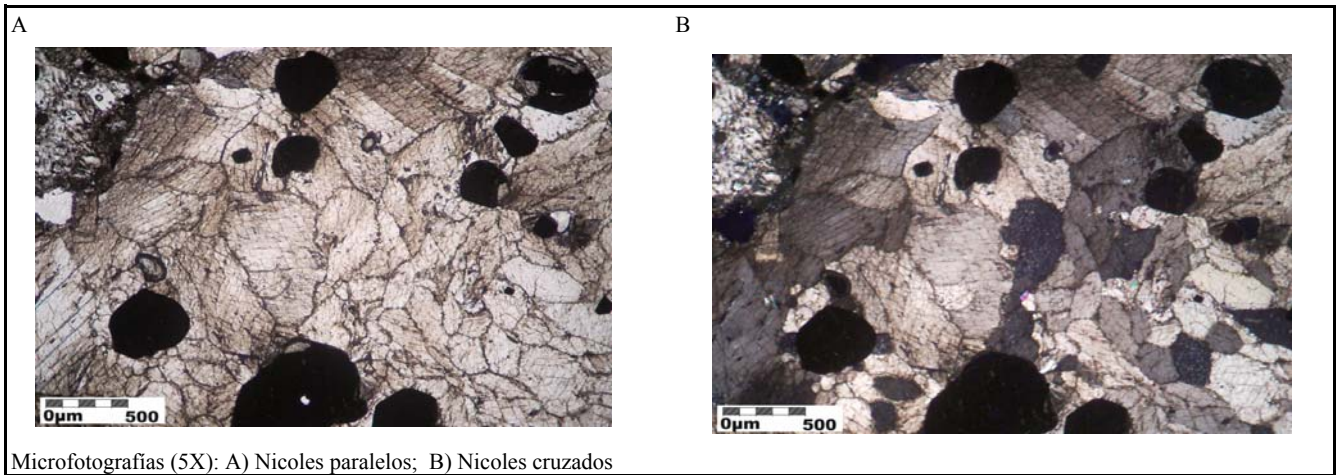
Pirita: (19%) anhedrales y euhedrales, cristalina media a muy gruesa (200 a 800µm). Variedad de formas: cuadradas y piritodricas.

Muscovita: (1%) tabulares y delgados, cristalina fina (20µm)

LITICOS

ORTOQUIMICOS

CEMENTO ESPARITICO 79%		
Calcita : anhedrales, cristalina gruesa a muy gruesa. (460 a 2000µm)		
SOPORTE DE LA ROCA		
Granosoportada: 20%		
Lodosoportada: 80%		
CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 30%
Concavo - Convexo: 40%	Suturado: 30%	
POROSIDAD		
CLASIFICACION		
Según Folk (1962): Micrita		
Según Dunham (1962): Wackeswstone		
DIAGENESIS		





**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 022 006	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
N° de campo: COR 022 006	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Brecha constituida por clastos compuestos de arcillolita lodosa blancos (N9) con intercalaciones de láminas Gris medio (N5) y pirita color café oliva moderado (5Y 4/4) de hasta 4 mm de diámetro.



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Brecha en donde ha ocurrido una importante recristalización de carbonatos; la esparita recristalizada compone casi toda la matriz en la que se reconocen aún clastos subredondeados compuestos de albita y pirita principalmente.

Selección:

% de granos del armazon: 45%

Redondez promedio: Subredondeados

% de matriz: 55%

Esfericidad promedio:

Tamano de grano promedio de la roca: Arena muy gruesa a guijas muy finas (2000 a 3000 μ m)

Contacto entre granos: Flotante

MINERALES

Minerales terrígenos:

Cuarzo: Anhedral, tamaño limo muy grueso a arena muy fina; en contacto longitudinal y concavo-convexo con la pirita. Distribuida homogenamente en agregado granular en los clastos.

Muscovita: Tabular, tamaño arena muy fina

Minerales autigénicos:

Albita: Euhedral, de forma cubica y piritodrica, cristalina fina a media (60 a 100 μ m), en contacto longitudinal con otros cristales de pirita

Pirita: Cristalina fina dispuesta en toda la muestra.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Brecha arenolodosa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Brecha lítica

ESTRUCTURAS

Brechoide

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales terrígenos

Pirita: (20%) subedral, subredondeada, tamaño arena gruesa (400 a 900 μ m). Se encuentra en los clastos que se reconocen como parte del armazón de la brecha.

Cuarzo: (7%) anhedral, tamaño limo muy grueso a arena muy fina (40 a 120 μ m); en contacto longitudinal y concavo-convexo con la pirita. Distribuida homogenamente en agregado granular en los clastos.

Muscovita (3%) Tabular, tamaño arena muy fina (80 a 120 μ m).

Minerales autigénicos

Esparita recristalizada: (55%) Cristalina fina (30 a 55 μ m), dispuesta en toda la muestra.

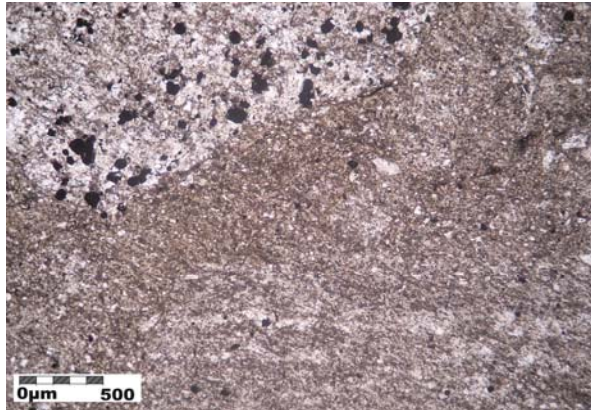
Pirita: (15%) euhedral, de forma cubica y piritocédrica, cristalina fina a media (60 a 100 μ m), en contacto longitudinal con otros cristales de pirita.

CLASIFICACION

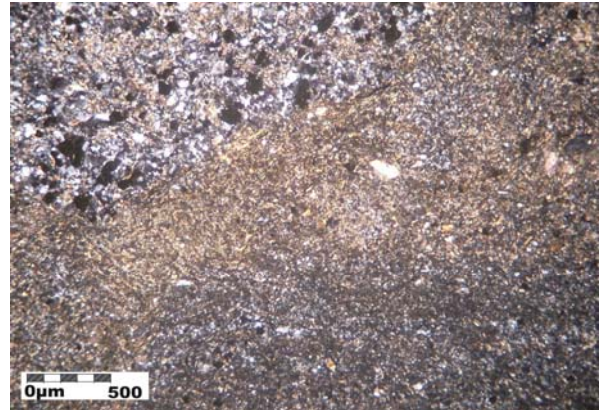
Brecha lítica arenolodosa

OBSERVACIONES

A



B



Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles 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 022 008	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
Nº de campo: COR 022 008	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita en agregado granular, recristalizada hidrotermalmente, compuesta de calcita (85%) y pirita (15%), de color gris claro medio (N6) a Blanco (N9) y pirita café Oliva medio (5Y 4/4). Estructura masiva que forma en afloramiento un bolsa de alteración hidrotermal.



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Vena de calcita anhedral, gruesa a muy gruesa en contacto suturado, longitudinal y concavo-convexo con cristales de pirita euhedrales finos a gruesos.

Selección:

% de granos del armazon: 100%

Redondez promedio:

% de matriz:

Esfericidad promedio:

Tamano de grano promedio de la roca:

Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigénicos:

Calcita: anhedral, cristalina gruesa a muy gruesa

Pirita: euhedral, cristalina fina gruesa

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina gruesa a muy gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita con pirita

ESTRUCTURAS

Vena masiva

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales autigénicos

Calcita: (71%) anhedral, gruesa a muy gruesa (260 a 1800 μm); en contacto suturado, longitudinal y concavo-convexo con la pirita. Distribuida homogéneamente en agregado granular en toda la muestra.

Pirita: (27%) euhedral, de forma cubica y piritoedrica, cristalina fina a gruesa (400 a 900 μm), en contacto longitudinal con otros cristales de pirita.

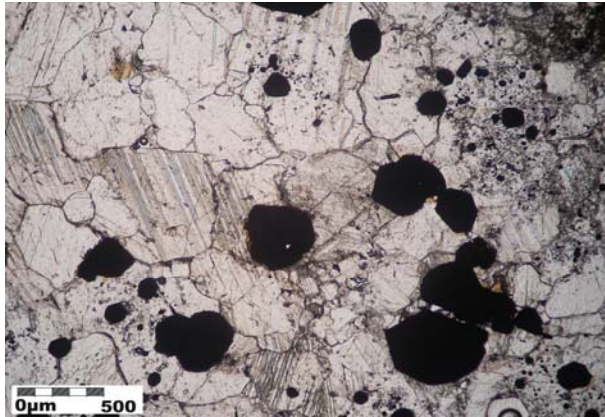
CLASIFICACION

Vena de calcita gruesa a muy gruesa con pirita.

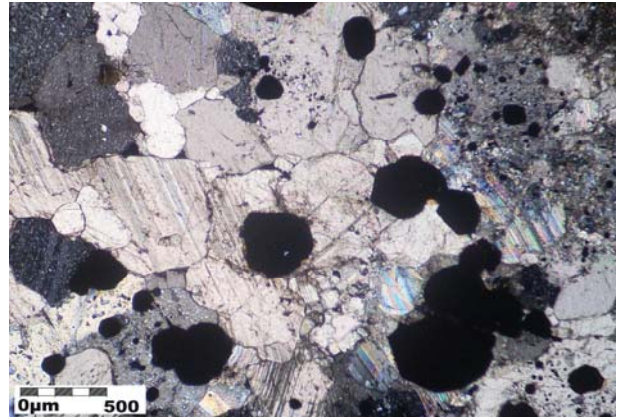
OBSERVACIONES

La muestra presenta 2% de porosidad secundaria originada durante la preparación de la muestra.

A



B



Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles cruzados



INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS



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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

N° COR 022 009	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
N° de campo: COR 022 009	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, Mudstone carbonoso

Textura - Composicion: Calcarea, arcillolita lodosa con lentes y partículas de pirita de entre 2 - 4 mm y lentes de calcita cristalina de hasta 7 mm de espesor. Carbonatos 55%, MO 20%, Pirita 15%, Calcita 10%.

Color: Láminas que varían de Gris claro (N7) hasta gris oscuro medio (N4) y pirita de Café oliva medio (5Y 4/4) y Café moderado (5YR 3/4)

Laminacion: Laminas delgadas y medias planoparalelas discontinuas con lentes de pirita y calcita.

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca Fresca

Particion: Masiva

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

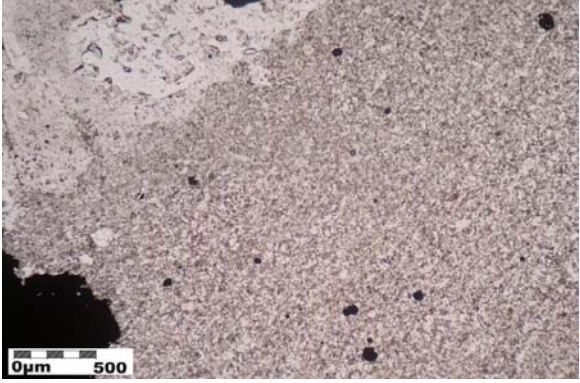
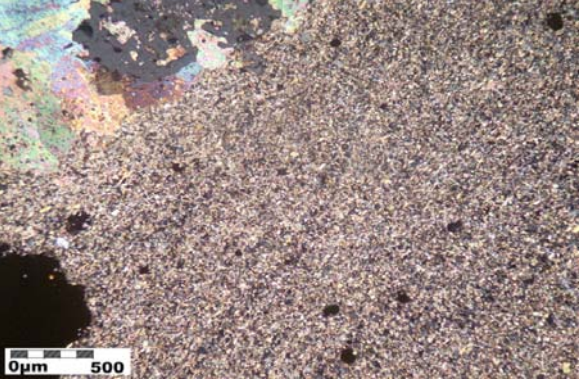
TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Roca compuesta en su mayoría por partículas subredondeadas y bien seleccionadas. Se observa una laminación o diferenciación de niveles planos generada por variaciones composicionales, como el aumento en la cantidad de albita, y texturales, como el tamaño de las partículas. Las partículas de mica se encuentran de forma tabular y acicular orientadas paralelamente con la laminación. Se encuentran venas de calcita y pirita dispuestas paralelamente con la laminación.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS 25%

Muscovita: (25%) Tabular y acicular tamaño arena muy fina (75 a 90µm), orientada paralelamente con la dirección de la laminación

MINERALES AUTIGENICOS 60%		
Calcita: (35 %) Anhedral, cristalina media a gruesa (160 a 800 µm). Contactos suturados entre calcitas y piritas.		
Albita: (15%) Euhedral, cristalina fina a muy fina (10 a 60 µm). Distribuida en toda la muestra, sin embargo, en algunas láminas se encuentran cristales de un tamaño mayor.		
Pirita: (10%) Subhedral a euhedral en piritoedros, cristalina fina (20 a 60 µm). Se encuentra distribuida por toda la muestra, sin embargo, la de mayor tamaño se encuentra en las venas de calcita.		
LITICOS		
ORTOQUIMICOS		
CEMENTO ESPARITICO 15%		
Esparita subhedral, fina (28 a 40 µm), distribuida laminarmente en toda la seccion delgada.		
SOPORTE DE LA ROCA		
Granosoportada: 70%		
Lodosoportada: 30%		
CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal:
Concavo - Convexo: 55%	Suturado: 45%	
POROSIDAD		
CLASIFICACION		
Según Folk (1962): Micrita albititica		
Según Dunham (1962): Wackestone con venas de calcita y pirita.		
DIAGENESIS		
A	B	
		
Microfotografías (5X): A) Nicoles paralelos; B) 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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

N° COR 022 010	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
N° de campo: COR 022 010	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, Mudstone carbonoso

Textura - Composicion: Calcarea, lodolita arenosa con lentes y partículas de pirita de 3 a 5 mm. Carbonatos 50%, MO 25%, Pirita 15%, Calcita 10%

Color: Gris claro (N6) a blanco (N9) con pirita color Café Oliva claro a moderado (5Y 5/6 - 4/4)

Laminacion:

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca fresca

Particion: Masiva

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Se evidencia una importante recristalización de carbonatos; la esparita recristalizada compone casi toda la matriz. En una parte de la muestra se observan cristales euedrales de calcita, bien formados en una matriz de esparita. En otra parte se encuentran cuarzo, y muscovita en lo que es una matriz terrígena.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS 10%

Cuarzo: (7%) Tamaño arena muy fina a media, dispuesta en una parte específica de la muestra

Muscovita: (3%) Tabular, en agregado acicular, se encuentran diseminadas por la muestra, en tamaños entre limo muy grueso a arena muy fina (40 a 120 µm)

MINERALES AUTIGENICOS 30%

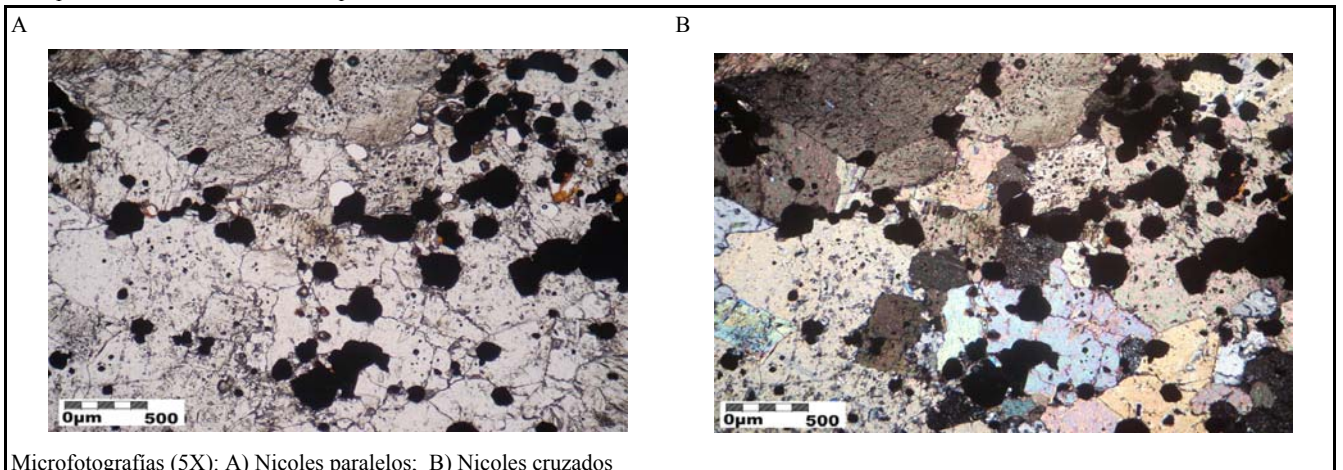
Pirita: (20%) Cristales euedrales, tanto cúbicos como piritóedricos finos a gruesos (30 a 600 µm), se encuentra en mayor proporción en una parte de la muestra.

Albita: (10%) Cristalina fina a media (40 a 130 µm) diseminada por toda la muestra.

LITICOS

ORTOQUIMICOS		
CEMENTO ESPARITICO 60%		
Calcita : anhedrales, cristalina media a muy gruesa. (200 a 2800µm)		
SOPORTE DE LA ROCA		
Granosoportada: 40%		
Lodosoportada: 60%		
CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%
Concavo - Convexo: 35%	Suturado: 45%	
POROSIDAD		
Primaria :2% . Pertenciente a oquedades dejadas por disolución de pirita.		
CLASIFICACION		
Según Folk (1962): Micrita		
Según Dunham (1962): Wackeswstone		
DIAGENESIS		

La muestra presenta cerca de un 2% de porosidad perteneciente a oquedades dejadas por disolución de pirita, se puede observar claramente que los espacios dejados corresponden con la forma del mineral. La gran cantidad de recristalización de esparita evidencia un importante reemplazamiento de carbonatos, lo que muestra una clara influencia hidrotermal.





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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR 022 011	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
Nº de campo: COR 022 011	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Brecha litica

Textura - Composicion: Brechoide constituido por clastos de lodolita calcarea gris clara desde 0,6 cm hasta 4 cm de diámetro, subangulares y piritas tamaño arena fina. Fragmentos de roca 60%, Calcita 25%, Pirita 15%.

Color: Fragmentos de roca blancos (N9) a gris claro (N8), calcita blanca (N9) y Pirita café oliva moderado (5Y 4/4)

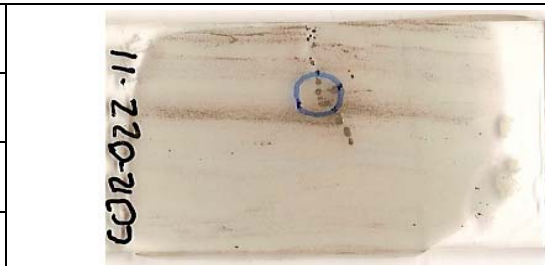
Laminacion: Brechoide

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca fresca

Particion: Fisurada

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Laminación o diferenciación de niveles palno- paralelos generados por variaciones composicionales. Se encuentran partículas aciculares de muscovita orientados en la dirección de la laminación y niveles con alto contenido de partículas anahedrales de pirita y otros con contenidos de partículas de cuarzo, albita y pirita. Se observa una vena compuesta por cristales de calcita y prita que corta y desplaza la laminación, así como microfracturas synsedimentarias. El cemento es de tipo esparítico.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS 23%

Pirita: (17%) subredondeada, limo medio a arena fina (20 a 220µm); distribución heterogénea concentrándose en algunos niveles de laminación

Cuarzo: (6%) subredondeado, limo medio a muy grueso (20 a 60µm). Dispuesto en algunos niveles y diseminado en la matriz. Se encuentra como individuos y en agregado granular.

Muscovita: (<1%) aciculares con exfoliación perfecta, arena fina a muy fina (120 a 160µm)

MINERALES AUTIGENICOS 9%

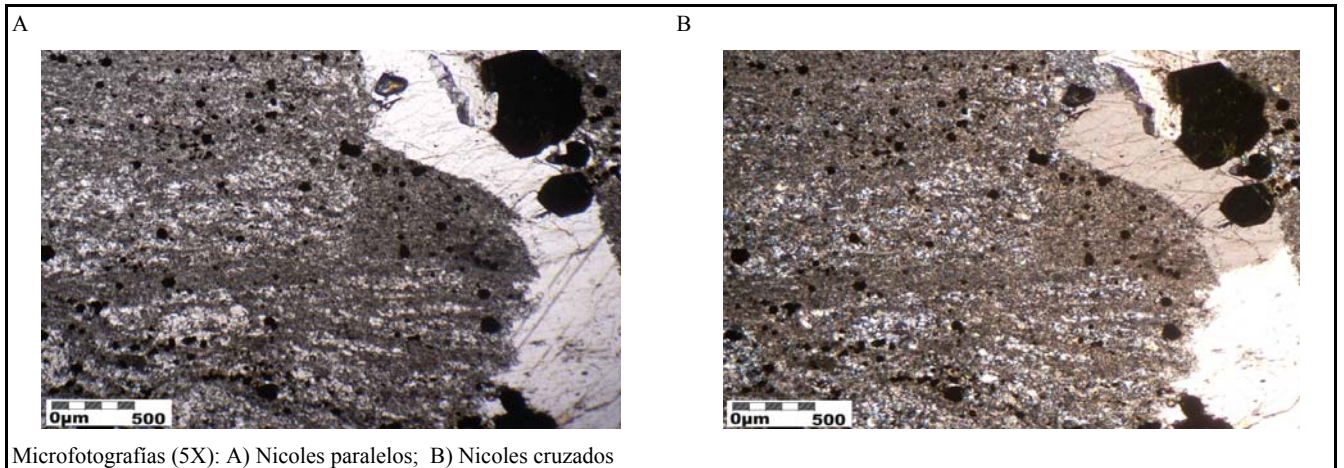
Pirita: (17%) ehedral, cristalina media a gruesa (200 a 1000µm); Se encuentra formando una vena con cristales de calcita en contacto suturado.

Calcita: (3%) subhedral, cristalina media a gruesa (100 a 800µm). En contacto suturado con cristales de prita y calcita formando una vena que corta la laminación. Distribución heterogénea.

Albita: (2%) ehedral, cristalina muy fina a fina (20 a 60µm). Se encuentra en algunos niveles de laminación en contacto con el cuarzo.

LITICOS

ORTOQUIMICOS		
CEMENTO ESPARITICO 68%		
Distribuido homoganeamente dentro de la roca		
SOPORTE DE LA ROCA		
Granosoportada: 30%		
Lodosoportada: 70%		
CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 50%
Concavo - Convexo: 20%	Suturado: 30%	
POROSIDAD		
CLASIFICACION		
Según Folk (1962): Micrita		
Según Dunham (1962): Wackestone carbonoso		
DIAGENESIS		





INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS



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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR 022 013	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
Nº de campo: COR 022 013	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, Mudstone carbonoso

Textura - Composicion: Calcarea, arcillolita lodosa con partículas de pirita de entre 2 - 4 mm calcita cristalina de hasta 7 mm de espesor. Carbonatos 55%, MO 20%, Pirita 15%, Calcita 10%.

Color: Láminas que varían de Gris claro (N7) hasta gris oscuro medio (N4) y pirita de Café oliva medio (5Y 4/4) y Café moderado (5YR 3/4)

Laminacion: Laminas delgadas y medias planoparalelas discontinuas.

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca Fresca

Particion: Masiva

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

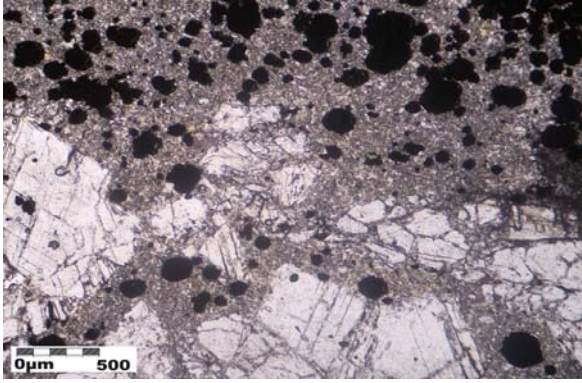
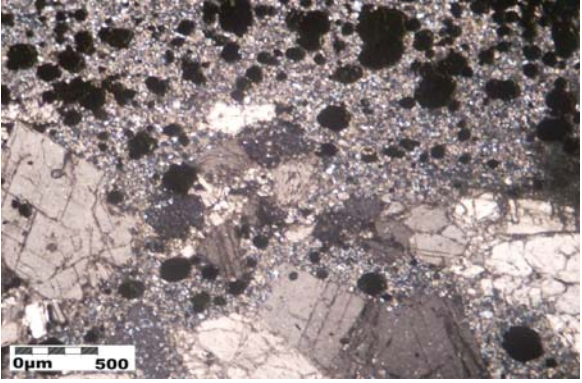
TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Roca compuesta en su mayoría por partículas subredondeadas. Se observa una laminación o diferenciación de niveles planos generada por variaciones composicionales, como el aumento en la cantidad de pirita, y texturales, como el aumento significativo del tamaño de esta.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS 25%

Pirita: (25%) Subredondeada dispuesta en láminas, lo que podría indicar su origen terrígeno, tamaños entre 60 a 200µm. Se encuentran particularmente láminas con una abundante presencia de esta.

MINERALES AUTIGENICOS 60%		
Calcita: (37 %) Anhedral, cristalina media a gruesa (60 a 600 μm). Contactos suturados entre calcitas y piritas.		
Pirita: (18%) Subhedral a euhedral en piritoedros, cristalina media a gruesa (80 a 600 μm). Se encuentra distribuida por toda la muestra.		
Albita: (5%) Cristalina tabular fina (< 20 μm). Distribuida en toda la muestra.		
LITICOS		
ORTOQUIMICOS		
CEMENTO ESPARITICO 15%		
Esparita subhedral, fina (28 a 40 μm), distribuida laminarmente en toda la seccion delgada.		
SOPORTE DE LA ROCA		
Granosoportada: 70%		
Lodosoportada: 30%		
CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%
Concavo - Convexo: 45%	Suturado: 35%	
POROSIDAD		
CLASIFICACION		
Según Folk (1962): Micrita		
Según Dunham (1962): Wackestone con pirita.		
DIAGENESIS		
A	B	
		
Microfotografias (5X): A) Nicoles paralelos; B) Nicoles cruzados		



INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS



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 CALCAREAS (>50% DE MINERALES CARBONATADOS) EN SECCION DELGADA

N° COR 022 014	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X:1'032.929 Y:1'080,330
N° de campo: COR 022 002	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Quebrada Chivor	Municipio: Chivor
Formación Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 022	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, Mudstone

Textura - Composicion: Calcárea arcillosa con partículas de pirita de 2 - 4 mm de diámetro diseminadas. Min. Arcillosos 40%, Carbonatos 40%, MO 10%, Pirita 10%.

Color: Láminas color gris claro medio (N6), gris muy claro (N8) y gris medio oscuro (N4) con pirita color Café oliva claro (5Y 5/6)

Laminacion: Laminación delgada planoparalela

Grado de bioturbacion:

Grado de meteorizacion: Roca fresca

Particion: Masiva

Reacción al HCl: Si: X No:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA - COMPOSICION

Homogeneidad: Roca compuesta en su mayoría por cemento esparítico. Se observa laminación o diferenciación de niveles plano paralelos generada por variaciones composicionales. Se encuentran partículas tabulares y aciculares de Muscovita orientadas con la laminación y algunos niveles con mayor contenido de pirita, intercalados con otros de Cuarzo, Albita y esparita recristalizada. Se encuentran venas de calcita y pirita que cortan la laminación, así como fracturas y fallas syn sedimentarias que desplazan la laminación.

ALOQUIMICOS

TERRIGENOS 14%

Muscovita: (8%) limo grueso (20 a 60 µm) tabulares alargados, con exfoliación perfecta, algo orientadas paralelamente a la laminación.

Pirita: (6%) limo grueso a arena muy fina (30 a 160 µm) redondeada a subredondeada diseminada y concentrada en algunos niveles de la laminación

MINERALES AUTIGENICOS 26%

Cuarzo: (7 %) Cristalino fino a grueso (40 a 140 µm), anhedral, dispuesto en lentes o niveles y diseminado en la matriz esparítica en agregado ganular.

Calcita: (4 %) Cristalina media a gruesa (80 a 860 μ), perteneciente a una vena que corta la laminación, con contactos suturados con otros cristales de calcita. Se encuentra en agregado granular.

Esparita recristalizada: (8%) Cristalina fina a media (50 a 20 μ m), de tamaño mayor al de la matriz, dispuesta en niveles anhedrales a subhedrales.

Pirita: (1%) Cristalina media a gruesa (200 a 560 μ), subhedral a euhedral, agrupada en las venas

Albita: (6%) Cristalina media (100 a 200 μ m), euhedral a subhedral, maclada y de forma tabular

LITICOS

ORTOQUIMICOS

CEMENTO ESPARITICO 60%

SOPORTE DE LA ROCA

Granosoportada: 35%

Lodosoportada: 65%

CONTACTO ENTRE GRANOS

Flotante: 5%

Tangencial:

Longitudinal:

Concavo - Convexo: 80%

Suturado: 15%

POROSIDAD

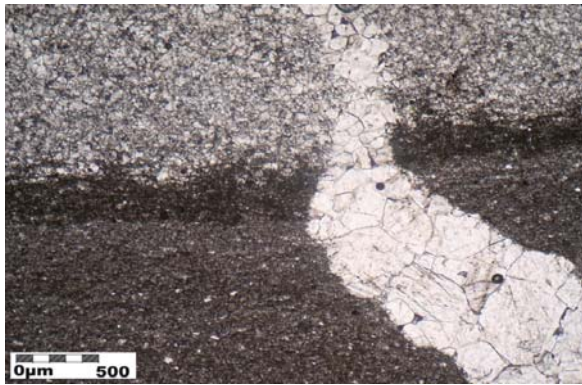
CLASIFICACION

Según Folk (1962): Micrita

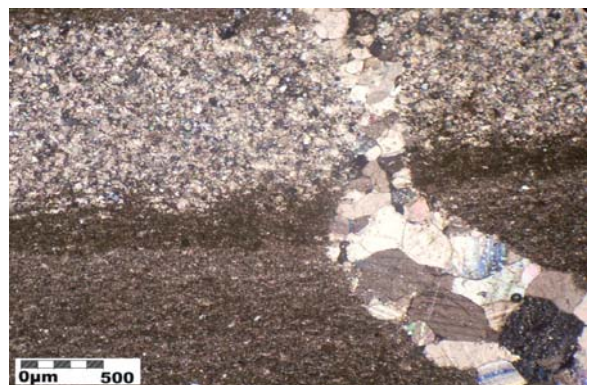
Según Dunham (1962): Wackestone

DIAGENESIS

A



B



Microfotografías (5X): A) Nicoles paralelos; B) 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 028 001	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
Nº de campo: COR 028 001	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita (100%) masiva de espesor aproximado de 3,5 cm de color Blanco (N9)



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Vena de calcita de cristales anhedral de tamaño medio a grueso en contacto longitudinal y suturado con cristales de cuarzo anhedral y albita subhedral. Con presencia de materia orgánica.

Selección:

% de granos del armazon: 100%	Redondez promedio:
% de matriz:	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigénicos:

Calcita: anhedral, cristalina media a muy gruesa

Albita: subhedral a anhedral, cristalina media

Cuarzo: anhedral, medio a grueso.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina media a muy gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita con albita y cuarzo

ESTRUCTURAS

Vena de calcita masiva.

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales autigénicos:

Calcita: (90%) anhedral, media a muy gruesa (80 a 3000 μ m), en contacto suturado y longitudinal con cristales de cuarzo y albita. Distribuida homogéneamente en la muestra.

Albita: (2%) Subhedral a anhedral, cristalina media (140 a 240 μ m), con macla de Carlsbad. Se encuentra como individuos de habito tabular distribuidos sectorialmente

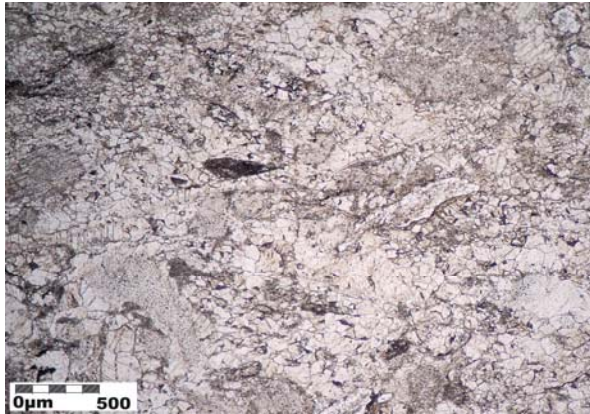
Cuarzo: (2%) Anhedral, medio a grueso (80 a 400 μ m). Se encuentra como individuos y como agregado granular. Su distribucion en la muestra es heterogenea.

CLASIFICACION

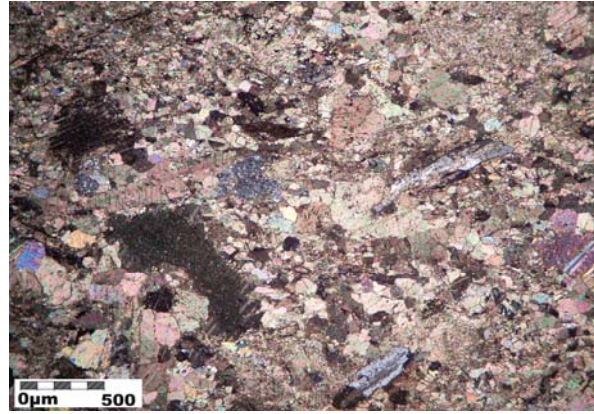
Vena de calcita gruesa a muy gruesa con albita y cuarzo.

OBSERVACIONES

A



B



Microfotografías (5X): A) Nicoles paralelos; B) Nicoles cruzados



INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS



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 TERRIGENAS) EN SECCION DELGADA

Nº COR 028 002	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
Nº de campo: COR 028 002	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: Sedimentaria, mudstone carbonoso .

Textura - Composicion: Lodolita arenosa calcarea con venas y particulas de calcita. Es la roca caja de una vena de calcita. Compuesta por MO 45%, Carbonatos 40% y Calcita 15%

Color: Negro grisaceo (N2) con venas de calcita blanca (N9)

Laminacion: Delgada planoparalela con venas de calcita de 3 mm de espesor.

Grado de bioturbacion:	
Grado de meteorizacion: Roca fresca	
Particion: Masiva	
Reaccion al HCl: Si: X No:	

ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: Roca compuesta en su mayoría por materia orgánica, minerales arcillosos y cuarzo. Se aprecia laminación o diferenciación de niveles plano-paralelos generados por variación del tamaño de las partículas y por la cantidad de materia orgánica. Partículas tabulares y aciculares de muscovita orientadas con la laminación. Se presentan venas de calcita fibrosa con albita y pirita, paralelas a la laminación.

Rango de tamaños: Tamaño de grano varía de 0.004 a 0.5 mm, promedio de 0.252 mm

Selección: Moderada a buena

Redondez promedio: Subredondeado

Esfericidad promedio: Subesférico

GRAVA:	ARENA: 4%	LODO: 96%
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 0,125mm. Arena muy fina	Arcilla: Limo: 96%
Redondez:	Redondez: Subredondeado	Tamaño promedio de la fracción limo: Limo fino a muy grueso. 0,008 a 0,062mm
Esfericidad:	Esfericidad: Subesférico	

CONTACTO ENTRE GRANOS

Flotante: **Tangencial:** 70% **Longitudinal:** 30%

Concavo - Convexo: **Suturado:**

ESTRUCTURAS

Laminación plano-paralela continua. Lentes de pirita y albita que alcanza espesores de hasta 2200µm. Venas de calcita fibrosa con albita en

los bordes, de espesor de 1300 a 1800 μm , paralelas a la laminación.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)

Limolita

COMPOSICION

TERRIGENOS 34%

Cuarzo: (27%) cuarzo monocristalino subredondeado de tamaño limo fino a muy grueso (5 a 40 μm). El de tamaño de grano mayor se encuentra en lentes y niveles de la roca formando laminación, el de tamaño de grano menor se encuentra formando la matriz.

Muscovita: (7%) Tabular y acicular con exfoliación perfecta, de tamaño de grano limo grueso a arena muy fina (20 a 90 μm), orientado paralelamente a la laminación. En contacto flotante con la matriz.

AUTIGENICOS 24%

Pirita: (9%) anhedral, gruesa a muy gruesa (400 a 3800 μm). Se encuentra en lentes paralelos a la laminación.

Albita: (9%) anhedral a subhedral, fina a gruesa (60 a 400 μm). Presenta macla carlsbad. Se encuentra dispuesta en los bordes de la vena de calcita y en lentes de pirita.

Calcita: (6%) anhedral, fina a media (40 a 200 μm). Se encuentra en agregado fibroso en contacto con albita formando una vena de 1300 a 1800 μm de espesor.

LITICOS

MATERIA ORGANICA 43%

Distribuida laminarmente en toda la sección pero con mayor presencia en algunas laminas.

CEMENTO

ORTOQUIMICOS

POROSIDAD

Primaria:

Secundaria:

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)

Limolita carbonosa y silicea

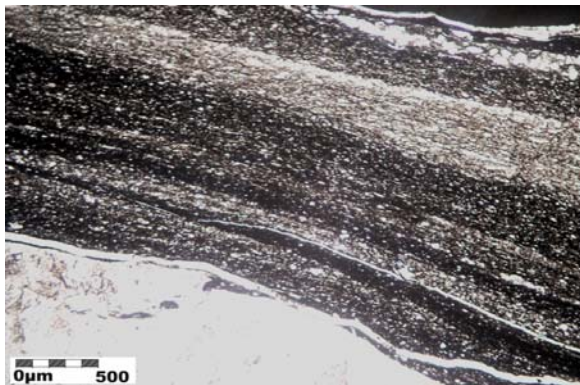
CLASIFICACION

Limolita carbonosa y silicea, bien a moderadamente seleccionada.

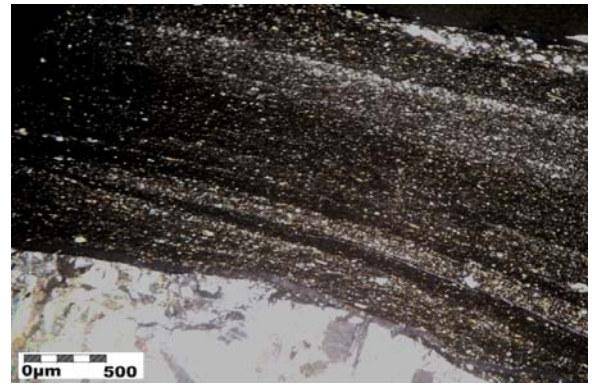
DIAGENESIS

Se evidencia un proceso de albitización el cual consta de individuos de albita de forma subhedral a anhedral de tamaño cristalino fino a grueso, introducidos en la roca por acción de fluidos hidrotermales.

A



B



Microfotografías (5X): A) Nicoses paralelos; B) Nicoses 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 028 003	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
Nº de campo: COR 028 003	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita (100%) fibrosa, de color blanco (N9), de espesor 2,5 cm, que se encuentra cortando la estratificación



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Vena de calcita anhedral fina a gruesa en contacto longitudinal con cristales de pirita anhedral fina y cristales de albita anhedral a subhedral fina a media. Con presencia de materia orgánica.

Selección:

% de granos del armazon: 100%	Redondez promedio:
% de matriz:	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Calcita: anhedral, fina a gruesa

Pirita: anhedral fina

Albita: anhedral a subhedral, cristalina fina a media

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina fina a gruesa.

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita con pirita

ESTRUCTURAS

Vena masiva de calcita. Presenta una microfractura rellena de cristales de calcita de tampo 20 a 40µm

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales autigénicos:

Calcita: (84%) anhedral, fina a gruesa (40 a 500µm). Se encuentra en agregado granular y distribuido homoganeamente en la muestra.

Pirita: (7%) anhedral fina (20 a 40µm) en contacto longitudinal con cristales de calcita y albita. Distribuida heterogeneamente en la muestra.

Albita: (3%) anhedral a subhedral, cristalina fina a media (60 a 140 μm), algunos cristales presentan macla polisintética. Se encuentra en agregado granular en contacto longitudinal con cristales de pirita.

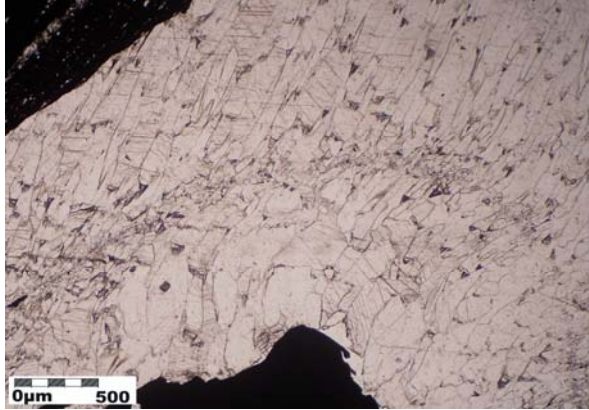
CLASIFICACION

Vena de calcita gruesa a muy gruesa con albita y cuarzo.

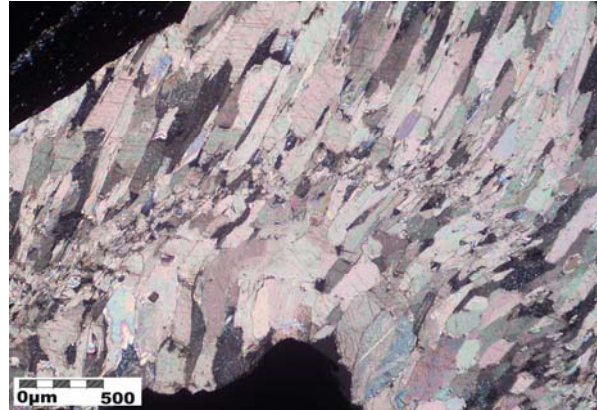
OBSERVACIONES

Presenta 6% de materia orgánica distribuida en toda la muestra

A



B



Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles 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 028 006	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
Nº de campo: COR 028 006	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Brechoide con fragmentos de roca angulares, compuestos de materia orgánica y minerales opacos.



ANALISIS MICROSCOPICO

Brechoide con fragmentos de roca ncajante masiva, angulares, compuestos de materia orgánica y minerales opacos en microlentes, cementados por cristales de calcita anhedral en agregado granular grueso.

Selección:

% de granos del armazon: 16%	Redondez promedio:
% de matriz: 79%	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Calcita: Cristalina gruesa a muy gruesa, anhedral.

Minerales Opacos: Euhedrales a subhedrales cristalinos medios a gruesos.

Albita: Cristales finos tabulares.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Brecha

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Brecha lítica y de calcita

ESTRUCTURAS

Brecha compuesta por fragmentos de roca compuestos de materia orgánica.

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales autigénicos:

Calcita (66%): Cristalina gruesa a muy gruesa, anhedral, angular en contactos suturados con otros cristales de calcita (280 a 2000 µm) . Ser encuentra en agregado granular.

Minerales Opacos (11%): Euhedrales a subhedrales cúbicos cristalinos medios a gruesos (80 a 700 µm).

Albita (3%): Cristales finos (20 a 40 µm) subhedrales tabulares.

CLASIFICACION

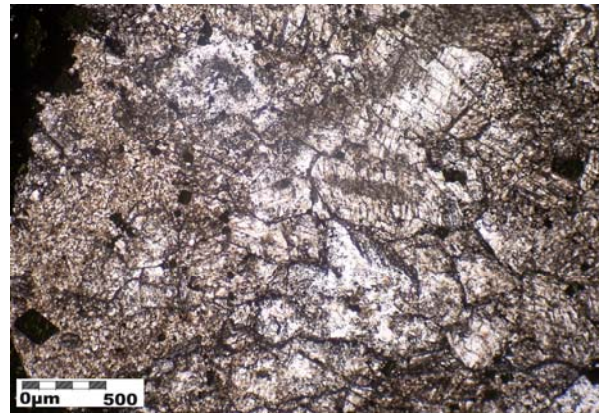
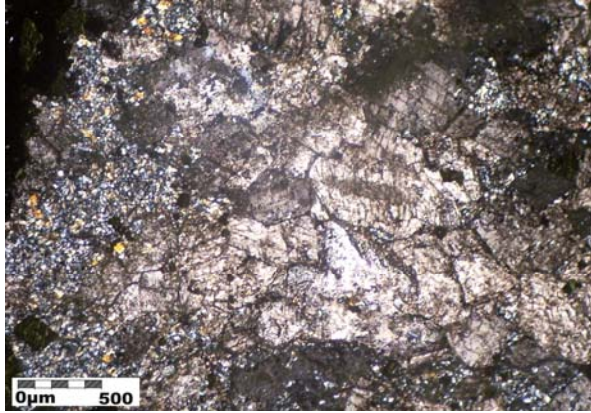
Brecha lítica y de calcita

OBSERVACIONES

Se encuentra en la muestra una porosidad secundaria de 5%, debida, probablemente, a el proceso de realización de la muestra.

A

B



Microfotografías (5X): A) Nicoles paralelos; B) 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 028 007	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
N° de campo: COR 028 007	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita masiva y cristalina con lentes de pirita cristalina media y material arcilloso de aproximadamente 3 cm de espesor. Compuesta de calcita (75%), pirita (15%) y material arcilloso (10%) con colores desde gris medianamente claro (N6) hasta gris medio oscuro (N4) para la calcita, café moderado (5YR 3/4) para la pirita y gris muy claro (N8) para el material arcilloso.



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: Vena de calcita anhedral con pirita subhedral.

Selección:

% de granos del armazon: 100%	Redondez promedio:
% de matriz:	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigénicos:

Calcita: Anhedral muy gruesa a extremadamente gruesa.

Pirita: Subhedral media a gruesa.

Cuarzo: Anhedral medio a grueso.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina muy gruesa a extremadamente gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita y pirita

ESTRUCTURAS

Vena de calcita sin orientación definida de cristales y presencia de pirita, la mas pequeña distribuida en toda la muestra, y los mas grandes agrupados acumulados localmente.

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales Autigénicos:

Calcita: (90%) Anhedral muy gruesa a extremadamente gruesa (2000 a 9400 µm) en contacto suturado y longitudinal distribuido homogeneamente en toda la muestra en agregado granular.

Pirita: (7%) Subhedral media a gruesa. Las mas finas (~140 μm) se encuentran diseminadas por toda la muestra, y las mas grandes se encuentran localizadas solo en algunos sectores de la muestra.

Cuarzo: (<1%) Anhedral medio a grueso (200 a 300 μm), distribuida en toda la vena.

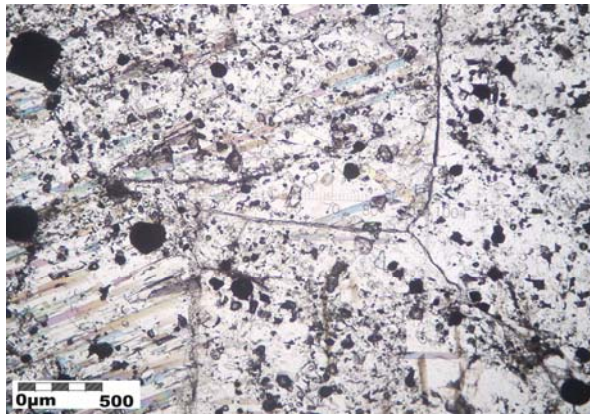
CLASIFICACION

Vena cristalina de calcita muy gruesa a extremadamente gruesa y pirita

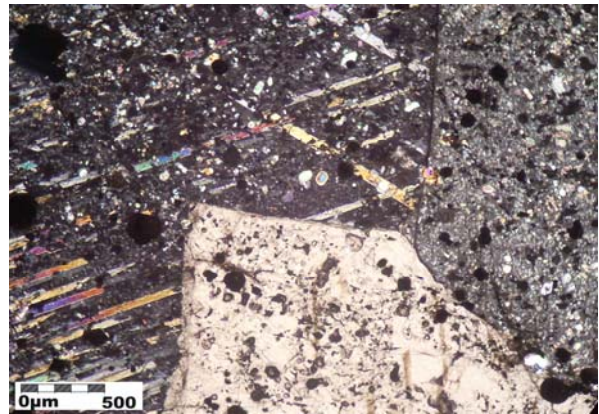
OBSERVACIONES

Se encuentra en la muestra una porosidad secundaria de 3%, debida, probablemente, a el proceso de realizaci3n de la muestra.

A



B



Microfotografías (5X): A) Nicoles paralelos; B) 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 028 008	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
Nº de campo: COR 028 008	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita cristalina y fibrosa, y pirita compuesta de calcita (80%) y Pirita (20%), de colores desde blanco (N9) hasta gris medio (N5) en la calcita y Café oliva ligero (5Y 5/6) para la pirita. La calcita fibrosa se encuentra ubicada en cercanías a la roca caja. La pirita se encuentra en tamaños desde arena fina dispersa en la muestra hasta cristales de hasta 7 mm piriotoédricos. Se encuentran partes de roca caja, lodolita arenosa carbonosa.



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca:

Vena: Vena de calcita anhedral gruesa a extremadamente gruesa y cristales de pirita euhedral a subhedral muy gruesos.

Roca caja: Compuesta en su mayoría por materia orgánica, con partículas de cuarzo, albita y muscovita.

Selección:

% de granos del armazon: 90%	Redondez promedio:
% de matriz: 10%	Esfericidad promedio:
Tamaño de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigénicos:

Calcita: Anhedral, gruesa a extremadamente gruesa.

Pirita: Anhedral muy gresa.

Minerales de la roca caja:

Materia orgánica: Diseminada uniformemente, constituye la matriz de la roca caja.

Cuarzo: Tamaño limo grueso. Se encuentra en pequeños lentes en la roca caja.

Albita: Tamaño limo medio a grueso. Se encuentra en pequeños lentes en la roca caja.

Muscovita. Partículas tamaño limo grueso a muy grueso diseminadas en la roca caja.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina gruesa a extremadamente gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita y pirita

ESTRUCTURAS

Vena de calcita sin orientación definida en los cristales de agregado granular, los de agregado fibroso se encuentran cerca de la roca caja perpendiculares al contacto entre vena y roca caja.

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales Autigénicos:

Calcita: (78%) Anhedral, cristalina gruesa a extremadamente gruesa (400 a 10000 μm) en contacto longitudinal distribuida homogéneamente en toda la muestra, en agregado granular, y fibrosa cerca de la roca caja.

Pirita: (4%) Anhedral a subhedral, cristalina muy gruesa (1200 a 4000 μm). Muy angular, y solo se encuentran tres cristales, de gran tamaño, en toda la muestra.

Minerales de la roca caja:

Materia orgánica: (14%) Diseminada uniformemente, constituye la matriz de la roca caja.

Cuarzo: (2%) Subredondeada tamaño limo grueso (23 a 30 μm), diseminada y en pequeños lentes en la roca caja.

Albita: (2%) Subredondeada, tamaño limo medio a grueso (10 a 30 μm), diseminada homogéneamente en la roca caja.

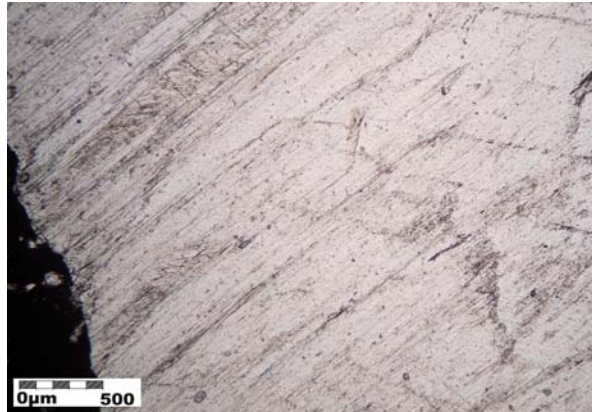
Muscovita: (<1%) Partículas aciculares y tabulares tamaño limo grueso a muy grueso (20 a 60 μm)

CLASIFICACION

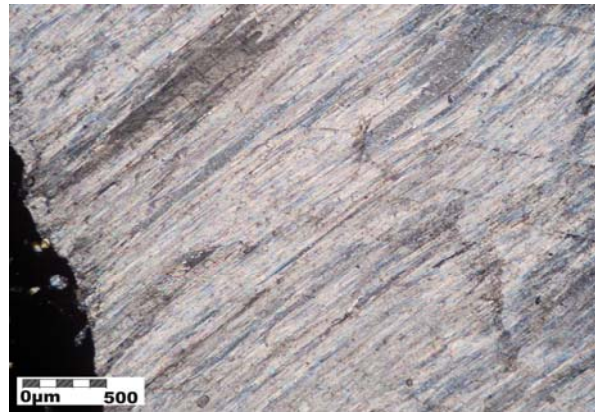
Vena de calcita y pirita cristalina gruesa a extremadamente gruesa

OBSERVACIONES

A



B



Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles 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 028 009	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'025.935 Y: 1'075.424
N° de campo: COR 028 009	Origen:	Describio: Brian Javier Castro Manrique
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Distrito minero de Ubalá	Municipio: Ubalá
Formación Guavio	Departamento: Cundinamarca	Vereda: Buenavista
Estación: COR 028	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de calcita masiva calcita color gris muy claro (N8) y blanco (N9), una gran parte ha sufrido un proceso de dolomitización color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6).



ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca:

Vena de calcita cristalina media a gruesa anhedral y albita fina a media anhedral con pirita fina a gruesa subhedral y euhedral.

Selección:

% de granos del armazon: 100%	Redondez promedio:
% de matriz:	Esfericidad promedio:
Tamano de grano promedio de la roca:	Contacto entre granos:

MINERALES

Minerales autigénicos:

Calcita: Anhedral, cristalina media a gruesa.

Albita: Anhedral fina a media.

Pirita: Cristalina fina a gruesa.

NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954):

Vena cristalina media a gruesa

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974):

Vena de calcita y albita.

ESTRUCTURAS

Vena de calcita con cristales de agregado granular.

DESCRIPCION DE LA ROCA

Minerales Autigénicos: 89%

Calcita: (45%) Anhedral, cristalina media a gruesa (160 a 760 µm) en contacto suturado y longitudinal entre sus cristales distribuida homoganeamente en toda la muestra, en agregado granular..

Albita: (32%) Anhedral a subhedral, cristalina fina a media (20 a 200 μm). En contacto con oras albitas y calcitas; en agregado granular.

Pirita: (12%) Cristales subhedrales y euedrales cúbicos y piritóedricos finos a gruesos (40 a 520 μm). Distribuida homogeneamente en toda la muestra.

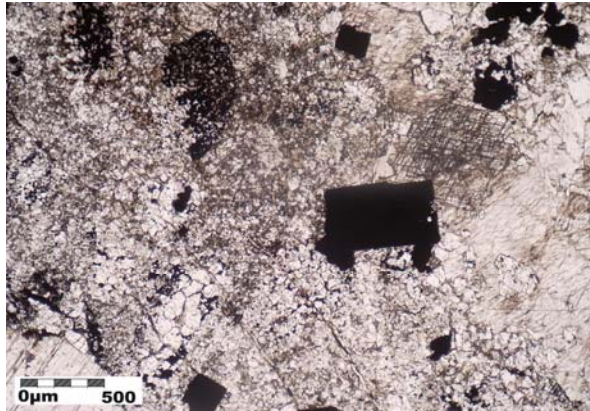
CLASIFICACION

Vena de calcita y albita cristalina media a gruesa

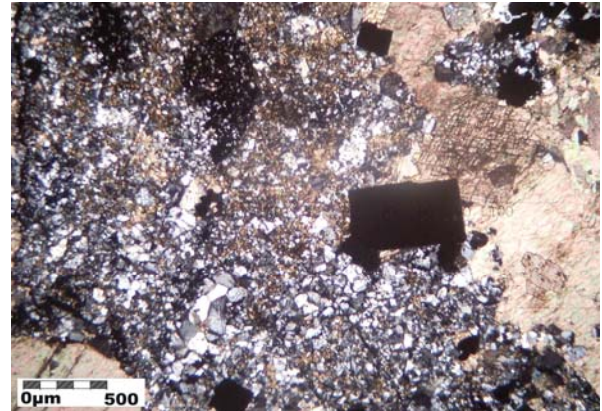
OBSERVACIONES

Se encuentra en el conteo de la muestra un 6% perteneciente a porosidad secundaria, posiblemente debida a el proceso de realización de la muestra; y un 5% de Materia orgánica perteneciente a parte de la roca caja que contiene a la vena.

A



B

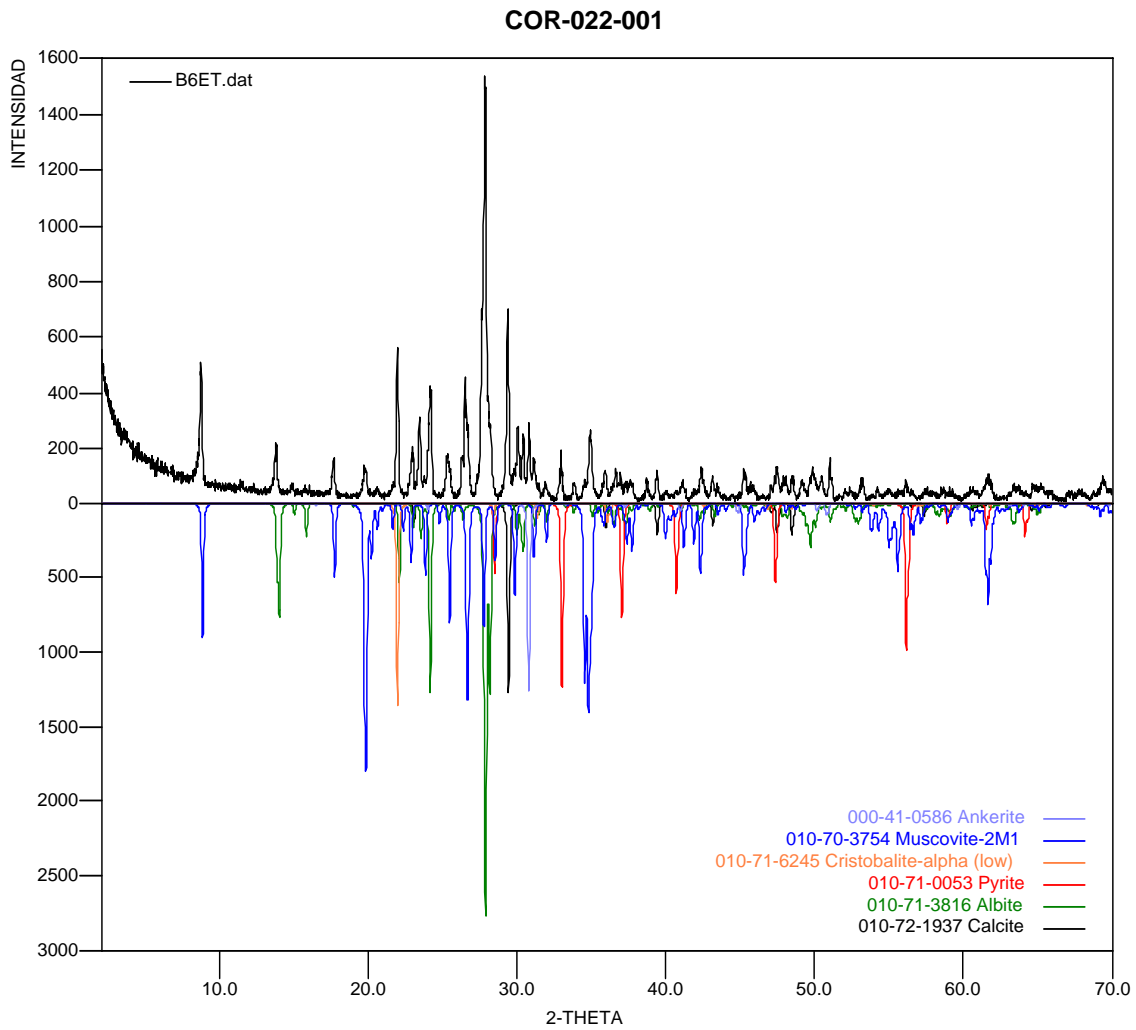


Microfotografías (5X): A) Nícoles paralelos; B) Nícoles cruzados

2. Resultados de análisis de Difracción de Rayos-X.

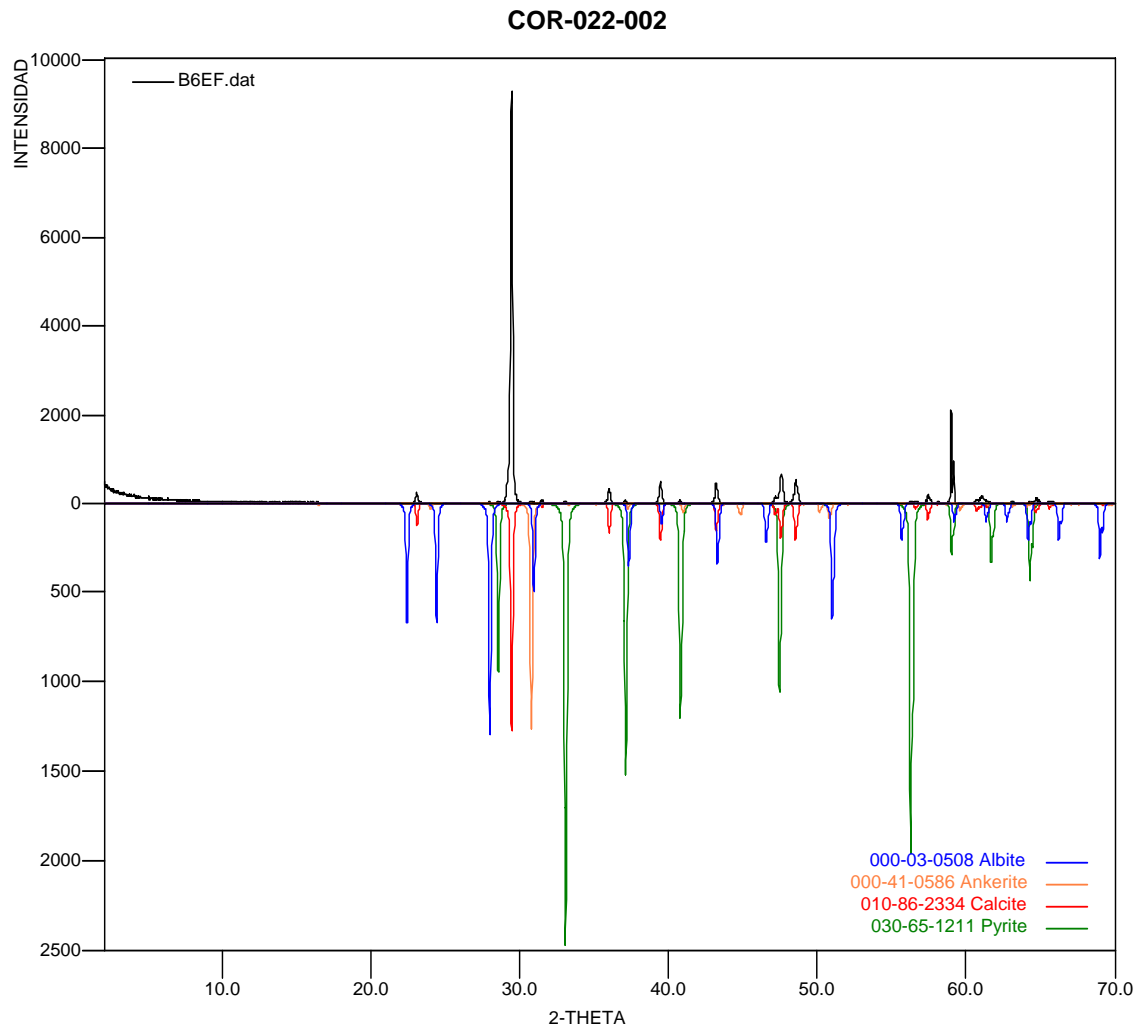
- **COR-022-001 (B6ET)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-71-3816	Albita
	$\text{Ca (Fe, Mg) (CO}_3)_2$	000-41-0586	Ankerita
	$\text{Ca (CO}_3)_2$	010-72-1937	Calcita
	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} \text{ (OH)}_2$	010-70-3754	Moscovita
	Si O_2	010-71-6245	Cristobalita
	Fe S_2	010-71-0053	Pirita



- COR-022-002 (B6EF)**

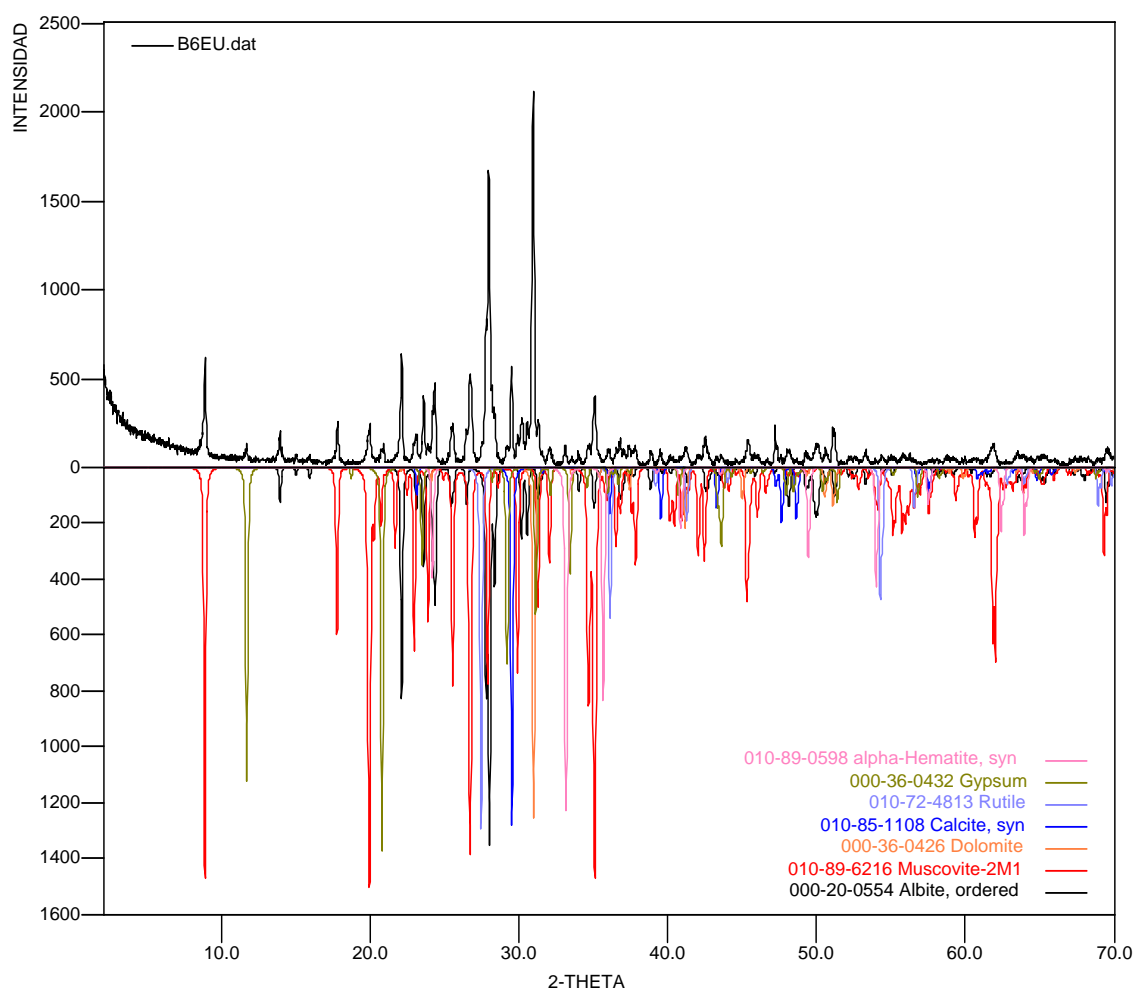
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Na Al Si ₃ O ₈	000-03-0508	Albita
	Fe S ₂	030-65-1211	Pirita
	Ca (CO ₃)	010-86-2334	Calcita
	Ca (Fe, Mg) (CO ₃) ₂	000-41-0586	Ankerita



- COR-022-003 (B6EU)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-36-0432	Gypsum
	$\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$\text{Ca} (\text{CO}_3)$	010-85-1108	Calcita
	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-89-0598	Hematita

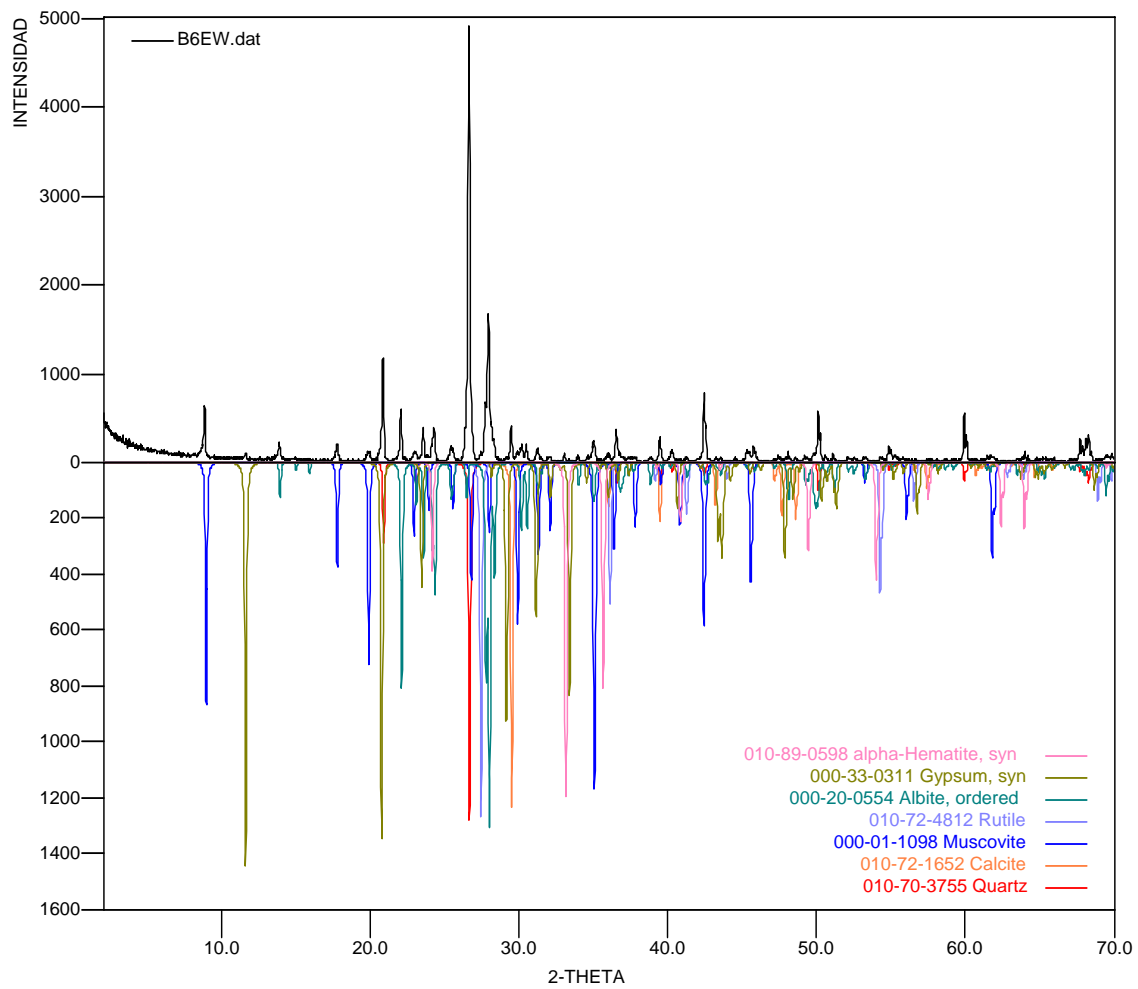
COR-022-03



- **COR-022-004 (B6EW)**

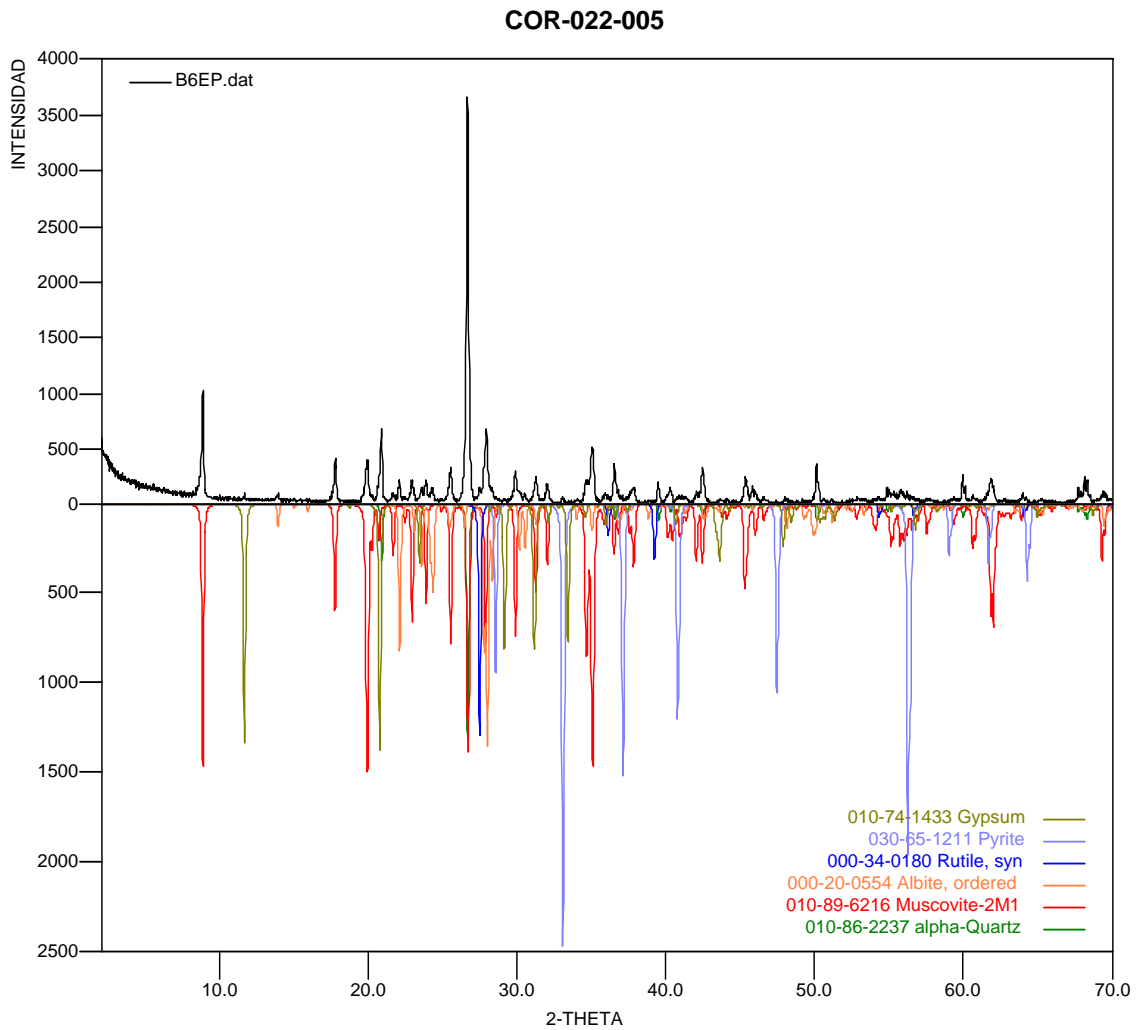
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	Ti O_2	010-72-4812	Rutilo
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-89-0598	Hematita
	$\text{Ca (CO}_3)$	010-72-1652	Calcita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	Si O_2	010-70-3755	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-01-1098	Moscovita

COR-022-004



- **COR-022-005 (B5EP)**

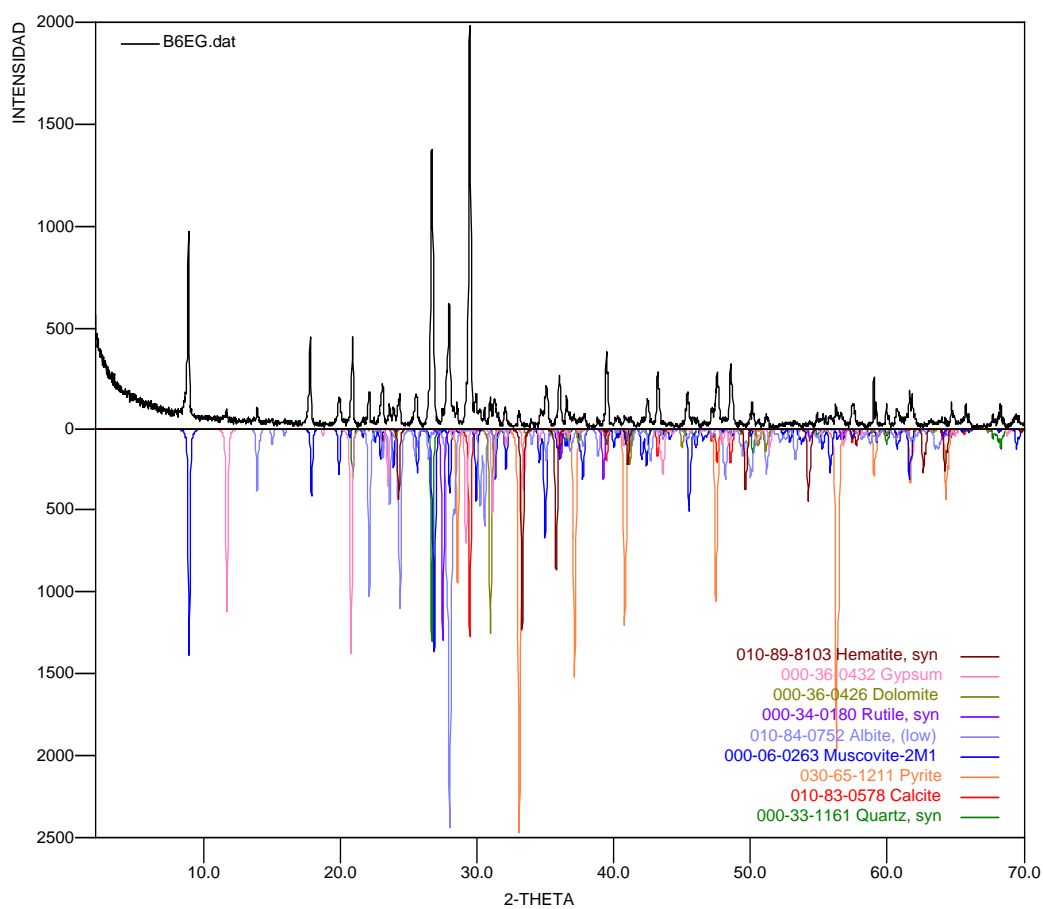
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ti O_2	000-34-0180	Rutilo
	Si O_2	010-86-2237	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1433	Gypsum
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita



- **COR-022-006 (B6EG)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-84-0752	Albita
	Ti O_2	000-34-0180	Rutilo
	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-36-0432	Gypsum
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-89-8103	Hematita
	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	$\text{Ca (CO}_3)_2$	010-83-0578	Calcita

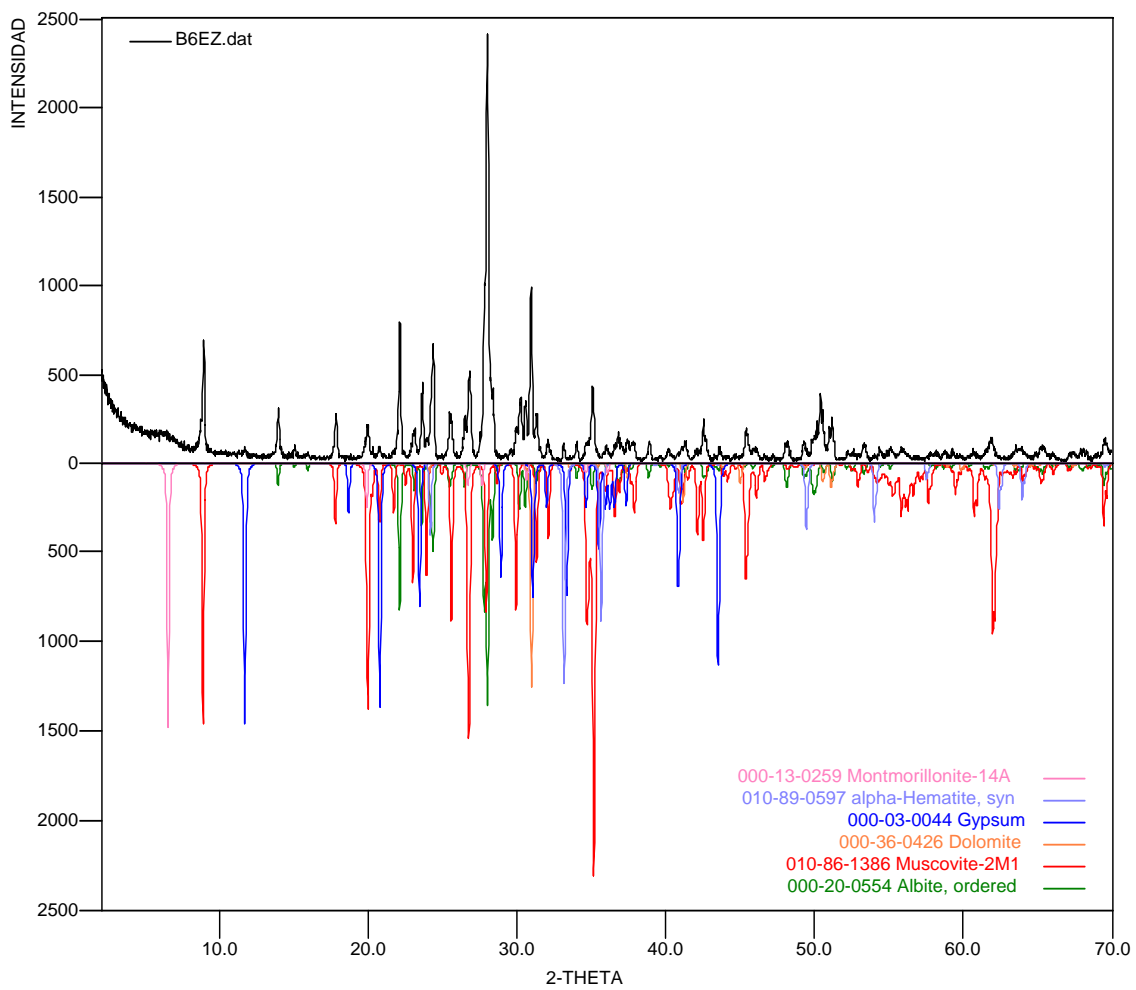
COR-022-006



- COR-022-007 (B6EZ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-89-0597	Hematita
	$(\text{Na, Ca})_{0.3} (\text{Al, Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot X \text{H}_2\text{O}$	000-03-0259	Montmorillonita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-03-0044	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1386	Moscovita

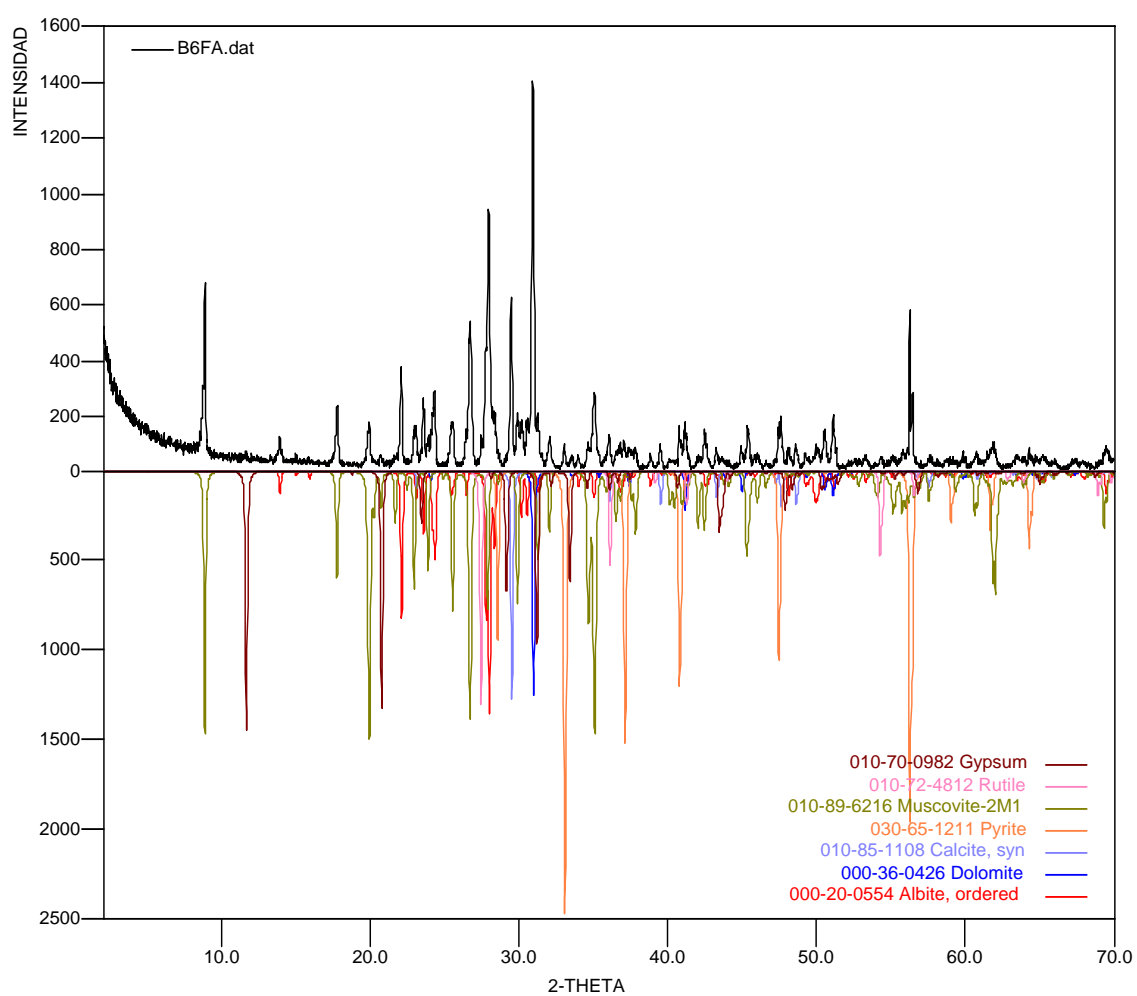
COR-022-07



- **COR-022-009 (B6FA)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ti O_2	010-72-4812	Rutilo
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ca (CO}_3 \text{)}$	010-85-1108	Calcita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-982	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} \text{ (OH)}_2$	010-89-6216	Moscovita
	$\text{Ca Mg (CO}_3 \text{)}_2$	000-36-0426	Dolomita

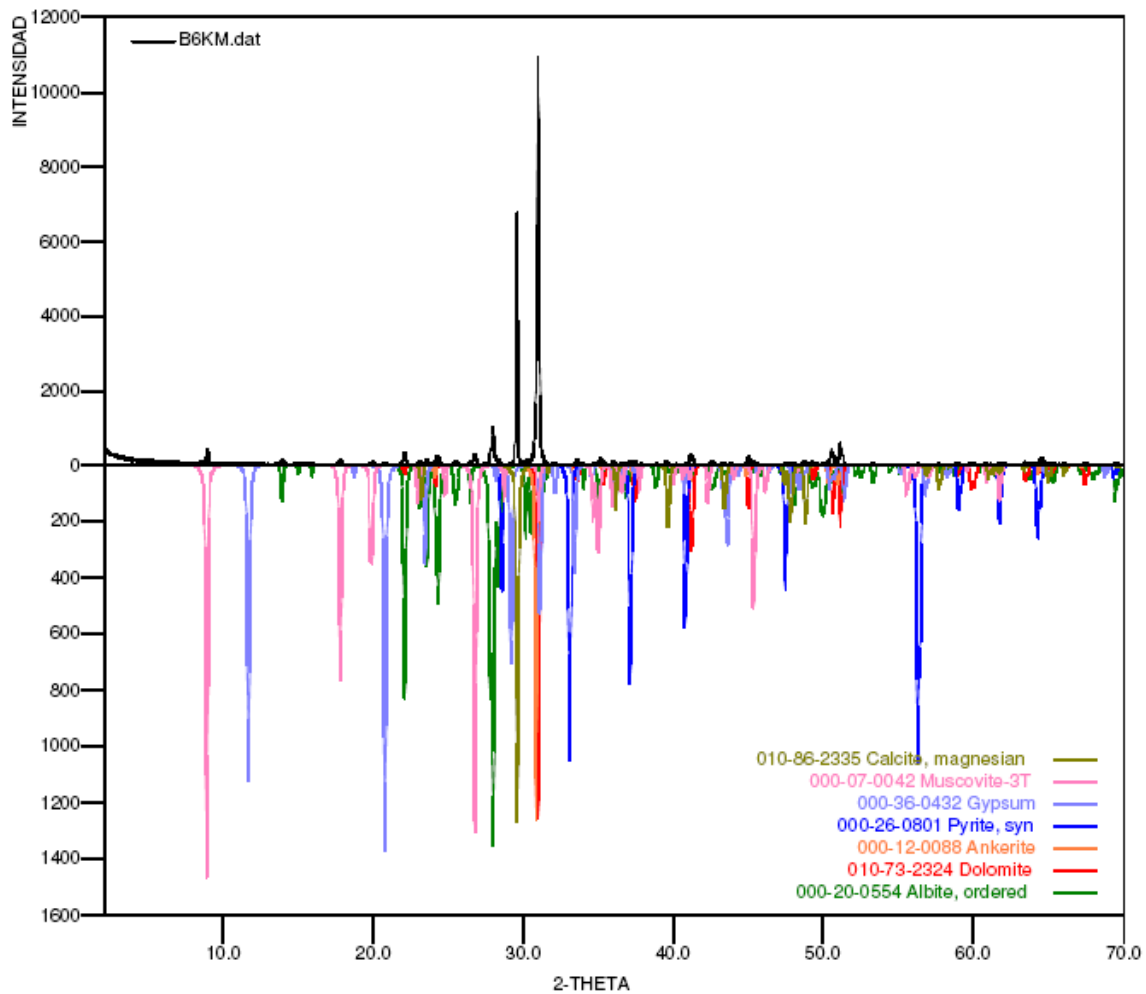
COR-022-009



- COR-022-10 (B6KM)

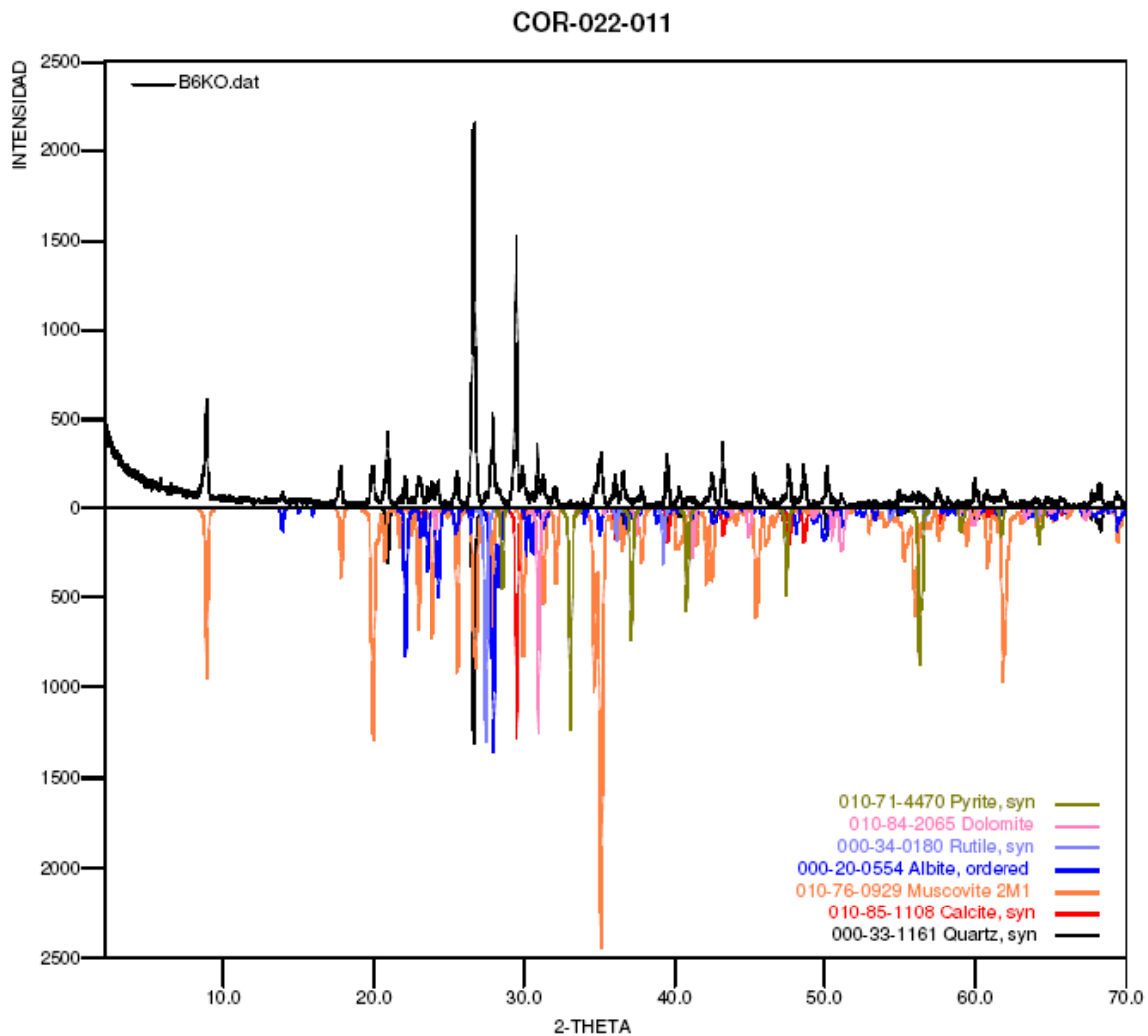
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0042	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	$Fe S_2$	000-26-0801	Pirita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-36-0432	Gypsum
	$(Mg_{0.064} Ca_{0.936}) (CO_3)$	010-86-2335	Calcita magnesiana
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-12-0088	Ankerita

COR-022-010



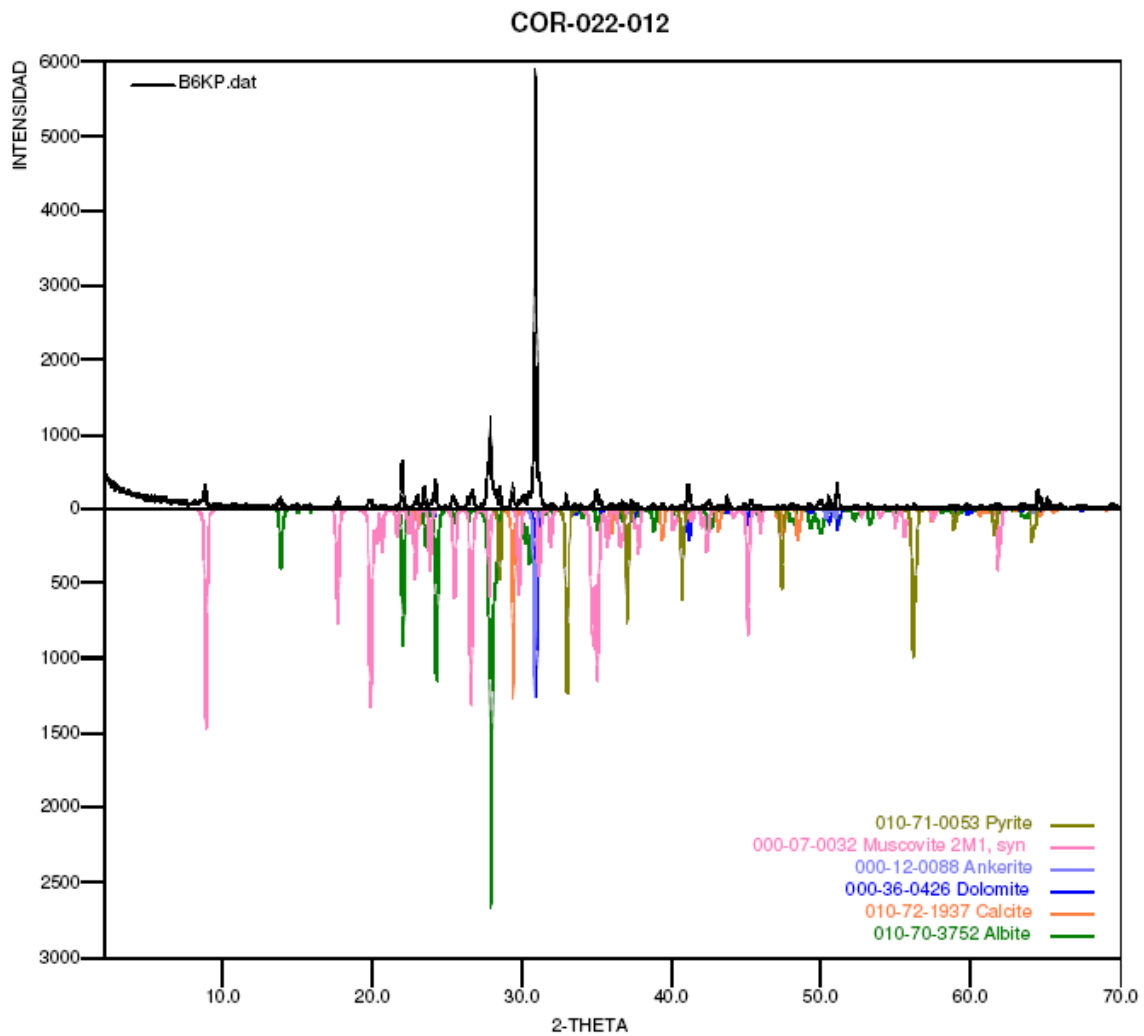
- COR-022-011 (B6KO)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	010-76-0929	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-84-2065	Dolomita
	$Fe S_2$	010-71-4470	Pirita
	$Ti O_2$	000-34-0180	Rutilo
	$Si O_2$	000-33-1161	Cuarzo
	$Ca CO_3$	010-85-1108	Calcita



- COR-022-012 (B6KP)

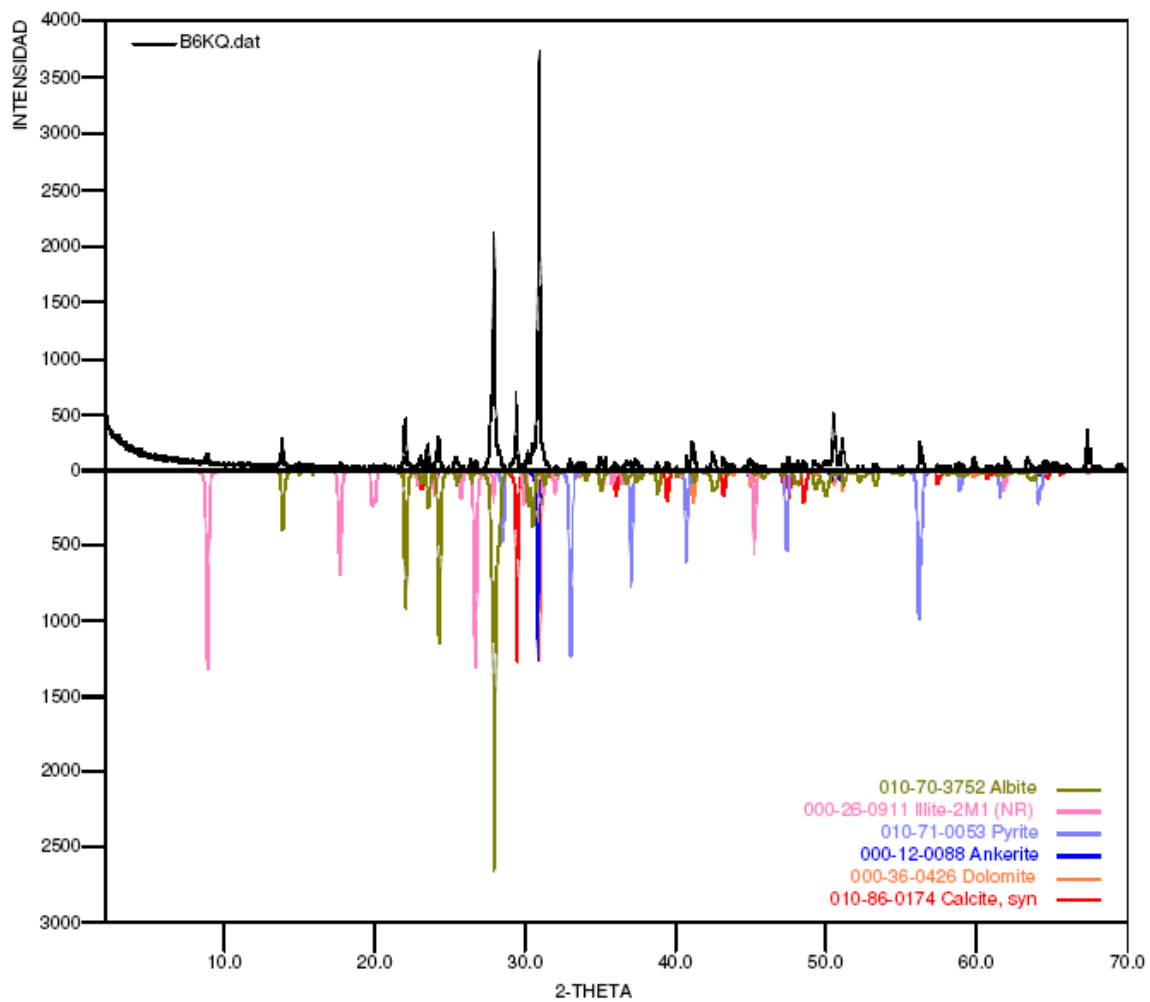
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0032	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	010-70-3752	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$Fe S_2$	010-71-0053	Pirita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-12-0088	Ankerita
	$Ca CO_3$	010-72-1937	Calcita



- COR-022-013 (B6KQ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	010-71-0053	Pirita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-12-0088	Ankerita
	Ca CO_3	010-86-0174	Calcita
	$(\text{K, H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita

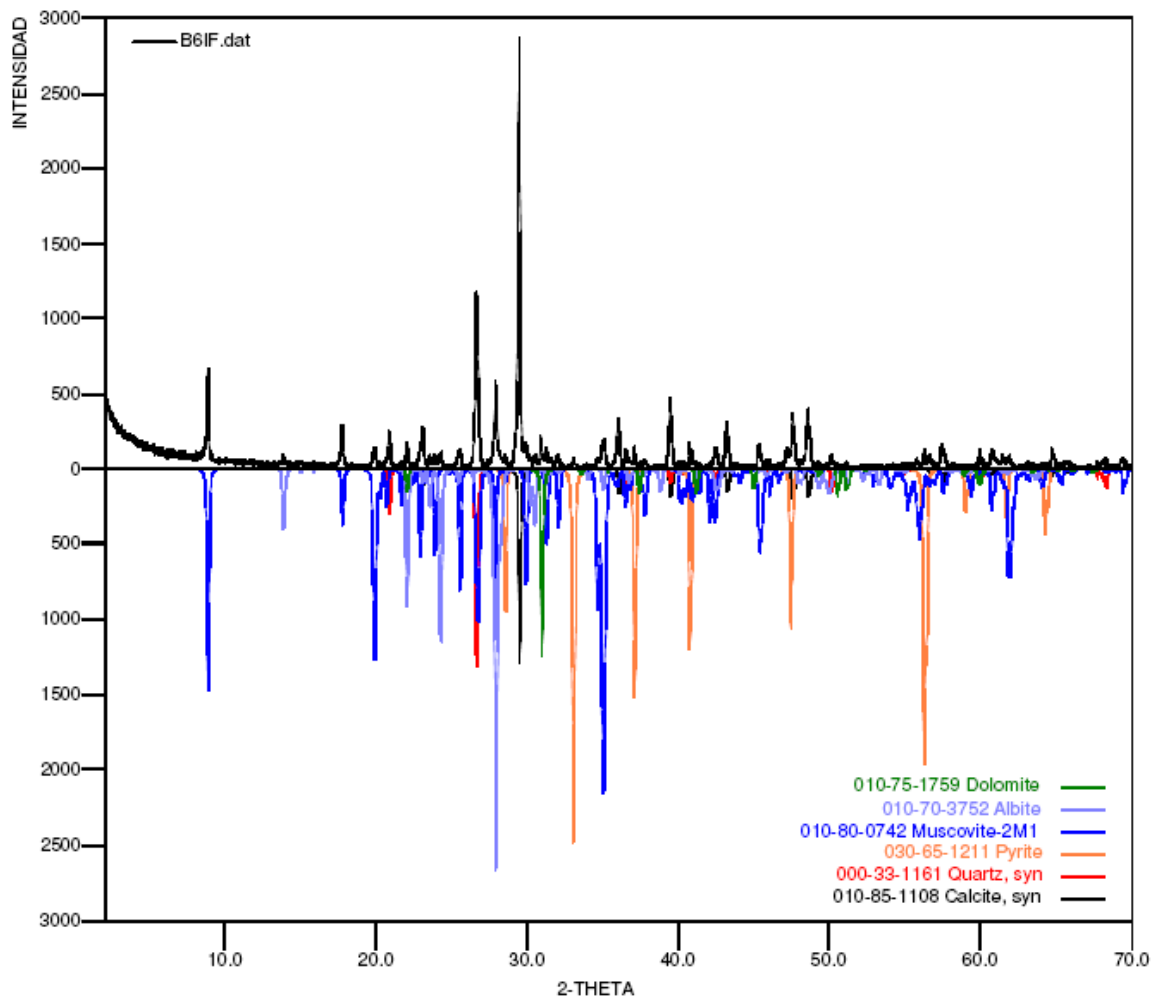
COR-022-013



- COR-022-014 (B5QK)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	010-80-0742	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	010-70-3752	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-75-1759	Dolomita
	$Fe S_2$	030-65-1211	Pirita
	$Si O_2$	000-33-1161	Cuarzo
	$Ca CO_3$	010-85-1108	Calcita

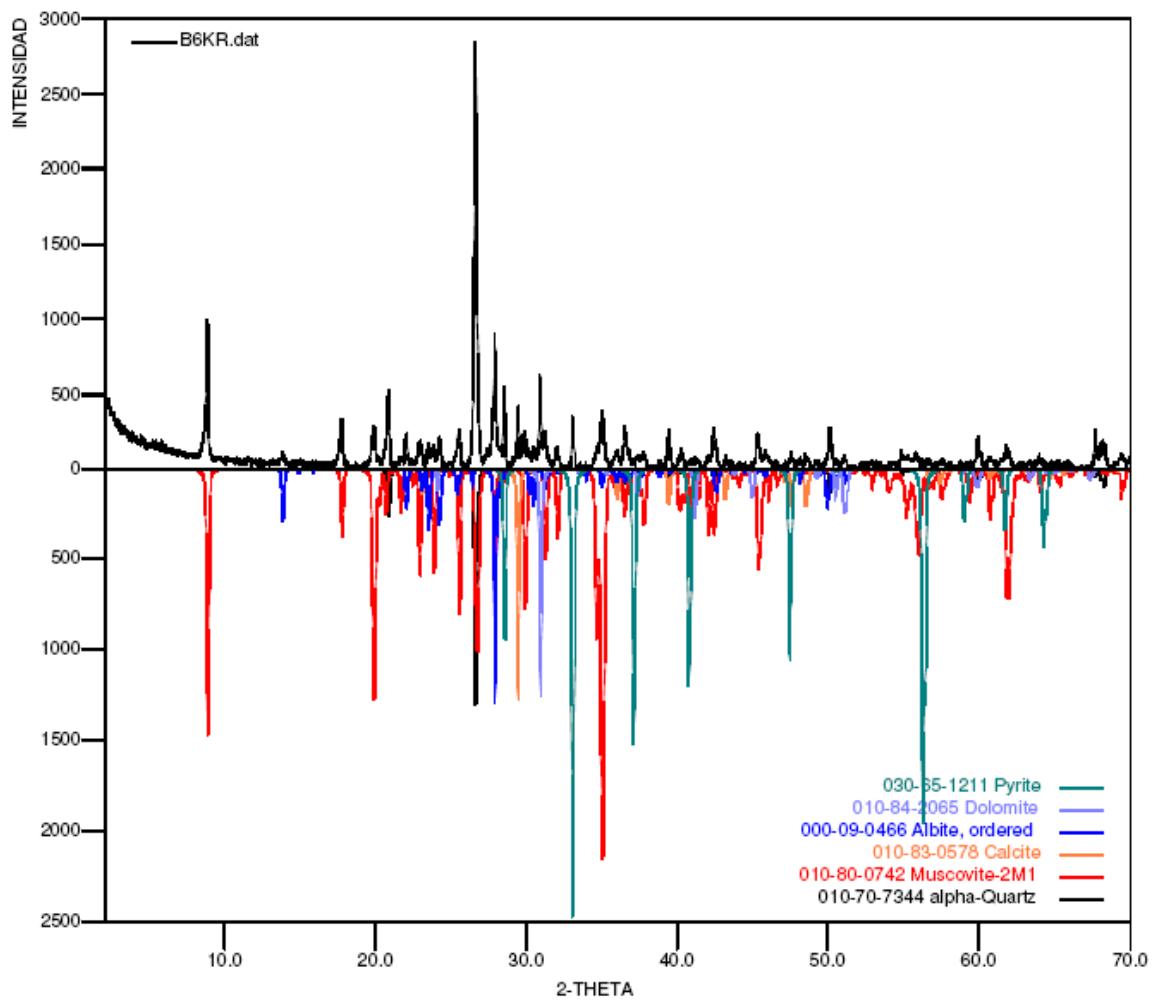
COR-022-014



- COR-022-015 (B6KR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	$\text{K Al}_2\text{ Si}_3\text{ Al O}_{10} (\text{ OH})_2$	010-80-0742	Moscovita
	Si O_2	010-70-7344	Cuarzo

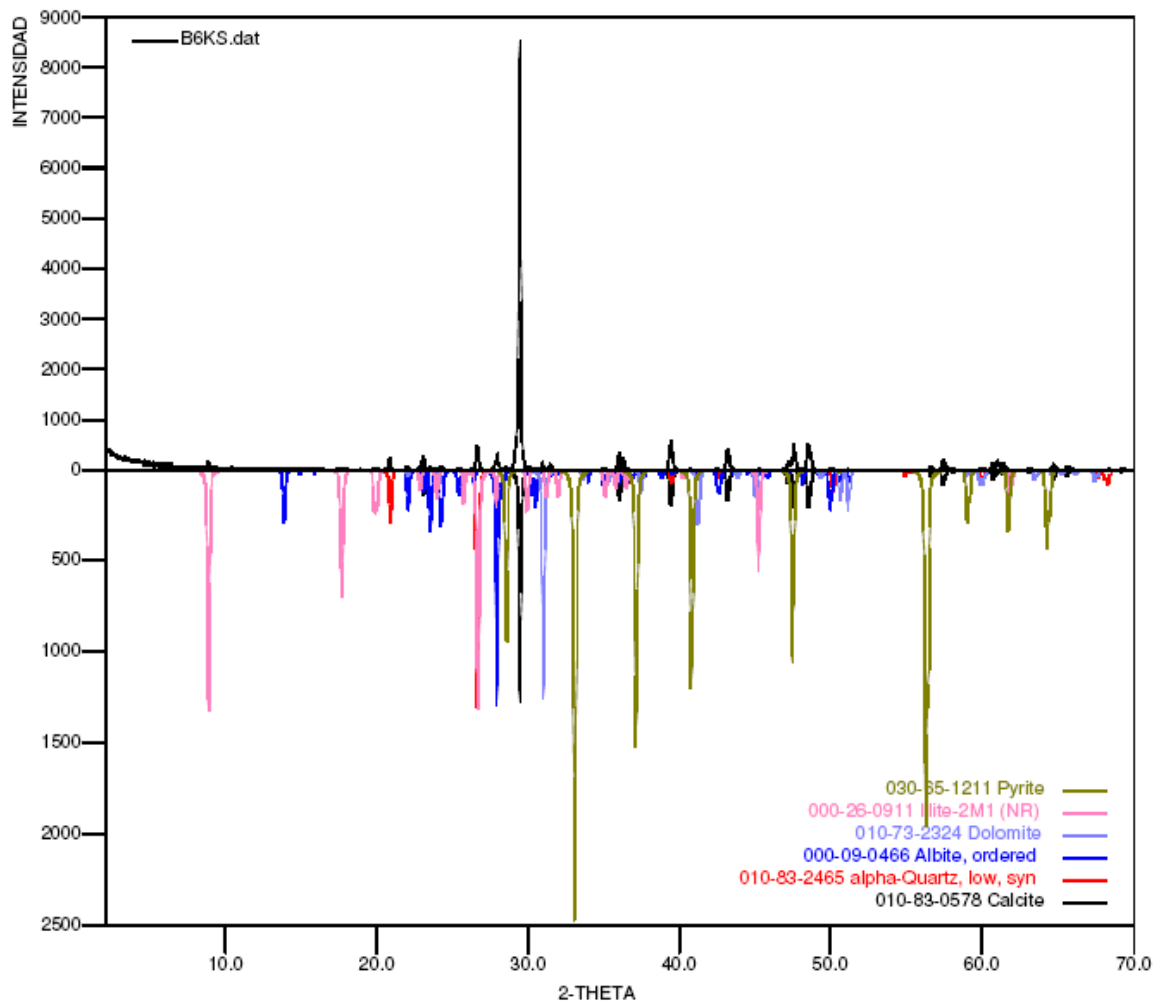
COR-022-015



- COR-022-016 (B6KS)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	Ca CO_3	010-83-0572	Calcita
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{ Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita
	Si O_2	010-83-0578	Cuarzo

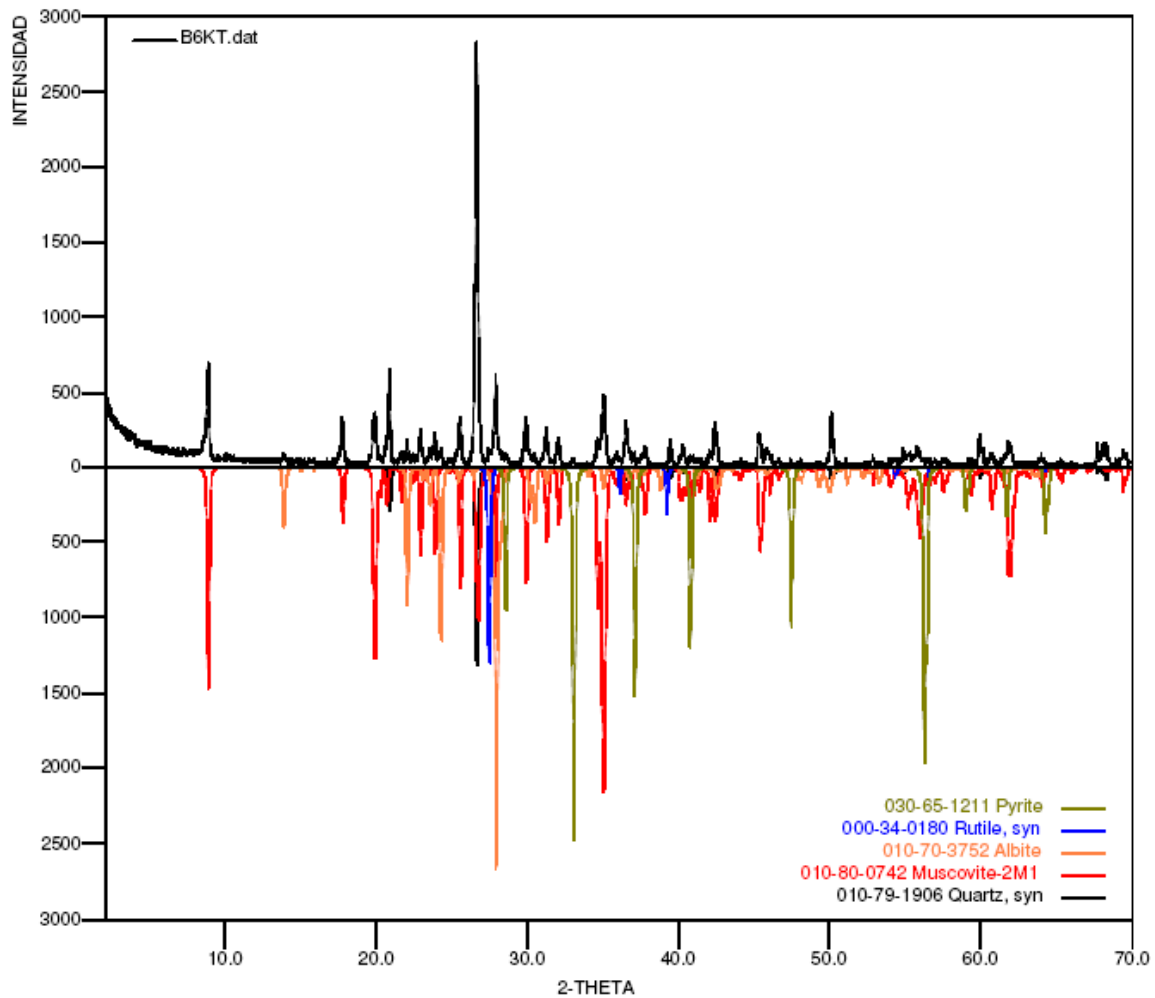
COR-022-016



- COR-022-017 (B6KT)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_9$	010-70-3752	Albita
	Ti O_2	000-34-0180	Rutilo
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	010-80-0742	Moscovita
	Si O_2	010-79-1906	Cuarzo

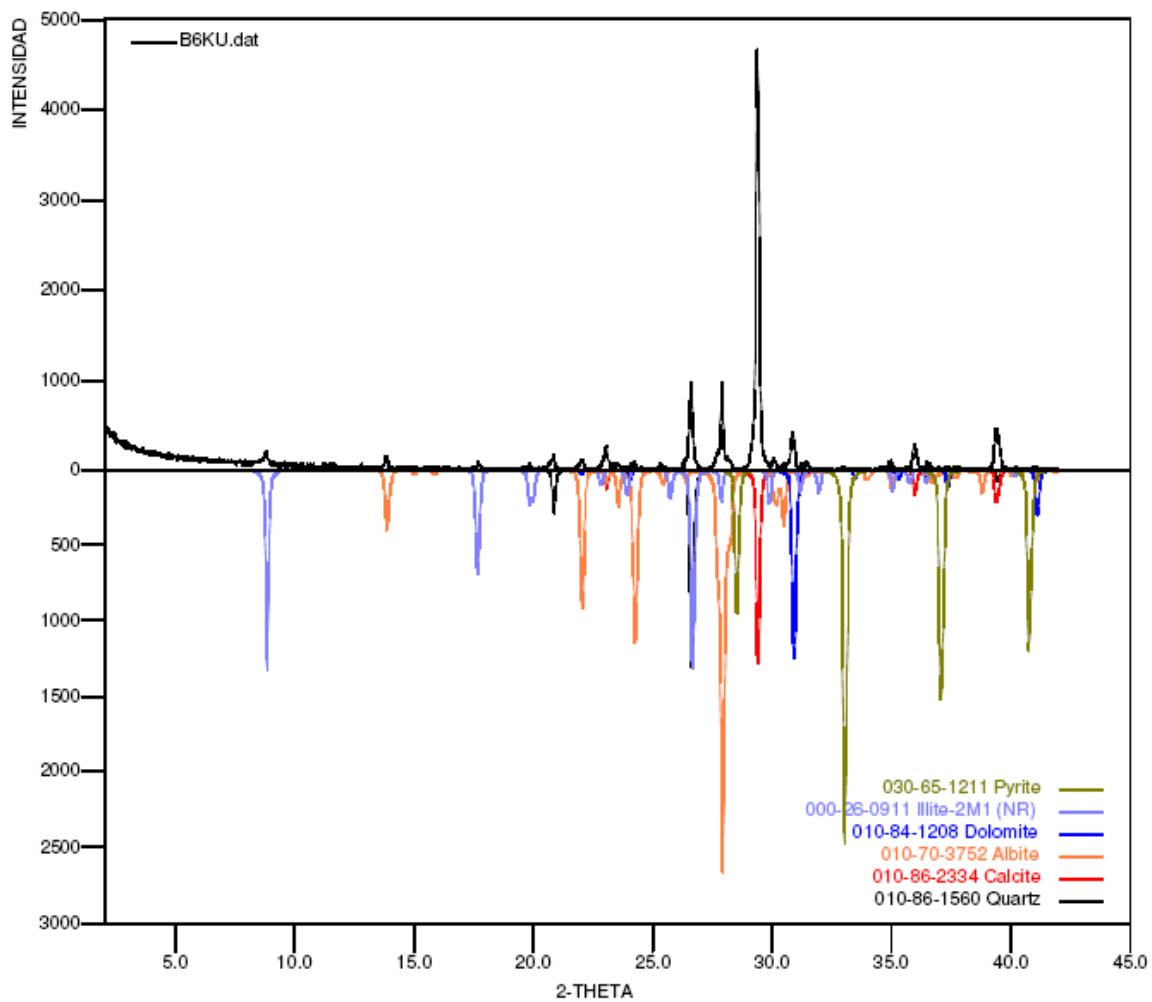
COR-022-017



- COR-028-001 (B6KU)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	Ca CO_3	010-86-2334	Calcita
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita
	Si O_2	010-86-1560	Cuarzo

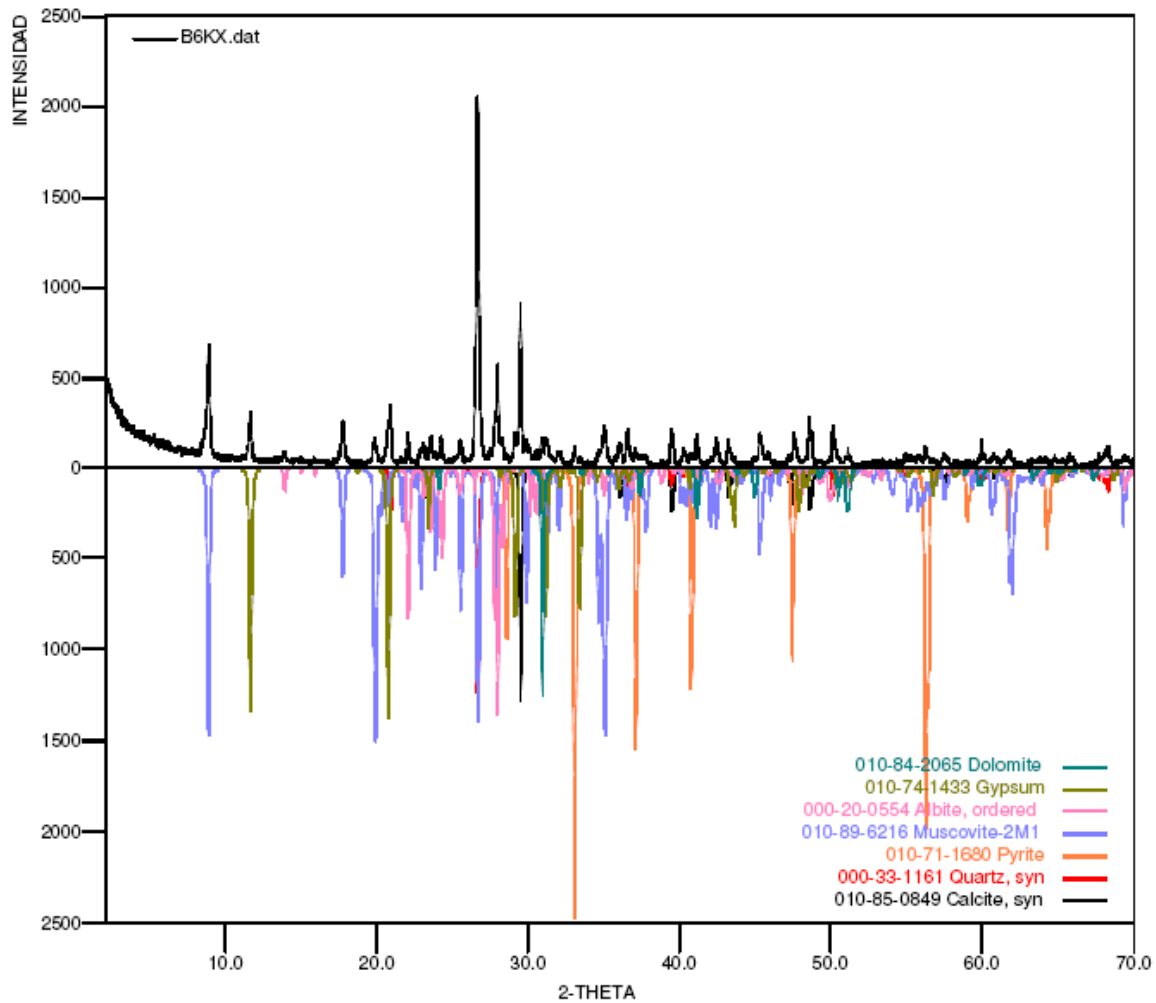
COR-028-001



- COR-028-002 (B6KX)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_9$	000-20-0554	Albita
	Ca CO_3	010-85-0849	Calcita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{K Al}_2\text{Si}_3\text{Al O}_{10}(\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita
	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})(\text{CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1433	Gypsum

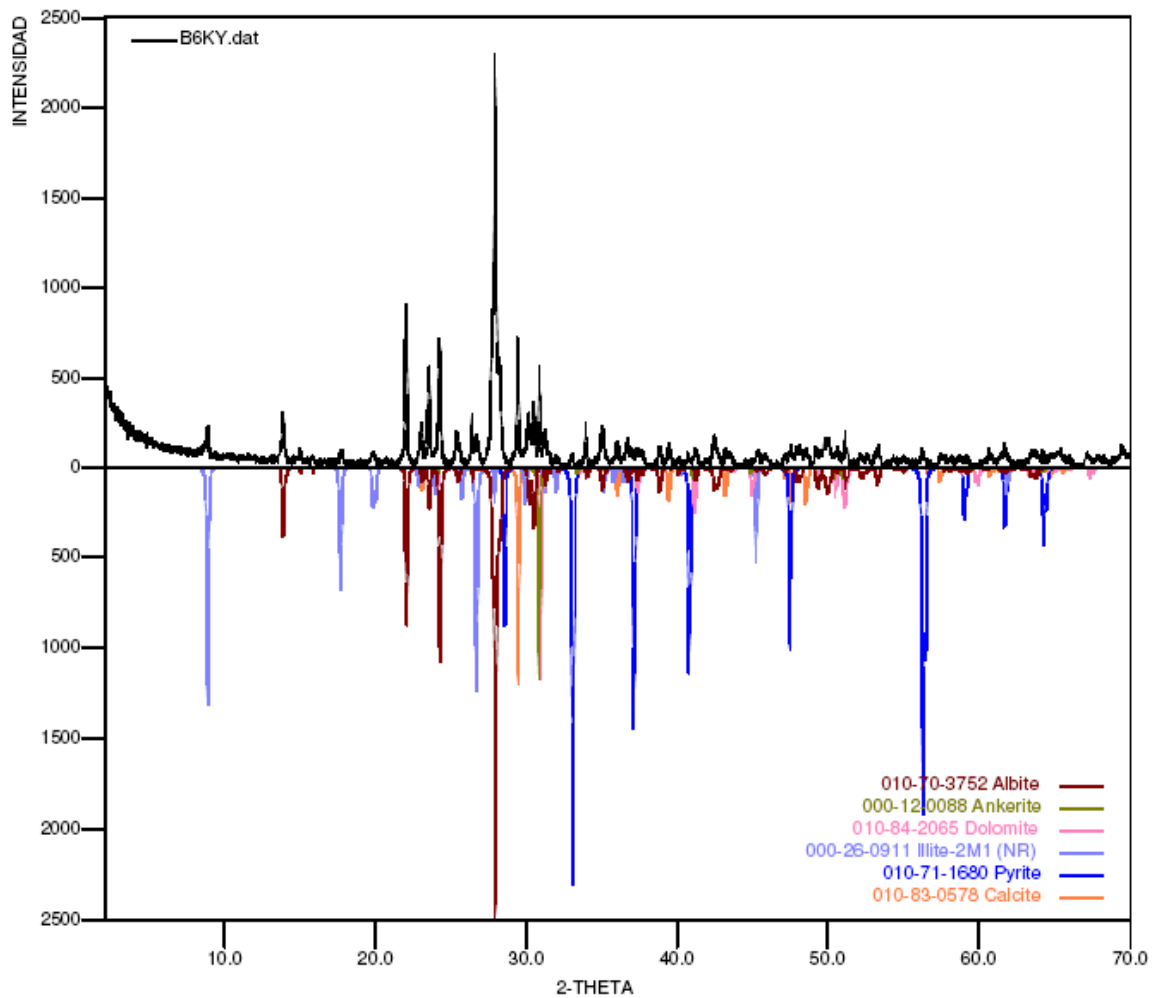
COR-028-002



- COR-028-003 (B6KY)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_9$	010-70-3752	Albita
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$(\text{K, H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita
	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})(\text{CO}_3)_2$	000-12-0088	Ankerita
	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})(\text{CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita

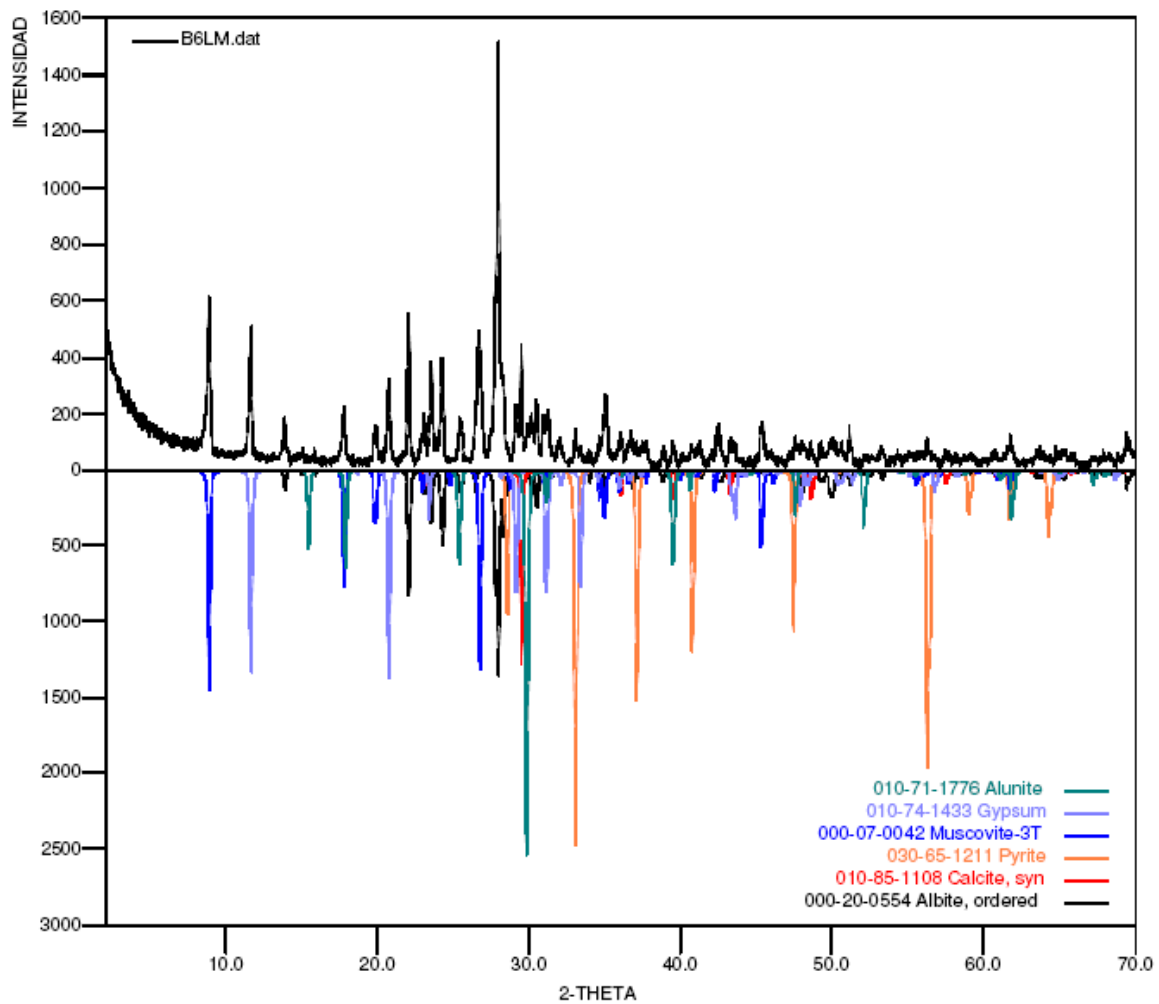
COR-028-003



- COR-028-010 (B6LM)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_9$	000-20-0554	Albita
	Ca CO_3	010-85-1108	Calcita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Moscovita
	$\text{K} (\text{Al}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6)$	010-71-1776	Alunita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1433	Gypsum

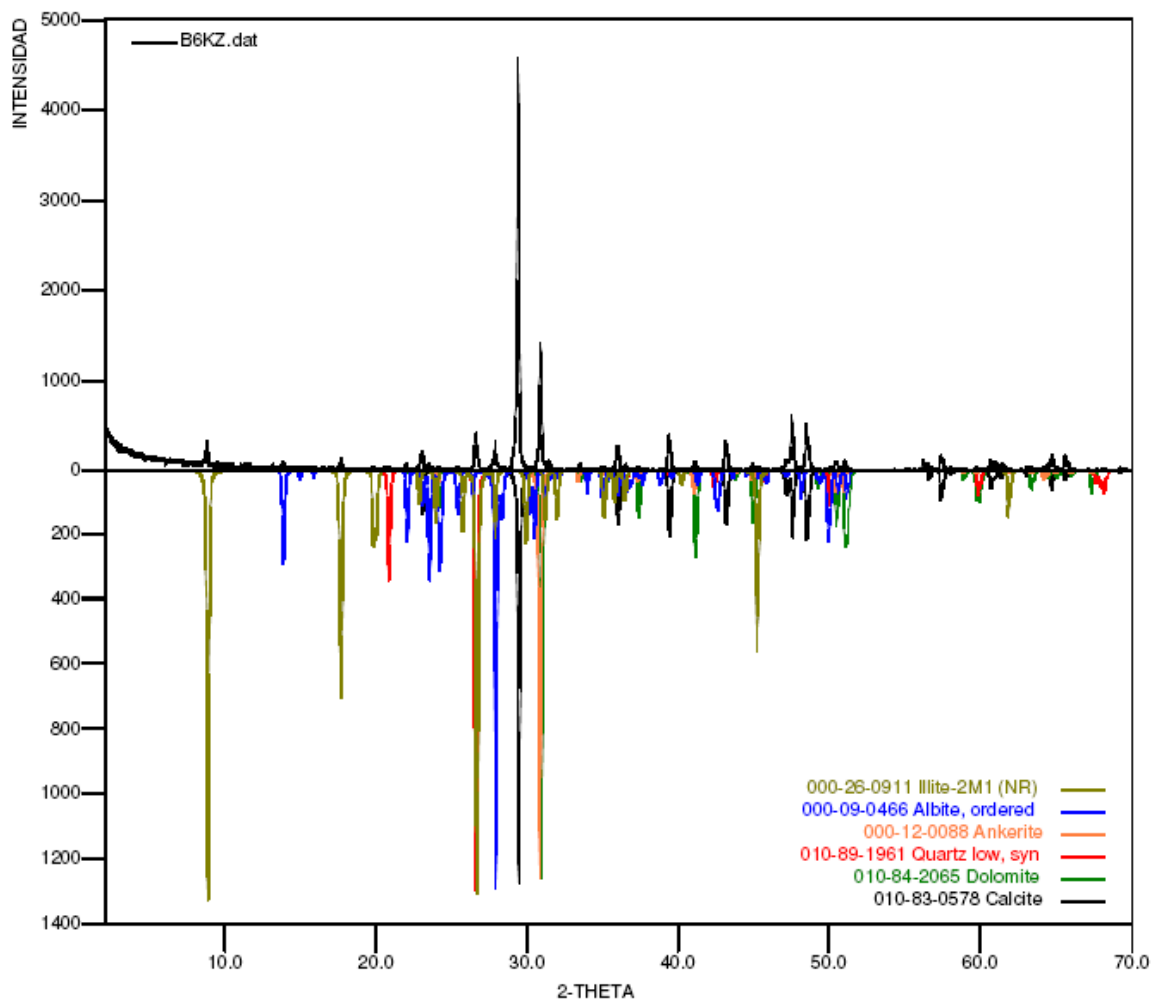
COR-028-010



- COR-028-011 (B6KZ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	Si O_2	010-89-1961	Cuarzo
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-26-0911	Illita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-12-0088	Ankerita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita

COR-028-011



- COR-028-012 (B6LA)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$(\text{Mg}_{0.03}\text{Ca}_{0.97})(\text{CO}_3)$	010-89-1304	Calcita magnesiana
	SiO_2	010-85-0865	Cuarzo
	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	000-01-1098	Moscovita
	Fe_2O_3	000-24-0072	Hematita
	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita

COR-028-012

